

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

Stand 06.10.2020

Konzeption: Frieder Hofmann
Durchführung: Maren Kruse-Plaß, Ulrich Schlechtriemen, Werner Wosniok



TIEM Integrierte Umweltüberwachung
Hohenzollernstraße 20, 44135 Dortmund
www.tieminfo.de

Im Auftrag von:

The logo consists of a red, teardrop-shaped graphic with a white border. Inside the shape, the text 'BÜNDNIS FÜR eine enkeltaugliche Landwirtschaft' is written in white, with 'BÜNDNIS FÜR' in all caps and 'eine enkeltaugliche Landwirtschaft' in a smaller font.

BÜNDNIS FÜR
eine enkeltaugliche
Landwirtschaft

Bündnis für eine enkeltaugliche Landwirtschaft e. V.
Am See 1, 17440 Lassan
www.enkeltauglich.bio



Umweltinstitut München e. V.
Goethestraße 20, 80336 München
www.umweltinstitut.org

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Verzeichnis der Korrekturen	7
Glossar	8
Zusammenfassung	12
<i>Ergebnisse der Sammelmedien</i>	12
<i>Ergebnisse der statistischen Analyse</i>	13
1 Einleitung	14
<i>Abdrift</i>	14
<i>Ferntransport</i>	14
<i>Bio-Landwirtschaft</i>	16
2 Aufgabenstellung	18
3 Vorgehensweise	20
3.1 Kriterien der Standortwahl	20
3.2 Der Passivsammler	22
3.2.1 Die Probennahme	23
3.2.2 Die 49 Standorte des Passivsammlers	24
3.3 Die Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen	25
3.3.1 Die Probennahme	25
3.3.2 Die 20 Standorte der Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen	25
3.4 Der biologische Sammler – die Biene	26
3.4.1 Die Probennahme	26
3.4.2 Die 41 Standorte der Bienenstöcke für die Bienenbrot-Proben	27
3.5 Das Rindenmonitoring	28
3.5.1 Die 53 Standorte für das Rindenmonitoring	28
3.6 Bestimmungsgrenzen und Nachweisgrenzen	29
4 Statistische Analyse	30
4.1 Ziele der statistischen Analyse	30
4.2 Allgemeine Erläuterungen zu den statistischen Methoden	31
4.3 Einflussfaktoren für den Ferntransport am Beispiel von Glyphosat in den Passivsammlern	34
4.4 Auswertung der Einflussfaktoren auf die Konzentrationen in den Passivsammlern	39
4.4.1 Wirkstoff-Konzentrationen in Passivsammlern im Vergleich von Bio-Anbau- mit anderen Standorten	40
4.5 Auswertung der Einflussfaktoren der Konzentrationen in Filtermatten	42
4.6 Auswertung der Einflussfaktoren auf die Konzentrationen im Bienenbrot	43
5 Ergebnisse	44
5.1 Darstellung der Ergebnisse	44
5.1.1 Einordnung der nachgewiesenen Wirkstoffe	44
5.1.2 Darstellung der Ergebnisse auf Grundlage der ASU L 00.00-115	44

5.2 Der Passivsammler	45
5.2.1 Räumliche Verteilung der Werte aus den Passivsammlern	49
5.2.2 Betrachtung einzelner Wirkstoffe	52
5.3 Die Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen	57
5.3.1 Räumliche Verteilung der Werte aus den Filtermatten	60
5.3.2 Betrachtung einzelner Wirkstoffe	61
5.4 Das Bienenbrot	63
5.4.1 Räumliche Verteilung der Werte	68
5.4.2 Betrachtung einzelner Werte	69
5.5 Die Proben mit Hilfe des Luftgüte-Rindenmonitorings	72
5.5.1 Räumliche Betrachtung der Werte	74
5.6 Die Erfassung von Wirkstoffen durch die unterschiedlichen Methoden	75
5.6.1 Vergleich zwischen Passivsammler und Filtermatten aus Lüftungsanlagen	77
5.6.2 Vergleich zwischen Filtermatten aus Lüftungsanlagen und Bienenbrot	78
5.6.3 Vergleich zwischen Passivsammlern (PUF-/PEF-Matrix) und den Rindenproben aus den Rindenmonitoring-Daten von 2014 bis 2019	78
5.7 Gesamtbetrachtung der Ergebnisse aller Medien	80
5.7.2 Betrachtung verschiedener Wirkstoffe über Passivsammler, Bienenbrot und Baumrinden hinweg	83
5.7.2 Weitverbreitete Wirkstoffe, wie Glyphosat, AMPA, Pendimethalin, Prosulfocarb, Chlorthalonil, Terbutylazin und Metolachlor	84
5.7.3 Weitere Wirkstoffe von öffentlichem Interesse	88
5.7.4 Die Altstoffe	91
6 Auswertung der Ergebnisse	92
6.1 Lassen sich die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring auch mit anderen Medien wiederholen?	92
6.2 Welche Wirkstoffe kommen am häufigsten vor?	93
6.3 Welche Faktoren beeinflussen das Vorkommen der Wirkstoffe?	94
6.3.1 Wirkung der Faktoren auf die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe	96
6.3.2 Die Wirkung der Faktoren auf einzelne Wirkstoffe	97
6.3.2.1 <i>Landwirtschaftliche Intensität, naturräumliche Gliederung und biogeografische Region</i>	97
6.3.2.2 <i>Winderosionsfaktor</i>	98
6.3.2.3 <i>Lage in einem Schutzgebiet</i>	99
6.3.2.4 <i>Distanz zur nächsten potenziellen Quelle</i>	99
6.3.2.5 <i>Bio-Anbau</i>	101
6.4 Welche Wirkstoffe kennzeichnen unterschiedliche Natur- und Wirtschaftsräume?	101
7 Diskussion	104
Danksagung	106
8 Literatur	107
9 Anhang	114
9.1 Analytik der Wirkstoffe	114
9.2 Standortklassifizierung	131
9.3 Wertetabellen	136
9.4 Supplement zur statistischen Analyse	137

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Unterschiedliche Transportwege führen zur Luftbelastung mit Wirkstoffen	14
Abb. 2:	Die Erfassung der durch die Luft übertragenen Wirkstoffe durch Passivsammler, Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen, Bienenbrot sowie Baumrinde	18
Abb. 3:	Von TIEM Technik entwickelter Passivsammler	22
Abb. 4:	Probenwechsel einer PUF-Matrix	23
Abb. 5:	Beispiel der Probenentnahmegefäße und der verwendeten Kühlbox	23
Abb. 6:	Standorte der Passivsammler	24
Abb. 7:	Standorte der Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen	25
Abb. 8:	Kühlbox und Probennahme-Material für die Entnahme von Bienenbrot	26
Abb. 9:	Probennahme von Bienenbrot	26
Abb. 10:	Standorte der Bienenbrot-Proben	27
Abb. 11:	Standorte der Rindenproben	28
Abb. 12:	Verhältnis zwischen natürlichem Logarithmus und Messwert	32
Abb. 13:	Regressionsbaum für Glyphosat in den Passivsammlern	35
Abb. 14:	Vorhersagen des Glyphosat-Gehalts in Passivsammlern durch ein lineares Modell (Varianzanalyse) und einen Regressionsbaum	37
Abb. 15:	Vorhersagen des Glyphosat-Gehalts in Passivsammlern durch ein lineares Modell (Varianzanalyse) und einen Regressionsbaum	38
Abb. 16:	Die am häufigsten vorkommenden Wirkstoffe in den Passivsammlern	46
Abb. 17:	Verteilung der Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe in den Proben (N = 49)	47
Abb. 18:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe)	50
Abb. 19:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (17–33 Wirkstoffe)	50
Abb. 20:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–16 Wirkstoffe)	50
Abb. 21:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe)	51
Abb. 22:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe)	51
Abb. 23:	Werte für Glyphosat und dem Metaboliten AMPA	52
Abb. 24:	Werte für Chlothalonil	53
Abb. 25:	Werte für Pendimethalin	53
Abb. 26:	Werte für Metolachlor und Terbutylazin	54
Abb. 27:	Werte für Prothioconazol-desthio und Dimethenamid	55
Abb. 28:	Werte für Prosulfocarb	55
Abb. 29:	Werte für Flufenacet und Tebuconazol	56
Abb. 30:	Werte für Aclonifen und MCPA	56
Abb. 31:	Werte für Folpet	57
Abb. 32:	Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe pro Standort in den Filtermatten und Volumenstrom der dazugehörigen Be- und Entlüftungsanlage	59
Abb. 33:	Standortbelastung der Filtermatten	59
Abb. 34:	Anzahl der in den Filtermatten nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort	61
Abb. 35:	Die Verteilung der Standorte, in denen Glyphosat und AMPA in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde	61
Abb. 36:	Verteilung der Standorte, in denen Boscalid (13), Anthrachinon (9), Fenpropidin (9), Tebuconazol (8), Azoxystrobin (8), Folpet (7), Ametoctradin (7), Epoxiconazol (7), Dicloran (7) und Mandipropamid (7) in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde	62
Abb. 37:	Verteilung der Standorte, in denen Dicloran und Mandipropamid in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde	63
Abb. 38:	Standortbelastung im Bienenbrot	66
Abb. 39:	Die häufigsten Wirkstoffe im Bienenbrot	67

Abb. 40: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (0–12 Wirkstoffe)	68
Abb. 41: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–12 Wirkstoffe).....	68
Abb. 42: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (0–5 Wirkstoffe).....	69
Abb. 43: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort im Bienenbrot	69
Abb. 44: Die gemessenen Werte für Anthrachinon, Pendimethalin und Thiacloprid	70
Abb. 45: Die gemessenen Werte für tau-Fluvalinat, Icaridin, Prosulfocarb und Terbutylazin	71
Abb. 46: Die gemessenen Werte für Piperonylbutoxid (PBO).....	72
Abb. 47: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort für das Rindenmonitoring	74
Abb. 48: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Untersuchungsmatrix (0–36 Wirkstoffe).....	80
Abb. 49: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Untersuchungsmatrix (nur Werte ab 19 Wirkstoffen/Standort) (19–36 Wirkstoffe)....	80
Abb. 50: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Lage in einem Schutzgebiet, keine Lage in einem Schutzgebiet und Stadt	81
Abb. 51: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Lage fern, in mittlerer Entfernung und im Nahbereich einer Quelle	82
Abb. 52: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe am Standort in allen untersuchten Medien	83
Abb. 53: Belastung der Standorte mit Glyphosat und AMPA.....	84
Abb. 54: Belastung der Standorte mit Pendimethalin und Prosulfocarb	85
Abb. 55: Belastung der Standorte mit Chlothalonil und Terbutylazin.....	86
Abb. 56: Belastung der Standorte mit Metolachlor	87
Abb. 57: Belastung der Standorte mit Boscalid und Folpet	88
Abb. 58: Belastung der Standorte mit Clomazon und Thiacloprid	89
Abb. 59: Belastung der Standorte mit Passivsammlern mit Chlorpyrifos	90
Abb. 60: Belastung der Standorte mit der Summe der DDT sowie Lindan	91
Abb. 61: Die naturräumliche Gliederung Deutschlands.....	139

Bildnachweis für die verwendeten Landkarten:

MS Excel; Bing; TomTom; 2020 HERE und Botaurus-stellaris; Wikimedia Commons

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	<i>Betrachtete Standortfaktoren in der statistischen Analyse</i>	33
Tab. 2:	<i>Einflussfaktoren für die Konzentration von Glyphosat in Passivsammlern</i>	34
Tab. 3:	<i>Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Passivsammlern auf die Bedeutung der Standortfaktoren, ermittelt durch das Verfahren »Regressionsbaum«</i>	39
Tab. 4:	<i>Nachweisbare Differenz zwischen Konzentrationen an Bio-Anbau-Standorten und anderen Standorten</i>	41
Tab. 5:	<i>Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Filtermatten auf die Bedeutung der Standortfaktoren durch das Verfahren »Varianzanalyse«</i>	42
Tab. 6:	<i>Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Bienenbrot-Proben auf die Bedeutung der Standortfaktoren durch das Verfahren »Regressionsbaum«</i>	43
Tab. 7:	<i>Übersicht über die Ergebnisse aus den Passivsammlern</i>	45
Tab. 8:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Passivsammlern</i>	48
Tab. 9:	<i>Die häufigsten Wirkstoffe in den Passivsammlern mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median</i>	49
Tab. 10:	<i>Anlagendaten zu den analysierten Filtermatten</i>	58
Tab. 11:	<i>Übersicht über die Ergebnisse aus den Filtermatten</i>	58
Tab. 12:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Filtermatten</i>	60
Tab. 13:	<i>Übersicht über die Ergebnisse aus den Bienenbrot-Proben</i>	63
Tab. 14:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen im Bienenbrot</i>	65
Tab. 15:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen im Bienenbrot mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median</i>	65
Tab. 16:	<i>Übersicht über die Ergebnisse aus den Rinden-Proben</i>	72
Tab. 17:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Rinden</i>	73
Tab. 18:	<i>Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Rinden mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median</i>	73
Tab. 19:	<i>Übersicht über die Ergebnisse aus allen untersuchten Medien</i>	75
Tab. 20:	<i>Wirkstoffe in allen untersuchten Medien</i>	76
Tab. 21:	<i>Wirkstoffe mit Vorkommen in allen Medien</i>	76
Tab. 22:	<i>Wirkstoffe mit Vorkommen in PUF-/PEF-Matrix aus Passivsammlern und Filtermatten</i>	77
Tab. 23:	<i>Wirkstoffe mit Vorkommen Filtermatten und Bienenbrot</i>	78
Tab. 24:	<i>Wirkstoffe mit Vorkommen PUF-/PEF-Matrix in Passivsammlern und Rinde</i>	79
Tab. 25:	<i>Liste der in der ASU L 00.00-115 verzeichneten Wirkstoffe</i>	114
Tab. 26:	<i>Dekodierung der Wirkstoffgruppen nach BVL 2020 und ASU L 00.00-115. Zusätzlich erfasste Stoffe nach ASU L 00.00-115</i>	118
Tab. 27:	<i>Liste aller nach ASU L 00.00-115 nachgewiesenen Wirkstoffe</i>	119
Tab. 28:	<i>Wirkstoffe aus Tab. 27, die im Gesamtergebnis nicht berücksichtigt wurden</i>	124
Tab. 29:	<i>Wirkstoffe aus Tab. 27, die in das Gesamtergebnis einbezogen wurden</i>	125
Tab. 30:	<i>Bereinigte Liste aller nachgewiesenen Wirkstoffe, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden</i>	126
Tab. 31:	<i>Standortklassifizierung</i>	131
Tab. 32:	<i>Nachgewiesene Wirkstoffe in den Passivsammlern mit Nachweishäufigkeit</i>	136
Tab. 33:	<i>Nachgewiesene Wirkstoffe in den Filtermatten mit Nachweishäufigkeit</i>	136
Tab. 34:	<i>Nachgewiesene Wirkstoffe in Bienenbrot mit Nachweishäufigkeit</i>	136
Tab. 35:	<i>Nachgewiesene Wirkstoffe in Rinde mit Nachweishäufigkeit</i>	136
Tab. 36:	<i>Supplement Statistik</i>	137
Tab. 37:	<i>Zusammenstellung aller vorkommenden Kombinationen von Standortfaktoren</i>	137

Verzeichnis der Korrekturen

Am 06.10.2020 wurden gegenüber der Fassung vom 29.09.2020 die folgende Korrekturen im Bericht vorgenommen (Textkorrekturen sind *kursiv* markiert, Streichungen *kursiv und durchgestrichen*, behobene Tippfehler werden nicht ausgewiesen):

Seiten 24, 25, 27, 28, 136: Folgender Satz wurde eingefügt: »*Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze.*«

Seite 25: »Die Bestimmungsgrenzen für die *Filtermatten* sind in der Datentabelle Tab. 33 angegeben.«

Seite 27: »Die Bestimmungsgrenzen für die *Bienenbrot-Proben* sind in der Datentabelle Tab. 34 angegeben.«

Seite 28: »Die Bestimmungsgrenzen für die *Rindenproben* sind in der Datentabelle Tab. 35 angegeben.«

Seite 29: Der methodische Teil wurde um Abschnitt 3.6 erweitert.

Seite 32: Werte unter der *Nachweisgrenze* wurden durch $2/3$ der *Nachweisgrenze* ersetzt (Wosniok 2007).

Seite 92: Der folgende Satz wurde entfernt, da er für die Darstellung der Ergebnisse nicht notwendig ist und falsch aufgefasst werden kann: »~~*Die Honigbiene als Lebewesen kann mit Belastungen aktiv umgehen und ihren Lebensraum selbst wählen, so dass sie Wirkstoffe in ihrer Umwelt zum Teil umgehen kann.*~~«

Seite 102: Folgender Satz wurde präzisiert: »So finden wir *Boscalid (Anwendung in Obst-, Gemüse- und Weinbau)* und *Folpet (Anwendung meist im Weinbau)* an vielen Standorten in unterschiedlichen Matrices (s. Abb. 57).« – *Boscalid* wird, wie im Bericht zuvor erwähnt, auch im Ackerbau eingesetzt. Es wurde aus dieser Betrachtung gestrichen.

Seite 136: Um das Auffinden der Daten eines Standorts zu erleichtern, wurde eine entsprechende Anleitung vor den Datentabellen eingefügt.

Glossar

AMPA	<i>Aminomethylphosphonsäure</i> – Abbauprodukt von Glyphosat.
Aktivsammler	Im Gegensatz zu ► <i>Passivsammlern</i> verwenden Aktivsammler Pumpen, um ein bestimmtes Luftvolumen pro Zeiteinheit anzusaugen und Partikel aus der Luft abzuscheiden. Aktivsammler bieten sich besonders für Untersuchungen an, die eine hohe zeitliche Auflösung der Messwerte (eine Stunde bis zu einem Tag) benötigen, die zeitlich begrenzt durchgeführt werden und die eine tägliche Wartung der Geräte erlauben.
ASU L 00.00-115	ASU ist die Abkürzung für »Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB« des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). Bei dem Verfahren L 00.00-115 handelt es sich um ein »Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mit ► GC und ► LC nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE – Modulares QuEChERS-Verfahren« (Oktober 2018). Die Auswahl der Stoffe in der ASU L 00.00-115 wird vom BVL vorgegeben. Das Spektrum der untersuchten Stoffe wird durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« des BVL nach § 64 LFGB (Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch) festgelegt (BVL 2017, 2018). Es umfasst über 500 ► <i>Wirkstoffe</i> .
BNN-Orientierungswert	Dazu teilt der Bundesverband Naturkost Naturwaren (BNN) mit: »Der Bundesverband Naturkost Naturwaren (BNN) Herstellung und Handel e. V. hat am 3. April 2001 einen Orientierungswert für Pestizide verabschiedet. Damit wurde den BNN-Mitgliedsunternehmen ein praktikables Mittel an die Hand gegeben, mit möglichen Pestizidbefunden in Bio-Produkten umzugehen. Die Mitglieder des BNN Herstellung und Handel e. V. haben sich verpflichtet, nur Ware zu handeln, die dem Orientierungswert entspricht. Gewährleistet wird das durch schriftliche Zusicherung von Vorlieferanten (z. B. Spezifikationen), durch Laboranalysen und andere qualitätssichernde Maßnahmen. [...] Der Orientierungswert liegt bei 0,010 mg/kg für jede Substanz (Wirkstoff) und bezieht sich auf das unverarbeitete Ausgangsprodukt (Primärprodukt i. S. von EG-VO 178/2002).« https://n-bnn.de/sites/default/dateien/bilder/Downloads/BNN-Orientierungswert_DE.pdf
GAPS	<i>Global Atmospheric Passive Sampling Program</i> – wurde 2004 als globales Netzwerk zur Erfassung und Kontrolle von ► <i>POPs</i> (Persistent Organic Pollutants) initiiert, unter anderem im Rahmen des ► <i>Stockholmer Übereinkommens</i> sowie des CLRTAP (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung) der UNECE (Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen). Es ist ein Netzwerk aus über 50 ► <i>Passivsammler</i> -Standorten weltweit. Standard-Passivsammler war das Modell TE-200-PAS mit einer ► <i>PUF</i> -Matrix.
Deposition	Stoffeinträge aus der Umgebungsluft, die gasförmig, als feste Teilchen oder in Niederschlag und Luftfeuchtigkeit gelöst in Ökosysteme eingetragen und auf Oberflächen abgelagert (Deposition) werden. Als »nasse Deposition« wird der Stoffeintrag durch Niederschlag von Regen und Schnee bezeichnet. In der

Luft vorhandene feste und gasförmige Teilchen lagern sich ebenfalls auf Böden und der Vegetation ab. Sie bilden die »trockene Deposition«.

GC	Gaschromatographie
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan – in seiner Form als HCH gamma oder γ -Hexachlorcyclohexan auch unter dem Namen Lindan bekannt. Die anderen isomeren chemischen Verbindungen sind α -Hexachlorcyclohexan, β -Hexachlorcyclohexan und δ -Hexachlorcyclohexan.
LC	Flüssigchromatographie (HPLC)
LGRM	<i>Luftgüte-Rindenmonitoring</i> – wird auch als Rindenmonitoring bezeichnet und wurde als Methode für die ersten Pestiziduntersuchungen eingesetzt (nach Hofmann, Schlechtriemen et al. 2001)
MCPA	2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure
Median	auch Zentralwert genannt; es ist derjenige Messwert, der genau in der Mitte einer Messreihe steht. Das bedeutet, 50 Prozent aller Werte sind niedriger als der Median, 50 Prozent sind höher.
MS	Massenspektrometrie
Passivsammler	Im Gegensatz zu ► <i>Aktivsammlern</i> nutzen Passivsammler ausschließlich den natürlichen Luftstrom. Aufgrund der einfachen, aber effizienten Messtechnik, der geringen Ansprüche an den Messort, der geringen Wartungsintensität und der geringen Betriebs- und Anschaffungskosten eignen sich Passivsammler insbesondere für Langzeituntersuchungen mit einer geringen zeitlichen Auflösung.
PCB	<i>Polychlorierte Biphenyle</i> – chlorierte Kohlenwasserstoffe. PCB sind giftige und krebserregende organische Chlorverbindungen. Sie wurden bis in die 1980er Jahre vor allem in Transformatoren, elektrischen Kondensatoren, in Hydraulikanlagen als Hydraulikflüssigkeit sowie als Weichmacher in Lacken, Dichtungsmassen, Isoliermitteln und Kunststoffen verwendet. In der vorliegenden Studie wurden PCB 028, PCB 052, PCB 101, PCB 138, PCB 153 und PCB 180 nachgewiesen; in der Auswertung wurden sie auch unter Summe aller PCB oder PCB-sum zusammengefasst.
PEF	<i>Polyester-Filter</i> – 8 cm Durchmesser, 2 cm Höhe, mit einem runden Ausschnitt von 3 cm Durchmesser in der Mitte, bezogen von der Firma Freudenberg Filtration Technologies, Weinheim.
Pestizid-Wirkstoffe	sind Stoffe, die in Pflanzenschutzmitteln eingesetzt werden. Sie werden je nach Wirkungsweise unterteilt in Fungizide (gegen Pilze), Herbizide (gegen Unkräuter), Insektizide (gegen Insekten), Molluskizide (gegen Schnecken), Rodentizide (gegen Nagetiere), Akarizide (gegen Milben und Zecken), Repellents (chemische Substanzen, die auf Insekten abstoßend wirken, ohne ihnen zu

schaden), Bakterizide (chemische Substanzen, die Bakterien abtöten), Wachstumsregler (Beeinflussung des Pflanzenwachstums) und Keimhemmungsmittel (die entweder die Keimung von Samen oder das Austreiben von Knollen, z. B. bei Kartoffeln, unterdrücken). Zusätzlich werden Beistoffe wie ► *Safener* und ► *Synergisten* eingesetzt, die die Wirkung des Pflanzenschutzmittels beeinflussen. Zu den Stoffen, die mit ► *Pestiziden* in Verbindung stehen, gehören auch Metaboliten (Stoffwechselprodukte), die beim Abbau eines Wirkstoffs entstehen (z. B. ► *AMPA*).

In der Analyse der Proben mittels Multi-Analytik auf über 500 Pestizide nach ► *ASU L 00.00-115* sowie zusätzlich auf Glyphosat, Glufosinat und AMPA wird eine große Anzahl verschiedener Stoffe bestimmt. Dabei werden auch Substanzen erfasst, die nicht oder nicht vorrangig in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die Analyse ermittelt außerdem zusätzlich die umwelttoxische Gruppe der ► *PCB*. Solche Stoffe finden sich auch in der Gesamtzahl der in der Studie nachgewiesenen Wirkstoffe; in Tab. 27 sind diese aufgeführt.

Die Liste aller untersuchten Wirkstoffe nach ASU L 00.00-115 mit ihrer jeweiligen Wirkstoffklasse findet sich in Tab. 25. Die um alle nicht-landwirtschaftlichen Wirkstoffe sowie den PCB bereinigte Tab. 30 schließlich enthält alle nachgewiesenen Wirkstoffe, die in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen bzw. gekommen sind. Nur bei diesen Wirkstoffen ist der Begriff »Pestizid-Wirkstoff« im engeren Sinn zutreffend.

Proben-Matrix	oder <i>Probenmedium</i> – Zur Erfassung von Wirkstoffen verwendet die Studie unterschiedliche Sammelmedien in unterschiedlichen Methoden. Die Sammelmedien werden in der Studie <i>Matrices</i> , <i>Medien</i> und auch <i>Sammelmedien</i> (im Text synonym verwendet) genannt. Neben den ► <i>PUF</i> - und ► <i>PEF</i> - <i>Matrices</i> in den ► <i>Passivsammlern</i> gehören die Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen sowie das Bienenbrot der Biene und die Baumrinde dazu.
POP-Konvention	<i>Stockholmer Übereinkommen</i> über persistente organische Schadstoffe, auch <i>Stockholm-Konvention</i> – Übereinkunft über völkerrechtlich bindende Verbots- und Beschränkungsmaßnahmen für bestimmte langlebige organische Schadstoffe. Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol, Mirex, Toxaphen, sowie die polychlorierten Biphenyle (► <i>PCB</i>) aus industrieller Anwendung und zwei Gruppen unerwünschter Nebenprodukte (polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane) waren die ersten Schadstoffe, die das Verbot betraf. In Deutschland trat die Konvention am 17. Mai 2004 in Kraft. Während der alle zwei Jahre stattfindenden Vertragsstaatenkonferenz wird unter anderem über die Aufnahme weiterer Stoffe entschieden.
POPs	<i>Persistent Organic Pollutants</i> – langlebige organische Schadstoffe.
PUF	<i>Polyurethan-Schaum</i> – 14 cm Durchmesser, 1,35 cm Höhe; bezogen von der Firma Tisch Environmental, Inc., USA.
Safener	sollen unerwünschte phytotoxische Wirkung von Stoffen oder Zubereitungen, die einem Pflanzenschutzmittel beigelegt werden, unterdrücken oder verringern.
Stockholm ...	siehe <i>POP-Konvention</i> .

Synergisten	besitzen selbst keine oder nur eine schwache Wirkung auf Schadorganismen, können aber die gewünschte Wirkung eines ► <i>Pestizids</i> oder eines Pestizidcocktails auf den Zielorganismus verstärken.
TE-200-PAS	Standardsammler des GAPS-Programms; mit ► <i>PUF</i> -Matrix in einem umschlossenen Raum.
TE-PAS-DD	► <i>Passivsammler</i> mit offen exponiertem ► <i>PUF</i> .
Wirkstoffe	► <i>Pestizid-Wirkstoffe</i>
XAD	<i>Amberlite XAD Harz</i> – wurde im XAD-PAS-Passivsammler von Frank Wania, Universität Toronto, als Langzeitsammler 2003 entwickelt und eingesetzt (Wania, Shen et al. 2003).

Zusammenfassung

Die vorliegenden Ergebnisse resultieren aus der bislang umfassendsten Studie zur Erfassung der Pestizid-Belastung in der Luft in der Bundesrepublik Deutschland. Die Daten zeigen, dass innerhalb eines Jahres Standorte ohne Pestizid-Belastung in der Luft sehr unwahrscheinlich sind. Anzahl und Zusammensetzung der nachgewiesenen Wirkstoffe sowie die Höhe der Belastung hängen vom Standort, aber auch von den Eigenschaften der Wirkstoffe selbst ab. Die Belastung ist im Allgemeinen dort höher, wo eine intensive Ausbringung von Pestiziden zu vermuten ist. Der Abstand zur nächsten potenziellen Quelle hat nur wenig Einfluss. Daher muss auch dort, wo Pestizide nicht ausgebracht werden, mit einem umfassenden Cocktail von Wirkstoffen gerechnet werden. Die Wechselwirkungen dieser Stoffe aus der Luft auf den Menschen sind noch gänzlich unbekannt. Die Ergebnisse mit nicht-biologischen Sammelmedien lassen erkennen, dass Glyphosat weiter in der Luft verbreitet ist als jeder andere untersuchte Wirkstoff. Das Auftreten dieses Pestizids direkt in der Luft wurde in diesem Umfang bislang noch nicht dokumentiert.

Ein Rindenmonitoring (LGRM) hatte während der Jahre 2014 bis 2018 erste Belege erbracht, dass Wirkstoffe von Pflanzenschutzmitteln aus der konventionellen Landwirtschaft über die Luft weiträumig transportiert werden können (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a). Messungen mit verschiedenen weiteren Methoden zur Pestizid-Belastung in der Luft sollten diese Ergebnisse vertiefen.

Hierzu wurden im Rahmen eines Citizen-Science-Projekts 116 Standorte in der gesamten Bundesrepublik während des Jahres 2019 untersucht. Folgende Sammelmethode wurden eingesetzt: technische Passivsammler (49 Standorte), Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen (20 Standorte), Bienenbrot der Honigbiene (41 Standorte) und Rindenproben (6 Standorte). Analysiert wurden die Proben mittels Multi-Analytik auf über 500 Wirkstoffe, darunter Glyphosat, Glufosinat und AMPA (Aminomethylphosphonsäure, Abbauprodukt des Glyphosats). In das Ergebnis wurden Daten des Rindenmonitorings aus den Jahren 2014 bis 2018 einbezogen (47 Standorte).

- **Insgesamt wurden in 163 Proben 152 Wirkstoffe nachgewiesen,**
- **davon waren 138 Stoffe auf landwirtschaftliche Quellen zurückzuführen.**
- **Von den 138 gefundenen Wirkstoffen waren 30 Prozent zum jeweiligen Messzeitpunkt nicht mehr oder noch nie zugelassen.**

Ergebnisse der Sammelmedien

Generell lieferten die Passivsammler die aussagekräftigsten Ergebnisse. Insgesamt wurden hier 80 Wirkstoffe nach ASU L 00.00-115 (s. Glossar S. 8) nachgewiesen. Bereinigt man die Liste der nachgewiesenen Stoffe um PCB (5) und andere Substanzen aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen (4), verbleiben 71 Wirkstoffe, die in der Landwirtschaft ihren Ursprung haben (Tab.39). Der Median der am Standort nachgewiesenen Anzahl von Wirkstoffen liegt nach dieser Bereinigung bei 17.

Zu den weitverbreiteten Pestizid-Wirkstoffen gehören Glyphosat, Chlorthalonil, Metolachlor, Pendimethalin, Terbuthylazin, Prothioconazol-desthio (Abbauprodukt des Prothioconazols), Dime-thenamid, Prosulfocarb, AMPA, Flufenacet, Tebuconazol, Aclonifen, Chlorflurenol, HCH-gamma (Lindan), MCPA (2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure), Epoxiconazol und Folpet. Die aufgeführten Pestizid-Wirkstoffe wurden bei einem Drittel (16 Standorte) der 49 Passivsammler-Standorte nachgewiesen.

In allen Proben nicht-biologischen Ursprungs wurde Glyphosat (100 Prozent aller Standorte von Passivsammlern und Filtermatten) festgestellt.

Die geringste Gesamtbelastung fand sich im Nationalpark Bayerischer Wald (Proben-Nr. 748/1007). Hier wurden neben Glyphosat noch 4 weitere Pestizid-Wirkstoffe registriert. Neben dem ubiquitär vorkommenden Altstoff Lindan finden sich die noch im Gebrauch befindlichen Pestizide

Dimethenamid sowie Chlorthalonil und Chlorpropham (die Zulassung der beiden Letzteren wurde 2019 entzogen; Aufbrauchsfrist bis 2020; vgl. Tab. 30).

Ein Standort im Osten Deutschlands (Proben-Nr. 723/869) in einer Weinanbau-Region verzeichnete die größte Anzahl nachgewiesener Pestizid-Wirkstoffe (31). Auch in anderen Bereichen mit Obst- und Weinanbau (Proben-Nr. 736/948 (28)) finden sich hohe Belastungen. Eine höhere Anzahl an Pestizid-Wirkstoffen je Standort wurde im norddeutschen Raum nachgewiesen (Proben-Nr. 746/778 (29), Proben-Nr. 726/879 (27), Proben-Nr. 742/1002 (26)), aber auch im Osten (Proben-Nr. 703/709 (26)). Dabei ist eine hohe Anzahl nachgewiesener Pestizid-Wirkstoffe pro Standort nicht an Pestizid-Ausbringung vor Ort gebunden. Die Standorte Proben-Nr. 742/1002 und 744/1004 gehören mit 26 bzw. 24 nachgewiesenen Pestizid-Wirkstoffen zu den am meisten belasteten Standorten. Beide Standorte weisen großflächige biologisch bewirtschaftete Betriebsflächen auf. Am Standort 744/1004 wurde mit 3916 ng/Probe auch der höchste Wert für Pendimethalin gemessen. In der Umgebung waren bereits Überschreitungen des BNN-Richtwerts (s. Glossar) vorgekommen, wodurch die Ernte nicht als Bio-Ware vermarktet werden konnte.

Besonders deutlich wird die Pestizid-Belastung im norddeutschen Raum am Beispiel des Nationalparks Harz (Brockengarten; Proben-Nr. 740/1000), in dem entsprechend der bereinigten Liste (Tab. 30) 12 Pestizid-Wirkstoffe zum Teil in erheblichen Mengen nachgewiesen wurden, z. B. Glyphosat (99,2 ng/Probe), Chlorthalonil (1494,7 ng/Probe), Terbutylazin (49,3 ng/Probe), Prothioconazol-desthio (58,7 ng/Probe). Auch das Pestizid Folpet, das im Weinbau eingesetzt wird, wurde hier mit 23,5 ng/Probe gemessen (alle Werte in Tab. 32).

Die Zusammensetzung der Wirkstoffe in den untersuchten Medien unterscheidet sich voneinander. Während die PUF-Matrix der Passivsammler flüchtige Wirkstoffe aufnimmt, sind Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen darauf ausgelegt, Stäube aus der Luft zu filtern. Es ist daher anzunehmen, dass es sich bei der Belastung mit Wirkstoffen um Substanzen handelt, die ursprünglich an Bodenpartikeln hafteten, dann verweht und von der Anlage aus der Luft gefiltert wurden. Somit können sie im Sammelmedium Filtermatte akkumulieren. Hier wurden in 20 Proben nach Bereinigung um PCB und Substanzen aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen 62 Pestizid-Wirkstoffe nachgewiesen, deren Ursprung in der Landwirtschaft anzunehmen ist. Einzelne Standorte waren mit 1 bis 34 Pestizid-Wirkstoffen belastet.

Bienen weisen ein eigenes Sammelspektrum auf. Im Gegensatz zu Passivsammlern und Filtermatten spiegeln sie Belastungen mit Insektiziden wie Thiacloprid wider. In 41 Proben konnten nach Bereinigung um PCB und Substanzen aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen 48 Pestizid-Wirkstoffen, deren Ursprung in der Landwirtschaft anzunehmen ist, mit einer Standortbelastung von 0 bis 12 Pestizid-Wirkstoffen je Standort nachgewiesen werden.

Die Proben aus dem Rindenmonitoring weisen das größte Spektrum an Pestizid-Wirkstoffen auf. In 53 Proben wurden nach Bereinigung um PCB und Substanzen aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen 94 Pestizid-Wirkstoffe, deren Ursprung in der Landwirtschaft anzunehmen ist, sowie 1 bis 26 Pestizid-Wirkstoffe je Standort nachgewiesen.

Ergebnisse der statistischen Analyse

Die statistische Analyse untersucht anhand der Daten aus den Passivsammlern 6 Standortfaktoren bezüglich ihres Einflusses auf das Vorkommen von Wirkstoffen insgesamt. Dazu wurden alle gemessenen Werte in den Passivsammlern entsprechend der ASU L 00.00-115 herangezogen. Die Analyse identifiziert den Naturraum des Standorts sowie die Intensität der Landwirtschaft als wichtige Einflussfaktoren. Die Faktoren Schutzgebiete und Distanz zur nächsten potenziellen Quelle haben wenig Einfluss auf die nachgewiesenen Werte. Auch die Ausrichtung eines Standorts auf biologische Bewirtschaftung, die Winderosion und die biogeografische Lage des Standorts wirken sich nicht auf die Anzahl der nachgewiesenen Werte aus. Lediglich für Metolachlor können im Bio-Anbau deutlich niedrigere Werte festgestellt werden. Die Daten sind komplex verknüpft und müssen für jeden untersuchten Stoff gesondert betrachtet werden.

1 Einleitung

Bei der Betrachtung des Transports von Wirkstoffen durch die Luft sind zwei Aspekte zu berücksichtigen:

Abdrift

Als Abdrift versteht man den Anteil des Wirkstoffs, der nicht auf der Zielfläche bleibt, wenn der Wirkstoff ausgebracht wird. Dabei konzentriert man sich auf den Transport von Tröpfchen, die nach der unmittelbaren Ausbringung eines Pestizids durch den Sprühvorgang entstehen. Eine mögliche Exposition über die Luft berücksichtigen Behörden im Rahmen ihrer Risikobewertung bei den Zulassungsverfahren für Anwender, umstehende Personen und Anrainer. Zahlreiche Vorschriften regeln daher die Ausbringung, um den Transport über den Feldrand hinaus zu minimieren.

Ferntransport

Der zweite Aspekt betrifft den Ferntransport weit über den Feldrand hinaus. Obwohl der Ferntransport von Wirkstoffen für die Wissenschaft kein neues Phänomen ist, wurde dieser Prozess bislang bei den Zulassungsverfahren für Pestizide nur aufgrund theoretischer Berechnungen berücksichtigt. Der in der Praxis stattfindende Ferntransport wurde jedoch vernachlässigt.

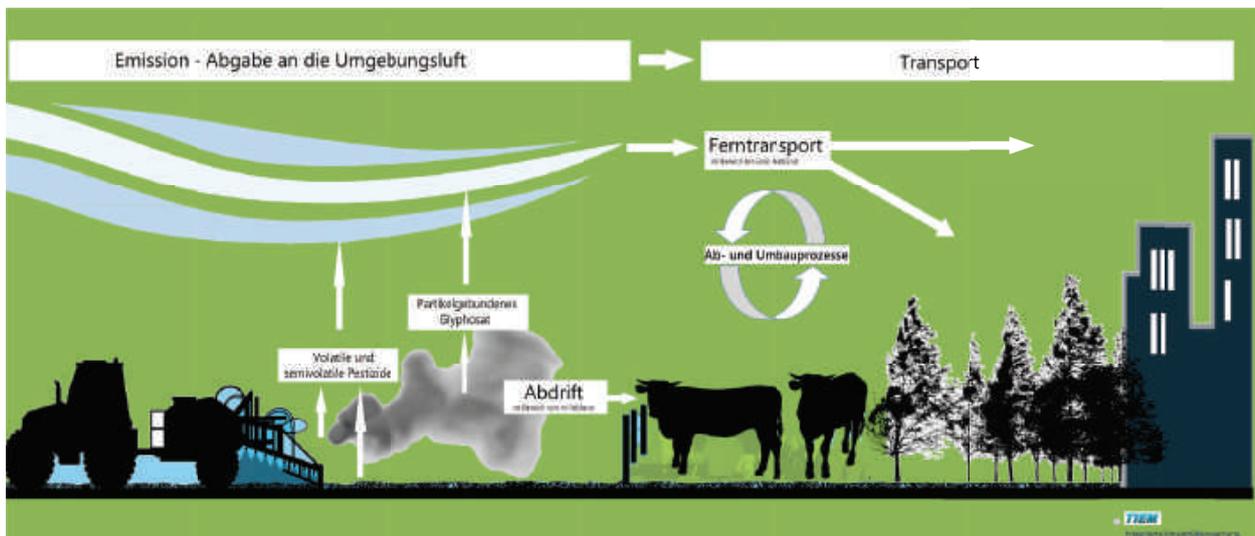


Abb. 1: Unterschiedliche Transportwege führen zur Luftbelastung mit Wirkstoffen.

Schon seitdem bekannt wurde, dass das Insektizid DDT als langlebiger organischer Schadstoff sich in Organismen anreichert, wurde deutlich, dass Pestizid-Wirkstoffe weit über den Feldrand hinaus in die Umwelt gelangen können. Die Messungen im Rahmen des Stockholmer Übereinkommens über persistente organische Schadstoffe (also Schadstoffe, die sich nur sehr langsam in der Umwelt abbauen, s. Glossar) konnten eindrucksvoll zeigen, wie weit sich Pestizide nach ihrem Einsatz weltweit verbreiten (z. B. UNEP 2017 und Pozo, Wania et al. 2006). Doch auch für noch im Einsatz befindliche Pestizide führten van Dijk und Guicherit schon im Jahr 1999 eine ganze Reihe an Studien aus Europa und Nordamerika zusammen, die den Transport dieser Stoffe über die Luft aufzeigten (van Dijk und Guicherit 1999).

Die Ergebnisse eines Monitoring-Programms aus Schweden, das regelmäßige und aktuelle Daten über die Pestizidbelastung erhebt (Kreuger, Larsson et al. 2013, Kreuger und Lindström 2019), zeigen besonders deutlich, dass sich Pestizide nicht anders verhalten als anorganische luftverschmutzende Stoffe wie Schwefel- oder Stickoxide. Die meisten gasförmigen Pestizide, die in der PUF-Matrix (s. Glossar) gemessen wurden, waren in Schweden nicht zugelassen. Dazu gehört auch Pendimethalin, das in Schweden seit 2008 verboten ist und im Rahmen dieser Studie besondere

Bedeutung hat. Chlorpyrifos wird in allen schwedischen Proben nachgewiesen. Chlorpyrifos, das auch in Deutschland nicht zugelassen ist, wird besonders im Anbau von Obst und Zitrusfrüchten in Südeuropa, aber auch in osteuropäischen Staaten eingesetzt. Nur Endosulfan-alpha und HCH-alpha werden in Schweden noch öfter nachgewiesen.

Anders als Pendimethalin ist das Herbizid Prosulfocarb auch in Schweden für Anwendungen freigegeben. Es wird dort in allen Proben nachgewiesen und weist sowohl bei der Deposition und der Konzentration die höchsten Werte auf. Die Deposition lag 2017 bei etwa $90 \mu\text{g}/\text{m}^2$ jährlich. Höchstwerte wurden 2010 mit Werten von deutlich über $200 \mu\text{g}/\text{m}^2$ jährlich erreicht. Die Luftkonzentration im Zeitraum von April 2017 bis zum März 2018 schwankte zwischen $0,005 \text{ ng}/\text{m}^3$ und $10.000 \text{ ng}/\text{m}^3$, wobei ein Höchstwert von $30.000 \text{ ng}/\text{m}^3$ erreicht wurde. Die höchsten Werte wurden dabei in den Monaten Oktober und November gemessen (Kreuger, Larsson et al. 2013, Kreuger und Lindström 2019).

Auch eine neue Publikation aus Chile zeigt genauso wie die schwedischen Daten eine hohe Belastung der Luft mit Chlorpyrifos. Dort wird das Pestizid im Obstanbau ausgebracht. Aber ebenso hoch war die Belastung mit Pendimethalin mit einem Maximum von $14,9 \text{ ng}/\text{m}^3$. Die Konzentrationen sind allerdings bedeutend niedriger als in Schweden (Cortes, Pozo et al. 2020).

Das Verhalten von Pendimethalin und Prosulfocarb nach der Ausbringung wurde von Jensen et al. im Jahr 2007 beschrieben (Jensen, Spliid et al. 2007). Wenn das ausgebrachte Herbizid den Boden erreicht, wird sehr wenig an die Umgebung abgegeben. Beide Herbizide binden sich fest an die oberen Bodenpartikel. Falls die Pestizide jedoch auf eine Pflanzenoberfläche treffen – untersucht wurde dazu Chinakohl –, werden 60 bis 80 Prozent an die Luft abgegeben.

Doch die Konzentrationen, die über Luft und Regen eingetragen wurden, galten bislang als zu gering, um eine schädigende Wirkung hervorzurufen (EU-Verordnungen 1272/2008 und 1107/2009).

Seit einigen Jahren mehren sich nun die Fälle, bei denen unerwartet hohe Pestizid-Wirkstoff-Konzentrationen in biologisch erzeugten Lebensmitteln nachgewiesen werden.

Der Bioland-Landwirt Hartmut Böhner klagte gegen seine konventionell produzierenden Nachbarn, als sein im Jahr 2013 geernteter Porree und sein Staudensellerie zu hohe Konzentrationen von Pendimethalin aufwies, um als Bioprodukt vermarktet zu werden. Eine endgültige Entscheidung der Gerichte steht noch aus.

Hartmut Böhner ist kein Einzelfall. Gerald Wehde von Bioland e.V. hat Anfang 2018 eine Zusammenstellung von rund 250 Funden der Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb an das zuständige Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit übergeben. Die Funde beziehen sich insbesondere auf die Jahre 2012 bis 2016 und stellen die umfangreichste Datensammlung dieser Art dar. Insgesamt waren über 60 verschiedene Kulturen und (Wild-)Pflanzen betroffen. Die Pestizid-Wirkstoffe Pendimethalin und Prosulfocarb sind dabei die bedeutendsten Verursacher. Für die betroffenen Landwirte bedeutet das einen nicht unerheblichen finanziellen Schaden durch Ernteausfall oder auch den Ausstieg aus dem Anbau empfindlicher Kulturen (Gerald Wehde, pers. Kommunikation, sowie s. Sonnentor Kräuterhandels GmbH, Herbaria Kräuterparadies GmbH et al. 2016).

Die EFSA (2014) klassifiziert alle Pestizide mit einem Dampfdruck unterhalb von $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ als schwach flüchtig. Pestizide mit einem Dampfdruck von 5×10^{-3} bis 10^{-2} Pa werden als mittel flüchtig bezeichnet. Stark flüchtig sind Stoffe mit einem Wert von über 10^{-2} Pa . Pendimethalin mit einem Dampfdruck von $3,3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ fällt in die Kategorie mit mittlerer Flüchtigkeit. Prosulfocarb, für das die EFSA den Dampfdruck von $7,9 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ (bei 20°C) angibt, gehört zu den schwach flüchtigen Stoffen. Im Sitzungsprotokoll des Fachbeirates »Naturhaushalt« des BVL finden sich bereits bei der 24. Sitzung vom 23./24.9.2009 unter dem Punkt »TOP 6: Funde in Grünkohl: Abdrift/Verflüchtigung von Pendimethalin« Hinweise auf die Bedeutung der Pestizidverfrachtung (BVL 2009). Ebenso berichtet das LAVES aus Niedersachsen im Jahr 2012 über eine Belastung von Grünkohl-Proben, die bereits seit 2008 beobachtet wurden (LAVES Niedersachsen 2012). Lediglich in 2 von 17 Grünkohl-Proben konnten 2012 keine Pestizidrückstände bestimmt werden, und acht Proben enthielten unzulässige bzw. nicht genehmigte Wirkstoffrückstände. Eine Überschreitung der Höchstgehalte wurde in sechs

Grünkohl-Proben festgestellt. Pendimethalin und Prosulfocarb waren auch bei dieser Untersuchung die häufigsten nachgewiesenen Pestizide.

Als in Brandenburg innerhalb des größten zusammenhängenden Ökolandbaugebiet Europas Bio-Körnerfenchel wegen einer zu hohen Pestizidbelastung nicht zur Vermarktung zugelassen wurde, zeigte sich, dass die Pestizid-Verbreitung nicht allein durch Abdrift in Entfernungen von bis zu 50 Metern zu erklären sind. Auch dort war es das Herbizid Pendimethalin, das die Probleme verursachte. Die erste wissenschaftliche Betrachtung zur Pestizid-Belastung der Luft wurde daher 2014 vom LfU Brandenburg beauftragt, um mittels Luftgüte-Rindenmonitoring alle relevanten Stoffe innerhalb der betroffenen Gebiete zu erfassen (Hofmann und Schlechtriemen 2015). Diese Fragestellung wurde nachfolgend sukzessive ausgebaut. Die umfassende Rindenmonitoring-Studie wurde 2018 auf 47 Baumrinden-Proben aus ganz Deutschland erweitert, wobei die Proben auf 500 Wirkstoffe und Glyphosat hin analysiert wurden (Hofmann und Schlechtriemen 2016; Hofmann und Schlechtriemen 2017; Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a).

Auch hier waren Pendimethalin und Prosulfocarb die am häufigsten vorkommenden Pestizide. Doch auch Altstoffe wie DDT und Lindan waren weitverbreitet. Glyphosat stand bei den Ergebnissen an fünfter Stelle. Damit konnte für dieses Pestizid erstmalig ein Lufttransport nachgewiesen werden. Die statistische Analyse zeigte zudem, dass die gemessenen Konzentrationen an Glyphosat mit dem Winderosionsfaktor des Bodens am Probenort stark korrelierten. Ein Transport des Glyphosats über Bodenpartikel ist daher als wahrscheinlich anzusehen.

Obwohl es seit Jahren im Einsatz ist, wurde eine allgemeine Verbreitung und Exposition über den Luftpfad im Zulassungsverfahren für Glyphosat bisher ausgeschlossen, und zwar mit der Begründung, dass es selbst nicht flüchtig sei (European Food Safety Authority (EFSA) 2015a, European Food Safety Authority (EFSA) 2015b, Watts, Clausing et al. 2016).

Morshed und Mitautoren kommen aufgrund ihrer Ergebnisse aus einem Experiment mit Passiv- und Aktivsammlern (s. Glossar) in Malaysia zu dem Schluss, dass bei Glyphosat der Transport über Bodenpartikel wahrscheinlich ist (Morshed, Omar et al. 2011). Bei Messungen vor und nach der Applikation von Glyphosat konnte das Herbizid hauptsächlich in der Glasfaser-Matrix des Aktivsammlers nachgewiesen werden. Die PUF-Fraktion des Aktivsammlers nahm kein Glyphosat auf, ebenso wenig wie die PUF-Matrix und die Zellulose-Matrix des Passivsammlers (Passivsammler, s. Glossar). Lediglich im Baumwollmull eines Passivsammlers konnte Glyphosat nachgewiesen werden.

Farenhorst und Andronak konnten in trockenen Jahren eine fünffach erhöhte Konzentration von Glyphosat im Regenwasser der Stadt Winnipeg (Kanada) nachweisen, was sie auf die ebenfalls erhöhten Staubanteile in der Luft zurückführten (Farenhorst, Andronak et al. 2015).

Wie sehr die Bevölkerung Deutschlands Glyphosat ausgesetzt ist, zeigte erstmals die »Urinale«-Studie, bei der über 2000 Probanden ihren Urin untersuchen ließen (Krüger, Lindner et al. 2016). In 99,6 Prozent der 2009 verwertbaren Proben wurde das Pestizid Glyphosat nachgewiesen. Der Ursprung der Ernährungsform hatte dabei nur einen bedingten Einfluss. So war die durchschnittliche Belastung bei Probanden mit rein biologisch erzeugten Nahrungsmitteln zwar geringer (0,9 ng/ml), aber der Unterschied zu konventionell erzeugter Nahrung (1,2 ng/ml) nicht signifikant. Da biologische Lebensmittel einer strengen Kontrolle unterworfen sind, war der Befund die Frage auf, auf welchem anderen Weg die Belastung zustandekommen konnte. Der Verdacht fiel auf den Ferntransport durch die Luft.

Bio-Landwirtschaft

Ein Bio-Lebensmittel unterliegt der EU-Öko-Verordnung (EU) Nr. 2018/848 (European Union (EU) (2018)), die die Verordnung (EG) Nr. 834/2007 am 30.05.2018 ablöste.

Darin ist festgelegt, dass alle biologisch produzierenden Höfe und Lebensmittelunternehmen aus dem Bio-Bereich mindestens einmal jährlich von geschulten Kontrolleuren dahingehend überprüft werden, ob die Richtlinien eingehalten werden. Zusätzlich sind Stichproben möglich.

Der gesamte Produktionsprozess vom Saatgut oder dem Futtermittel bis zum Endprodukt im Laden wird dahingehend überwacht, dass keine unzulässigen Hilfsmittel, wie chemisch-synthetische Pestizide oder chemisch-synthetische Dünger, eingesetzt wurden.

Nun wurde bereits eine Reihe von Beispielen aufgeführt, in denen eine Produktverunreinigung aus Quellen stammt, die die biologische Landwirtschaft selbst nicht kontrollieren kann. Bislang standen keine Daten zur Verfügung, mit denen der Biolandbau auf die Quellen solcher Verunreinigungen verweisen konnte. Die für Pestizidzulassungen zuständige Behörde EFSA sieht jedoch auf Grundlage der EU-Verordnungen 1272/2008 und 1107/2009 bei Pestizid-Wirkstoffen mit geringer und mittlerer Flüchtigkeit eine auf Standardwerten beruhende Expositionsabschätzung vor. Sie kommt zu dem Schluss, dass bei diesen Substanzen kein Transport über den Nahbereich hinaus stattfindet.

Pestizide wie Pendimethalin, Prosulfocarb und Glyphosat wurden im Rindenmonitoring 2014 bis 2018 an Bäumen nachgewiesen (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a). Dies deutete einen Lufttransport dieser Stoffe an. Diese Pestizide fallen in die Klasse der Wirkstoffe mit geringer bis mittlerer Flüchtigkeit, für die kein Lufttransport angenommen wird.

Daher wurden in der vorliegenden Studie Daten zur Belastung mit Wirkstoffen direkt in der Luft mit Hilfe von technischen Passivsammlern, Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen, mit dem biologischen Sammler Bienenbrot der Honigbiene sowie der Baumrinde erhoben. Die Daten wurden über den Zeitraum von Ende März bis Mitte November 2019 erfasst. Das Auftreten und die räumliche Verteilung von Wirkstoffen in der Luft wird hier mit Hilfe dieser Daten dokumentiert.

2 Aufgabenstellung

Die Ergebnisse der Rindenmonitoring-Studie von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) ließen Fragen offen. Obwohl Rindenmonitoring mit der standardisierten Probenahme eine ausgezeichnete Methode zur qualitativen Bestimmung von Umwelteinflüssen ist, können die Stoffe nicht quantitativ erfasst werden. Der Expositionszeitraum der äußeren Rinde lässt sich naturgemäß nicht datieren, und das Adsorptionsverhalten von Stoffen, zum Beispiel von Pestizid-Wirkstoffen, an der Baumrinde ist nicht bekannt. Es kann daher mit den Ergebnissen des Rindenmonitorings eine Aussage über das Vorkommen belastender Stoffe in der Umwelt getroffen werden, aber es ist nicht möglich, die Höhe der Gesamtbelastung in der Umwelt über einen festen Zeitraum zu beurteilen.

In der nun vorliegenden, zweiten Studie wurden die Untersuchungen daher um drei Medien erweitert, um die Belastung der Luft über einen festgelegten Zeitraum im Jahr 2019 zu erfassen. Dabei sollte im Rahmen der vorhandenen Ressourcen ein möglichst breites Bild der Luftbelastung durch Pestizid-Wirkstoffe entstehen. Die interessierte Bevölkerung sollte zudem die Möglichkeit bekommen, aktiv mitzuwirken. Dieses Anforderungsprofil bedeutete, dass die Methoden einfach umzusetzen, kostengünstig und weiträumig einsetzbar sein mussten.

Die Effektivität der verwendeten Methoden war bereits 2018 in einem Pilotprojekt getestet worden, dessen Ergebnisse die sehr guten Sammeleigenschaften belegen (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019b). Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die gewählten Methoden nicht den Anspruch erheben, alle Wirkstoffe in der Luft zu erfassen. Das wäre lediglich mit Aktivsammlern möglich. Der Einsatz solcher Geräte ist sehr kostspielig und im Rahmen der Studie über die gesamte Bundesrepublik nicht umsetzbar. Es ist daher davon auszugehen, dass die reale Umweltbelastung die Messwerte übersteigt, die mit den in dieser Studie angewendeten Methoden ermittelt wurden.

Die in diesem Projekt verwendeten Methoden und Indikatoren:

1. Bereits 2018/19 war ein Passivsammler entwickelt worden, der neben volatilen und semivolatilen Wirkstoffen auch Glyphosat erfasst. Passivsammler haben den Vorteil, dass sie keinerlei Stromanschluss benötigen und somit praktisch überall einsetzbar sind.
2. Bienen (Bienenbrot) wurden als biologischer Sammler eingesetzt.
3. Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen hatten sich in einem Vorversuch ebenfalls als effektives, kostengünstiges Sammelmedium erwiesen.
4. Ergänzend wurden an 6 Standorten abermals Rindenproben genommen.

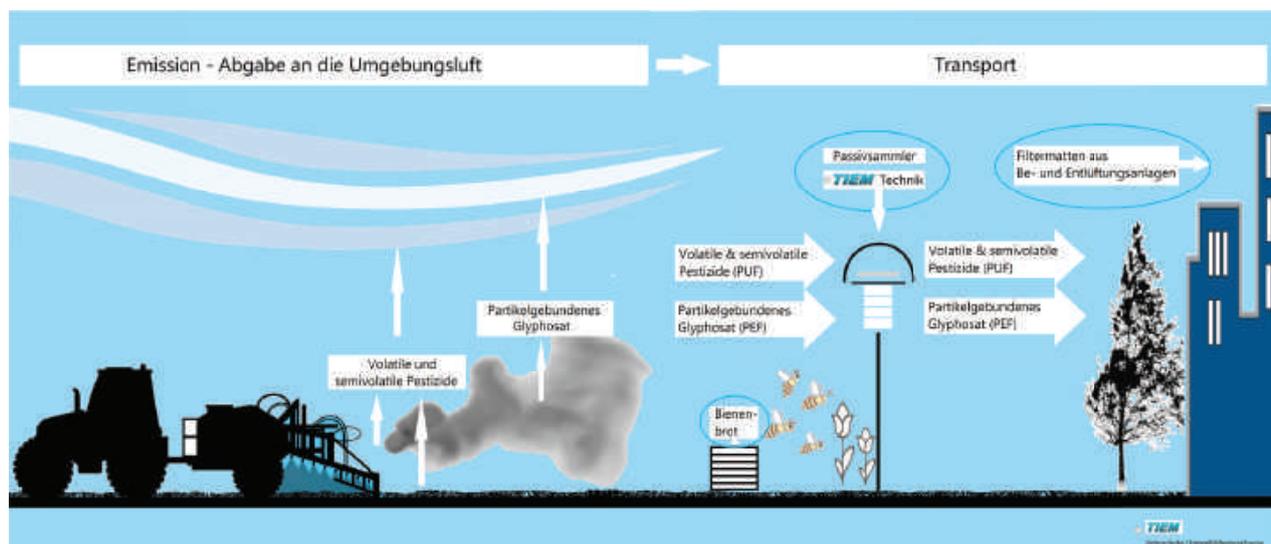


Abb. 2: Die Erfassung der durch die Luft übertragenen Wirkstoffe durch Passivsammler, Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen, Bienenbrot sowie Baumrinde.

Folgende Fragen sollten im Fokus der Untersuchungen stehen:

1. **Lassen sich die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 auch mit anderen Medien wiederholen?**
(siehe Kapitel 6.1)
2. **Welche Wirkstoffe kommen am häufigsten vor?**
(siehe Kapitel 6.2)
3. **Welche Faktoren beeinflussen das Vorkommen der Wirkstoffe?**
(siehe Kapitel 6.3)
4. **Welche Wirkstoffe kennzeichnen unterschiedliche Wirtschaftsräume?**
(siehe Kapitel 6.4)

3 Vorgehensweise

Für die Unterstützung bei der Gewinnung der Standorte danken wir dem Umweltinstitut München e.V. und der Aurelia Stiftung, Berlin.

Im Rahmen der Bewerbung von Interessierten für einen Versuchsstandort wurden bereits grundlegende Informationen über die Lage des Standorts und die umgebenden landwirtschaftlichen Nutzungsformen erhoben.

3.1 Kriterien der Standortwahl

Bei der Auswahl der Standorte waren eine Reihe von Kriterien zu berücksichtigen, damit die Ergebnisse die Vielfalt der vorhandenen potenziellen Luftbelastung wiedergeben konnten. Die Bedingungen, denen die untersuchten Standorte genügen mussten, sind in Tab. 31 aufgeführt, die auch die Grundlage für die statistische Analyse mit den Faktoren in Tab. 1 ist.

Für die statistische Analyse der Standortfaktoren in der vorliegenden Studie wurden daher nur die Sammelmedien Passivsammler, Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen sowie Bienenbrot (insgesamt 110 Standorte) herangezogen.

Da lediglich an 6 weiteren Standorten erneut Rindenproben genommen wurden, war hier keine statistische Analyse möglich. Die Standortfaktoren für die 47 Standorte des Rindenmonitorings aus den Jahren 2014 bis 2018 wurden bereits in der Studie 2019 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) ausgewertet.

1. Abbildung von Standortbelastungen in ganz Deutschland

Um ein breites Bild von der potenziellen Pestizid-Belastung in Deutschland zu erhalten, wurden Standorte möglichst flächendeckend ausgewählt. Dies war für die Passivsammler leichter möglich als für die Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen sowie Bienenbrot.

2. Abbildung von Standortbelastungen in unterschiedlichen Natur- und Wirtschaftsräumen

- Stadt und Land
- intensive und extensive Landwirtschaft
- unterschiedliche Schutzgebiete
- verschiedene Anbauformen: Acker-, Obst-, Wein-, Biolandbau

3. Zuordnung der Intensität der Landwirtschaft am jeweiligen Standort

Die Intensität der Landwirtschaft am jeweiligen Standort wurde mit Hilfe von Luftbildaufnahmen aus Google Maps abhängig vom Anteil ackerbaulicher Flächennutzung in einem Umfeld von etwa 4 km² ermittelt:

- 1 = gering (Anteil 0–20%)
- 2 = mittel (Anteil 20–50%)
- 3 = hoch (Anteil > 50%)

In die statistische Analyse geht dieser Faktor als *LwIntK* ein.

4. Abstand zur nächstmöglichen Quelle

Wie einleitend erläutert, ist der Ferntransport von Wirkstoffen bislang nicht als relevante Größe in den Zulassungsverfahren behandelt worden, obwohl die Probleme schon seit längerem bekannt sind. Der Abstand zu potenziellen Quellen ist eine entscheidende Größe, um den Transport über den Nahbereich hinaus bewerten zu können. In der vorliegenden Studie wurde ein konservativer Ansatz verfolgt; die Standorte wurden wie folgt eingeteilt:

- **Nahbereich – potenzielle Quellen liegen in einer Entfernung von bis zu 100 m**
- **mittlerer Transport – potenzielle Quellen liegen 100 bis 1000 m entfernt**
- **Ferntransport – potenzielle Quellen haben einen Abstand von über 1000 m**

Die intensive landwirtschaftliche Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland erschwert es, Standorte für den Ferntransport ausfindig zu machen. Die Daten zur Einteilung der Standorte wurden vor Ort und mit Hilfe von Satellitenbildern erhoben. In die statistische Analyse geht dieser Faktor als *DistanzE* ein.

Verteilung aller untersuchten Standorte nach Entfernung zur Quelle:

- **Nahbereich: 23 Standorte**
- **mittlerer Transport: 59 Standorte**
- **Ferntransport: 28 Standorte**

5. Naturraum, biogeografische Region und Lage innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten

Von den 110 untersuchten Standorten (ohne Rindenproben) im Jahr 2019 lagen

- **in einem Schutzgebiet: 40 Standorte**
- **außerhalb eines Schutzgebiets: 70 Standorte**

Als Datenquelle hierzu dienten die Daten des Bundesamts für Naturschutz (BfN-Geodienste; <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>) (BfN 2015 ODB). Erhoben wurde die naturräumliche Gliederung – statistischer Faktor Naturraum (s. Abb. 61), die biogeografische Region – statistischer Faktor *BioGeo* – und die Lage in einem Schutzgebiet des jeweiligen Standorts – statistischer Faktor *SchutzGebJN*.

Dazu ist zu beachten, dass nur in den wenigsten Schutzgebieten die landwirtschaftliche Aktivität eingeschränkt ist. Lediglich in Nationalparks sind Schutzzonen ohne Bewirtschaftung vorgesehen. Das gilt lediglich für zwei Standorte. Auch in Naturschutzgebieten ist unter Umständen keine landwirtschaftliche Nutzung zugelassen. Das trifft jedoch nicht auf die für diese Studie untersuchten Standorte zu.

6. Standortdaten zur Winderosionsgefährdung der Böden

Da die Ergebnisse der Pilotstudie 2019 bereits den Lufttransport von Glyphosat mit Hilfe von Bodenpartikeln nahelegten (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a), wurden auch im Jahr 2019 die zur Verfügung stehenden GIS-Daten zur Winderosionsgefährdung der Böden für jeden Standort ausgewertet (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2015); <http://geoportal.de>). Eine Zusammenfassung aller Daten zu den Standorten ist in Tab. 31 gegeben. In die statistische Analyse geht dieser Faktor als *Erosion3* ein.

Weiterhin wurden für alle Standorte die Lage sowie Ausprägung der umgebenden Landnutzung jeweils in einem Standortprotokoll dokumentiert.

7. Standortdaten zur Lage in einer biologisch bewirtschafteten Fläche

Bei den Standorten der Passivsammler waren auch eine Reihe von biologisch wirtschaftenden Betrieben vertreten. In der statistischen Erhebung wurde diese Gruppe zusammen mit zwei Standorten in Nationalparks (NP Harz und NP Bayerischer Wald) als Flächen gekennzeichnet, auf denen keine chemisch-synthetischen Pestizide ausgebracht werden.

In die statistische Analyse geht dieser Faktor als *BioJN* ein.

3.2 Der Passivsammler

Der für das Projekt entwickelte Sammler verwendet eine PUF-Matrix (Polyurethan Foam), die zum Beispiel im TE-200-PAS, dem Standardsammler aus dem GAPS-Programm, oder im TE-PAS-DD, beide vom Unternehmen Tisch Environmental, Inc. (USA), eingesetzt wird.

Die PUF-Matrix, eine Polyurethan-Scheibe mit 14 cm Durchmesser und 1,35 cm Höhe, wurde von Tisch Environmental, Inc., bezogen. Sie ist in vielen Publikationen umfassend validiert (Gouin, Ruepert et al. 2008; Hayward, Gouin et al. 2010; Koblizkova und Harner 2012; Herkert, Spak et al. 2018) und in den Arbeiten von Zhang et al. bestätigt (Zhang, Nakano et al. 2011; Zhang und Wania 2012; Zhang, Brown et al. 2013).

Zusätzlich zu den vorliegenden Publikationen führte TIEM im Jahr 2018 Versuche zur Erfassung der für die Studie relevanten Wirkstoffe durch unterschiedliche Sammelmedien durch (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019b). Hierzu verwendeten sie den TE-PAS-DD, dessen PUF offen exponiert ist und auch Partikel aus der Luft aufnehmen kann. Im umschlossenen TE-200-PAS ist die PUF-Matrix geschützt, und eine Partikelaufnahme findet nur in geringem Umfang statt. Wie bereits in den vorangehenden Studien beschrieben, konnten auch Hofmann und Schlechtriemen feststellen, dass die volatilen und semivolatilen Wirkstoffe inklusive Pendimethalin vom TE-200-PAS relativ gut erfasst werden (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019b).

Allerdings gab es keine Daten über die Empfindlichkeit gegenüber Glyphosat. Mahbub Morshed konnte in einem Experiment mit kontrollierter Glyphosat-Applikation kein Glyphosat in der sonst so effektiven PUF-Matrix nachweisen (Morshed, Omar et al. 2011).

Hofmann und Schlechtriemen testeten neben der PUF-Matrix daher auch noch den PEF-Filter (Polyester Filter, s. Glossar) aus dem standardisierten Pollenmassenfilter (DIN CEN/TS 2016) und die XAD-Matrix (auch Amberlite XAD Harz, s. Glossar) der Langzeit-Messung aus dem GAPS-Programm mit einer kontrollierten Glyphosat-Ausbringung (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019b). Im Gegensatz zu Mahbub Morshed (Morshed, Omar et al. 2011) konnten Hofmann und Schlechtriemen (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019b) in der offen exponierten PUF-Matrix des TE-PAS-DD durchaus Glyphosat feststellen. Allerdings erwies sich die untersuchte PEF-Matrix (Polyesterfilter, 8 cm Durchmesser, 2 cm Höhe mit einem runden Ausschnitt von 3 cm Durchmesser in der Mitte; bezogen von Freudenberg Filtration Technologies, Weinheim, DE) als sehr viel effektiver.

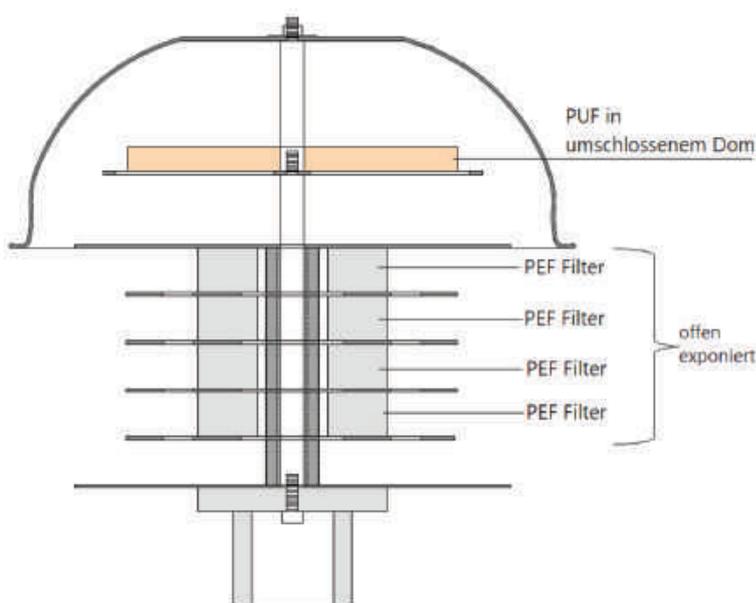


Abb. 3:
Von TIEM Technik entwickelter Passivsammler mit einer PUF-Matrix (■) zur Erfassung volatiler und semivolatiler Wirkstoffe sowie einem PEF-Filter (■) zur Erfassung von Glyphosat.

Der von TIEM Technik für dieses Projekt entwickelte Passivsammler verwendet daher zwei Matrices: Die PUF-Matrix (s. Abb. 3, ■) soll innerhalb eines umschlossenen Raums, ähnlich dem Sammler TE-

200-PAS aus dem GAPS Programm, die volatil und semivolatil Wirkstoffe erfassen. Der PEF-Filter (s. Abb. 3, ) ist als zweite Matrix offen exponiert und soll die Wirkstoffe Glyphosat, Glufosinat sowie den Metaboliten des Glyphosats, AMPA (s. Glossar), sammeln.

3.2.1 Die Probennahme

Die verwendeten PUF-Medien wurden von der Firma Tisch Environmental, Inc. (USA), bezogen und nach dem Verfahren von Shoeib (Shoeib, Harner et al. 2008) aufgereinigt. Die PEF-Filter wurden bei der Firma Freudenberg Filtration Technologies, Weinheim (DE) bezogen. Bei den Blindproben für beide Proben-Matrices (PEF und PUF) wurde auch eine mögliche Verunreinigung durch den Transport berücksichtigt.

Die Passivsammler wurden an Standorten in ganz Deutschland bei interessierten Personen aufgestellt. Aufstellung und Einweisung erfolgten jeweils durch einen Mitarbeiter von TIEM Integrierte Umweltüberwachung.

Die PUF-Messung im TE-200-PAS wird als Kurzzeitmessung bis zu drei Monaten durchgeführt.

Der Messzeitraum mit dem Passivsammler erstreckte sich von den ersten beiden Märzwochen bis Mitte November. Im Rahmen dieser Messung wurden die PUF-Proben entsprechend nach 2 bis 2 ½ Monaten ausgetauscht. Der Wechsel der PUF-Matrix wurde dabei von den Mitwirkenden an den Standorten ausgeführt. Das entsprechende Material für den Wechsel wurde beim Aufbau des Sammlers zusammen mit einem Handbuch geliefert.

Der PUF-Wechsel erfolgte unter Verwendung von Nitril- Handschuhen und mit Hilfe von Pinzetten in ein vorgesehene Probegefäß (siehe Abb. 4 und 5). Die Proben wurden in einer Kühlbox gesammelt und anschließend tiefgekühlt (-18 °C) gelagert. Die PUF-Wechsel erfolgten Anfang Mai, Anfang Juli, Anfang bis Mitte August und Anfang bis Mitte November und wurden in einem Standortprotokoll dokumentiert.



Abb. 4
Probenwechsel einer PUF-Matrix.



Abb 5:
Beispiel der Probenentnahmegefäße und der verwendeten Kühlbox.

Außerdem stellte sich während der Messphase heraus, dass durch das trockene Frühjahr und starke Winde im Mai besonders im norddeutschen Raum die PEF-Matrix bereits stark belastet war. Bei Bedarf wurden daher an einigen Standorten die PEF-Filter ebenfalls gewechselt.

Das akkreditierte Labor KWALIS (Fulda) analysierte über 500 Wirkstoffe mittels Multimethode nach ASU L 00.00-115 entsprechend der Anweisung »Untersuchung von Lebensmitteln – Multimethode zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS und/oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE (QuEChERS) (Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB)« (BVL 2017, 2018). Zusätzlich wurden die Werte für Glyphosat, Aminomethylphosphonsäure (AMPA) und Glufosinat mittels LC-MS/MS ermittelt. Die wirkstoffspezifischen Nachweisverfahren gehen aus Tab. 25 hervor. Die Bestimmungsgrenzen für die PUF- und PEF-Matrix sind in der Datentabelle Tab. 32 angegeben. Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze.

3.2.2 Die 49 Standorte des Passivsammlers



Abb. 6: Standorte der Passivsammler (●) mit Angabe der Standort-Nummer. Es wurden 49 Passivsammler aufgestellt.

3.3 Die Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen

Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen sind dem Wissenstand der Autorinnen und Autoren der vorliegenden Studie nach erstmalig zur Erfassung von Wirkstoffen in der Luft eingesetzt worden. Es ist ein Versuch, diese weiträumig verfügbaren Proben zum ersten Mal als Monitoring-Medium zu nutzen.

3.3.1 Die Probennahme

Alle Teilnehmenden wurden gebeten, einen Filterwechsel am 15. März 2019 durchzuführen. Die neu eingesetzten Filter wurden nach Beendigung des Probezeitraums am 1. Oktober 2019 an TIEM gesandt und von dort aus an das Labor weitergeleitet. Alle notwendigen Daten wurden vom Probennehmer in einem Protokoll zusammengefasst. Des Weiteren wurden zur Qualitätskontrolle von allen beprobten Filtermatten Blindproben angefordert.

Das akkreditierte Labor KWALIS (Fulda) analysierte über 500 Wirkstoffe mittels Multimethode nach ASU L 00.00-115 entsprechend der Anweisung »Untersuchung von Lebensmitteln – Multimethode zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS und/oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE (QuEChERS) (Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB)« (BVL 2017, 2018). Zusätzlich wurden die Werte für Glyphosat, Aminomethylphosphonsäure (AMPA) und Glufosinat mittels LC-MS/MS ermittelt. Die wirkstoffspezifischen Nachweisverfahren gehen aus Tab. 25 hervor. Die Bestimmungsgrenzen für die Filtermatten sind in der Datentabelle Tab. 33 angegeben. Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze.

3.3.2 Die 20 Standorte der Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen

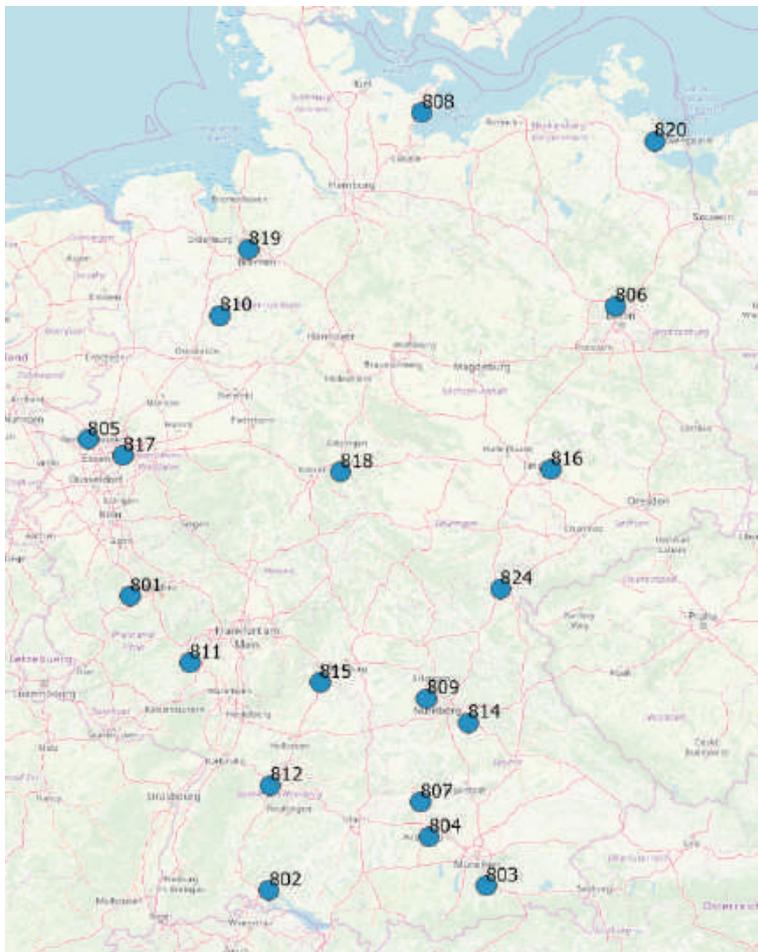


Abb. 7:
Standorte der Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen (●) mit Angabe der Standort-Nummer. Es wurden 20 Filtermatten eingereicht.

3.4 Der biologische Sammler – die Biene

Neben technischen Sammlern sollte die Verbreitung von Wirkstoffen auch in einer biologischen Matrix untersucht werden.

Bienenbrot (Perga) ist die Bezeichnung für Blütenpollen, der von Bienen als Aufzuchtfutter für Larven verwendet wird. Der Pollen wird mit Speichel vermischt, dadurch fermentiert und in den Waben eingelagert. Außerdem umschließt ihn eine Propolissschicht (Bienenleim), wodurch der so eingelagerte Pollen haltbar ist.

Das Deutsche Bienenmonitoring (DeBiMo) untersucht seit 2004 systematisch den Bevölkerungsverlust der Bienenvölker während der Überwinterung in Deutschland. Bereits seit 2005 wurden im DeBiMo umfangreiche Daten zur Pestizidbelastung erhoben (Universität Hohenheim et al. 2005–2019 ODB)*. Hierzu analysiert das Untersuchungsprogramm auch regelmäßig Bienenbrot auf Pestizid-Rückstände (von der Ohe und Martens 2011). Laut von der Ohe und Martens

»wurden die Rückstandsuntersuchungen aus zwei Gründen am eingelagerten Bienenbrot anstelle des Honigs durchgeführt: Erstens haften Pflanzenschutzmittelwirkstoffe aufgrund des eher lipophilen (fettliebenden) Charakters besser am Pollen als am hydrophilen (wasserliebenden) Honig. Zweitens dient das Bienenbrot über längere Zeit als Nahrung für Ammenbienen und Larven. Mögliche mittel- bis langfristige Effekte auf Bienenvölker sind hier eher zu erwarten als durch den eingelagerten Honig« (von der Ohe und Martens 2011).

Das CSP 2019 schloss sich dieser Fachmeinung an, um für die eigenen Ergebnisse eine umfangreiche Vergleichsbasis zur Verfügung zu haben.

3.4.1 Die Probennahme

Die Imker erhielten für die Probennahme ein Handbuch, nummerierte Probenbeutel, Handschuhe, eine Kühlbox zur Lagerung der entnommenen Proben sowie Kühlakkus und ein Protokoll.



Abb. 8:
Kühlbox und Probennahme-Material
für die Entnahme von Bienenbrot.

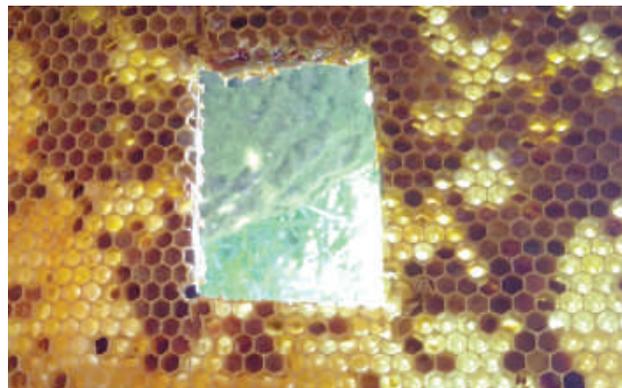


Abb. 9:
Probennahme von Bienenbrot.

Die Imker wurden gebeten, viermal innerhalb der Flugsaison von Ende Mai bis Anfang Oktober eine Perga-Probe zu entnehmen. Zusätzlich wurde eine Blindprobe von den verwendeten Mittelwänden angefordert, um eventuelle Vorbelastungen auszuschließen. Bei Imkern mit Naturwabenbau war

* Universität Hohenheim et al. (2005–2019 ODB). Deutsches Bienenmonitoring. Alle Publikationen, gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Abrufbar unter: <https://bienenmonitoring.uni-hohenheim.de/ergebnisse>.

eine Blindprobe nicht notwendig. Außerdem wurden die Mitwirkenden gebeten, die entnommenen Proben bis zum Versand tiefgekühlt zu lagern.

Mit einem in Alkohol gesäuberten Messer sollten jeweils ca. 5 × 5 cm große Proben aus den Bienenbrot-Einlagerungen herausgeschnitten werden. Das Datum der Probenentnahme wurde entsprechend im Standortprotokoll notiert.

Zur Extraktion der Proben wurde die Methode des DeBiMo verwendet (mit freundlicher Unterstützung von Werner von der Ohe).

Das akkreditierte Labor KWALIS (Fulda) analysierte über 500 Wirkstoffe mittels Multimethode nach ASU L 00.00-115 entsprechend der Anweisung »Untersuchung von Lebensmitteln – Multimethode zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS und/oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE (QuEChERS) (Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB)« (BVL 2017, 2018). Zusätzlich wurden die Werte für Glyphosat, Aminomethylphosphonsäure (AMPA) und Glufosinat mittels LC-MS/MS ermittelt. Die wirkstoffspezifischen Nachweisverfahren gehen aus Tab. 25 hervor. Die Bestimmungsgrenzen für die Bienenbrot-Proben sind in der Datentabelle Tab. 34 angegeben. Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze.

3.4.2 Die 41 Standorte der Bienenstöcke für die Bienenbrot-Proben

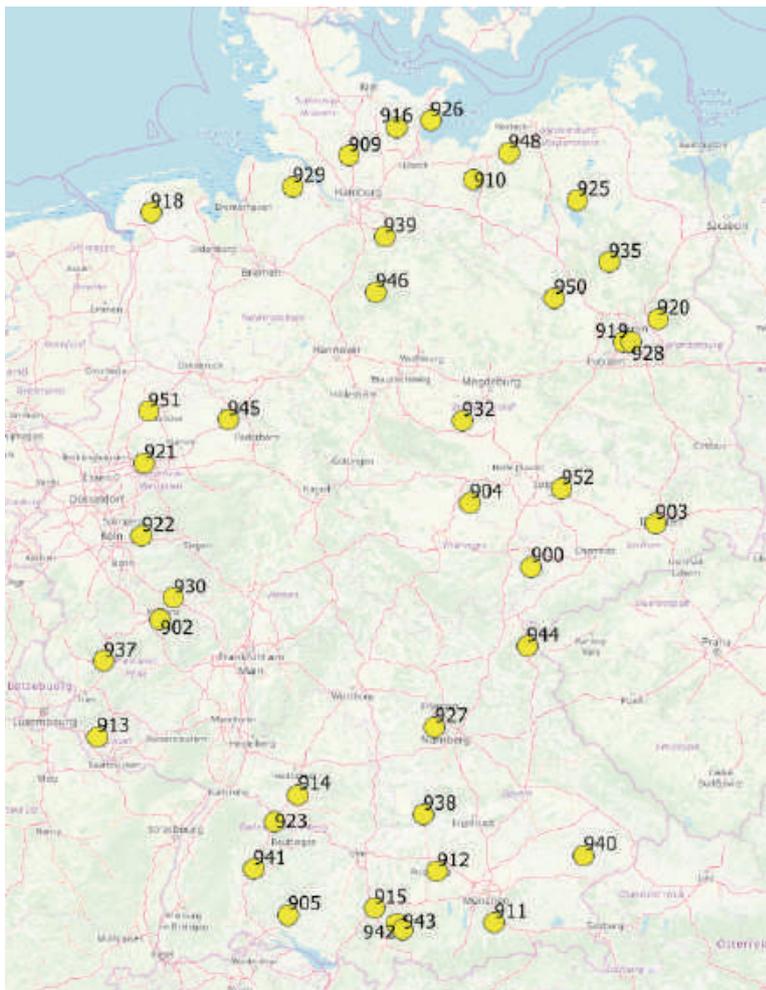


Abb. 10: Standorte der Bienenbrot-Proben (●) mit Angabe der Standort-Nummer. Es wurden 41 Bienenbrot-Proben eingebracht.

3.5 Das Rindenmonitoring

In der vorhergehenden Studie wurde von 2014 bis 2018 an 47 Standorten Baumrinde auf Wirkstoffe untersucht (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a). Die Ergebnisse dieser Studie fließen in die weitere Betrachtung ein. Zusätzlich wurden im Jahr 2019 nochmals 6 Rindenproben genommen.

Das Verfahren ist unter Hofmann et al. 2001, Demetriades und Birke 2015 sowie Birke et al. 2017 beschrieben. Sie wurde bereits in den vorhergehenden Studien ausführlich vorgestellt (Hofmann und Schlechtriemen 2015, Hofmann und Schlechtriemen 2016, Hofmann und Schlechtriemen 2017, Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a).

Das akkreditierte Labor KWALIS (Fulda) analysierte über 500 Wirkstoffe mittels Multimethode nach ASU L 00.00-115 entsprechend der Anweisung »Untersuchung von Lebensmitteln – Multimethode zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS und/oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE (QuEChERS) (Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB)« (BVL 2017, 2018). Zusätzlich wurden die Werte für Glyphosat, Aminomethylphosphonsäure (AMPA) und Glufosinat mittels LC-MS/MS ermittelt. Die wirkstoffspezifischen Nachweisverfahren gehen aus Tab. 25 hervor. Die Bestimmungsgrenzen für die Rindenproben sind in der Datentabelle Tab. 35 angegeben. Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze.

3.5.1 Die 53 Standorte für das Rindenmonitoring

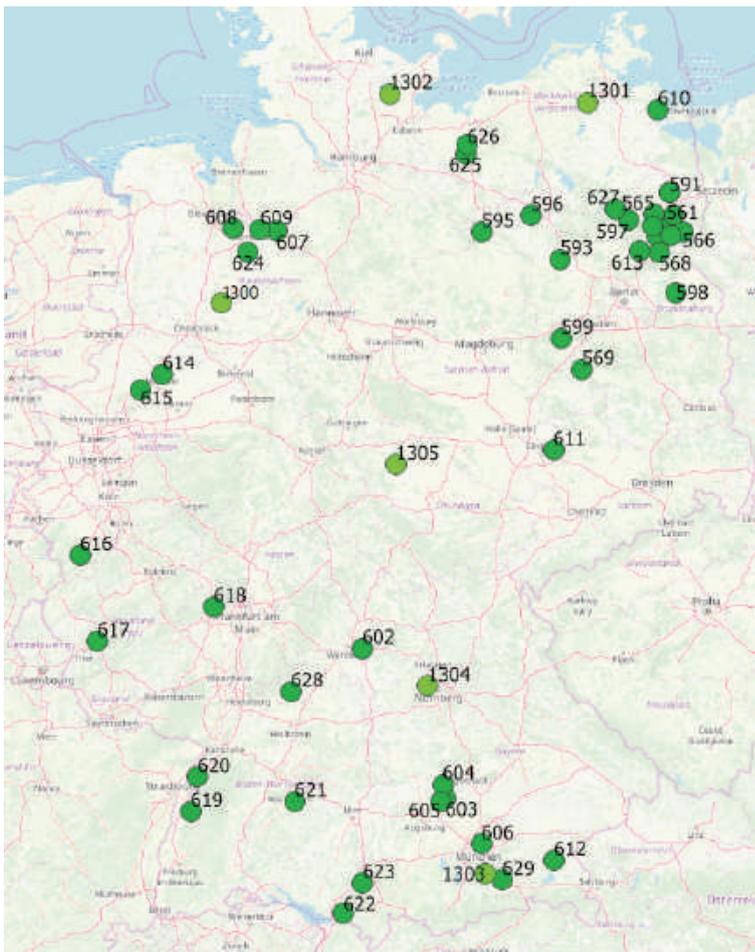


Abb. 11:
Standorte der Rindenproben mit Angabe der Standort-Nummer.
(●) Lage der 47 Rindenproben aus den Jahren 2014 bis 2018;
(●) Lage der 6 Rindenproben aus dem Jahr 2019; Standort-Nr. 1300–1306.

3.6 Bestimmungsgrenzen und Nachweisgrenzen

Bestimmungsgrenzen wurden vom analysierenden akkreditierten Labor mitgeteilt. Soweit Werte unter der Bestimmungsgrenze gemessen wurden, wurden diese vom analysierenden Institut auf hinreichend kleine Messunsicherheit geprüft. Nur Werte, die der Nachweisgrenze des Instituts genügten, wurden in die Auswertung für die vorliegende Studie einbezogen. Nur solche Werte sind in den veröffentlichten Tabellen genannt. Werte unter der jeweiligen Nachweisgrenze sind in den veröffentlichten Tabellen durch leere Felder markiert. Soweit ein numerischer Wert für die Nachweisgrenze benötigt wird, gilt der kleinste in der Tabelle aufgeführte Wert pro Matrix und Substanz als Nachweisgrenze.

Werte, die mindestens so groß wie die Nachweisgrenze sind, werden in Übereinstimmung mit DIN 32645 (11/2008), Seite 4, als Beleg für das Vorhandensein einer Nachweisgrenze angesehen: »Die Nachweisgrenze dient als Entscheidungskriterium, wenn nach einer Analyse (»a posteriori«) anhand des vorliegenden Analysenergebnisses im Spurenbereich eine Entscheidung über An- oder Abwesenheit des gesuchten Stoffes (Analyten) zu treffen ist.« Tabelle 4 auf S. 18 in DIN 32645 enthält diesen Zusammenhang als Gleichung.

Einzelwerte unter der Nachweisgrenze werden für die Berechnung von statistischen Kenngrößen und Zusammenhängen verwendet. Dies geschieht entsprechend DIN 13528 (09/2020), Anhang E1, wobei der Surrogatwert auf $\frac{2}{3}$ der jeweiligen Nachweisgrenze gesetzt wurde, nicht auf die Hälfte der Nachweisgrenze, wie in DIN 13528 angeregt. Die Begründung dafür ist in (Wosniok 2007) angegeben. Diese Surrogatwerte werden in Kapitel 4 (Statistische Analyse) für die Analyse von statistischen Zusammenhängen zwischen gemessenen Konzentrationen und vermuteten Einflussfaktoren verwendet.

4 Statistische Analyse

Die statistische Analyse hat zum Ziel, die Auswirkung der definierten Standortfaktoren auf die Werte am Messstandort zu untersuchen. Grundlage für diese Untersuchung waren die nachgewiesenen Wirkstoffe nach ASU L 00.00-115 (Tab. 25 und 27).

Die anschließende Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 5 basiert ebenfalls auf der Wirkstoff-Liste aus Tab. 27, die alle nachgewiesenen Substanzen nach ASU L 00.00-115 umfasst. Um die Wirkstoffe einzugrenzen, für die ein hauptsächlich Ursprung in der Landwirtschaft anzunehmen ist, wurde die Liste der nach ASU L 00.00-115 nachgewiesenen Wirkstoffe (Tab. 27) um jene Substanzen bereinigt, die keinen oder keinen eindeutigen Ursprung in der Landwirtschaft haben (Tab. 28, 29 und 30). Diese bereinigte Liste ist der Zusammenfassung (S. 12) zugrundegelegt. Die Bereinigung hat keine Auswirkungen auf die statistische Untersuchung der einzelnen Wirkstoffe in den Tab. 2, 3, 4, 5 und 6, betrifft jedoch die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den Matrices der Passivsammler, der Filtermatten in Be- und Entlüftungsanlagen sowie im Bienenbrot. Die 2019 publizierte Rindenmonitoring-Studie mit Messungen aus den Jahren 2014 bis 2018 enthält bereits eine eigene statistische Analyse der Werte (nach ASU L 00.00-115).

4.1 Ziele der statistischen Analyse

Das Ziel dieser Studie ist die Feststellung, welche Wirkstoffe in der Außenluft an ausgewählten Standorten in Deutschland vorzufinden sind. Dabei geht es insbesondere um die Feststellung, ob Substanzen an Orten vorhanden sind, an denen sie nicht vorhanden sein sollten, also z. B. an Standorten, an denen Bio-Anbau betrieben wird. In den vorangegangenen Abschnitten dieses Berichts wurde bereits dargelegt, dass an allen Standorten unerwartete Wirkstoffe nachgewiesen wurden. Die Frage, ob Wirkstoffe in Gebieten vorhanden sind, in denen sie nicht sein sollten, muss also bereits mit Ja beantwortet werden.

Es ist zu erwarten, dass sich die Standorte in ihren Wirkstoff-Konzentrationsprofilen unterscheiden. Ob diese Unterschiede als rein zufällige Streuung anzusehen sind oder mit Merkmalen der Standorte in Beziehung stehen, was zu vermuten ist, muss durch eine statistische Analyse geklärt werden. Aus dieser ergibt sich auch, ob einfache Antworten auf Fragen wie »Ist eine bestimmte Region in Deutschland grundsätzlich höher belastet?« oder »Sind Unterschiede in der Wirkstoff-Konzentration durch unterschiedliche Nähe der Standorte zu konventioneller landwirtschaftlicher Tätigkeit zu erklären?« möglich sind. Allgemein dienen statistische Analysen dazu, rein zufällige Unterschiede zwischen Werten von solchen zu trennen, die durch tatsächliche Unterschiede in der Entstehung hervorgerufen wurden.

Auch die spezielle Frage, ob Wirkstoff-Konzentrationen an Standorten mit Bio-Anbau wenigstens deutlich geringer als in anderen Gebieten ausfallen, lässt sich nur mit einer detaillierten Analyse beantworten. Eine einfache Antwort durch den direkten Vergleich von Konzentrationen an Standorten mit konventionellem Anbau mit solchen des Bio-Anbaus ist nur möglich, wenn keine anderen Standortfaktoren mit der Wirkstoff-Konzentration assoziiert sind. Ein direkter Vergleich liefert bei einer nicht-faktoriellen* Studie wie der vorliegenden in der Regel kein interpretierbares Resultat. Wird ein Unterschied gefunden, kann er auf verschiedenen Wegen erklärt werden. Wird kein Unterschied gefunden, könnten sich verschiedene Effekte ausgeglichen haben, wobei nicht erkennbar ist, ob der Faktor von Interesse daran beteiligt war.

* Zur Erläuterung: Eine faktorielle Studie würde alle möglichen Kombinationen von Faktoren-Ausprägungen enthalten. Für diese Studie wären dafür mindestens 1728 Standorte nötig. Eine hohe Zahl von Datenpunkten ist typisch für faktorielle Untersuchungs-Designs und verhindert meistens, wie auch im vorliegenden Fall, ihre Realisierung, so dass statistische Verfahren in die Auswertung einbezogen werden müssen.

Im Beispiel des Vergleichs von Wirkstoff-Konzentrationen an Bio-Anbau-Standorten mit solchen an anderen Standorten ist also zu bedenken, dass Bio-Anbau-Standorte sich von anderen nicht nur durch die Tatsache des Bio-Anbaus unterscheiden können, sondern auch durch weitere Standortmerkmale. Die gleichen Überlegungen gelten, wenn zum Beispiel Naturschutzgebiete oder Städte mit anderen Gebieten verglichen werden sollen. Die Standortmerkmale müssen bei dem vorgesehenen Vergleich berücksichtigt werden, um falsche Schlussfolgerungen zu vermeiden. Ein hypothetisches Beispiel für eine falsche Schlussfolgerung bei dieser Aufgabe: Betrachtet sei ein Wirkstoff, der an Staub gebunden in der Luft verfrachtet wird. Ein Bio-Anbau-Standort befindet sich in einem Gebiet mit geringer Erosionsgefährdung. Er wird verglichen mit einem Standort des konventionellen Anbaus, der sich in einer Zone mit hoher Erosionsgefährdung befindet. Dort herrscht eine hohe Konzentration des Wirkstoffs in der Luft, einerseits, weil er sich dort in Gebrauch befindet, andererseits, weil die stattfindende Erosion die Verfrachtung von bereits deponiertem Wirkstoff fördert und damit die lokale Konzentration erhöht, aber nur am konventionellen Standort. Vergleicht man nun die Konzentrationen an den beiden Orten in direkter Weise, so ergibt sich eine Differenz zwischen konventionellem Standort und Bio-Standort. Diese ist inadäquat groß, weil der Effekt der erosionsbedingten Verfrachtung nur am konventionellen Standort wirkt. Ohne weitere Korrektur würde also die Situation des Bio-Standorts im Vergleich zum konventionellen Standort günstiger eingeschätzt werden, als sie ist.

Die Auswirkung von unterschiedlichen Standorteigenschaften lässt sich theoretisch auf zwei Weisen kompensieren: Erstens durch Verwendung von Standort-Paaren, die sich ausschließlich in der Eigenschaft des Bio-Anbaus (ja/nein) unterscheiden oder, zweitens, durch Korrektur der gemessenen Werte um das Maß der Auswirkung von unterschiedlichen Standorteigenschaften. Der erste Weg ist rechnerisch einfach, aber mit sehr hohem Aufwand der Datenerhebung verbunden, und es ist nicht sicher, dass es die nötigen Standorte überhaupt und in der nötigen Anzahl in den Daten gibt. Der zweite Weg – Adjustierung der Messwerte auf eine Standardsituation – ist rechnerisch aufwendiger, aber mit dem gegenwärtigen Datenbestand durchführbar.

Standortmerkmale wurden während der Probennahme erhoben; ihre Merkmale und deren Kodierungen sind in Tab. 1 aufgeführt.

In den folgenden Abschnitten werden die Schritte zur Adjustierung der Messwerte sowie der anschließende Vergleich von Konzentrationen unter Bio- und Nicht-Bio-Bedingungen beschrieben. Soweit nicht nachgewiesen werden kann, dass eine Konzentration unter Bio-Anbau-Bedingungen geringer ist als unter Nicht-Bio-Bedingungen, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu klären, welche Differenz mit den vorhandenen Daten hätte entdeckt werden können. Das geschieht, um dem Argument entgegentreten zu können, dass die Studie zu klein angelegt sei, um relevante Effekte erkennen zu können.

4.2 Allgemeine Erläuterungen zu den statistischen Methoden

Zum Verständnis der Ausbreitung von Wirkstoffen und als Vorbereitung der Adjustierung von Messwerten ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen der gemessenen Wirkstoff-Konzentration und Standortbedingungen zu untersuchen. Für die Matrices Passivsammler, Filtermatten und Bienenbrot war zu vermuten, dass auch für diese, wie bereits für die Matrix Rinde bekannt, Standortbedingungen eine Bedeutung für vorgefundene Substanzkonzentrationen haben würden. Standortbedingungen werden im Folgenden auch als Faktoren bezeichnet.

Diese Zusammenhänge wurden für die angegebenen Matrices in ähnlicher Weise wie für Rinde untersucht. Die betrachteten Einflussfaktoren und ihre Ausprägungen sind in Tab. 1 angegeben. Zu beachten ist, dass die Kodierung der Ausprägungen in der letzten Spalte der Tabelle nur teilweise mit denen der Untersuchung von 2014 bis 2018 übereinstimmen.

Die Untersuchung für alle betrachteten Substanzen und Matrices, angelehnt an das Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 für Wirkstoffe in Baumrinden, wird im nächsten Abschnitt für das Beispiel

Glyphosat-Konzentration in Passivsammlern im Detail ausgeführt. Ergebnisse für andere Substanzen und Matrices folgen in den anschließenden Tab. 3, 5 und 6 sowie in Tab. 36.

Es liegen keineswegs alle möglichen Kombinationen von Ausprägungen der vermuteten Einflussfaktoren in den Daten vor. Damit reduziert sich die Erkennbarkeit von Wechsel- und Kombinationswirkungen, die von mehreren Faktoren zusammen ausgeübt werden könnten. Der dritte Schritt der Analyse, der einen gewissen explorativen Charakter hat, erlaubt jedoch die Erkennung von einigen Kombinationswirkungen. Die statistischen Berechnungen wurden in der Programmiersprache R unter Verwendung der Pakete »tree« und »maptree« durchgeführt.*

Die Analyse jeder Substanz erfolgt in 3 (Passivsammler, Bienenbrot) bzw. 2 (Filtermatten) Schritten:

Im ersten Schritt wird jeder Faktor daraufhin untersucht, ob er als alleinstehende Größe einen Einfluss auf die Konzentration der Zielsubstanz hat. Das Resultat dieser Analyse wäre die einfache Antwort auf die Frage nach der Bedeutung dieses Faktors, falls sich in den Schritten 2 oder 3 herausstellen würde, dass Kombinationswirkungen mehrerer Faktoren nicht vorliegen.

Die Konzentration der Zielsubstanz geht in diese wie in die weiteren Rechnungen jeweils als Logarithmus der gemessenen Konzentration ein. Es wird der natürliche Logarithmus (ln) benutzt, wobei die Wahl der Logarithmus-Basis keinen Einfluss auf Signifikanzaussagen hat. Abb. 12 zeigt, in welcher Weise Originalwerte und ihre Logarithmen zusammenhängen. Logarithmische Konzentrationen werden hier benutzt, weil gemessene Konzentrationen typischerweise ungefähr gemäß einer logarithmischen Normalverteilung streuen, also die logarithmierten Werte etwa einer Normalverteilung folgen. Das ist eine Voraussetzung für einige verwendete statistische Tests. Werte unter der Nachweisgrenze wurden durch 2/3 der Nachweisgrenze ersetzt (Wosniok 2007). Im ersten Schritt wird für jeden Einflussfaktor eine einfaktorische Varianzanalyse durchgeführt (bzw. ein lineares Modell angepasst). Ergebnis der Analyse ist die Aussage, ob der Faktor als alleinstehende Größe einen signifikanten Effekt auf die Zielkonzentration hat (F-Test). Ergebnisse mit einem p-Wert < 0.05 (5 Prozent) werden hier wie an allen anderen Stellen als signifikant gewertet.

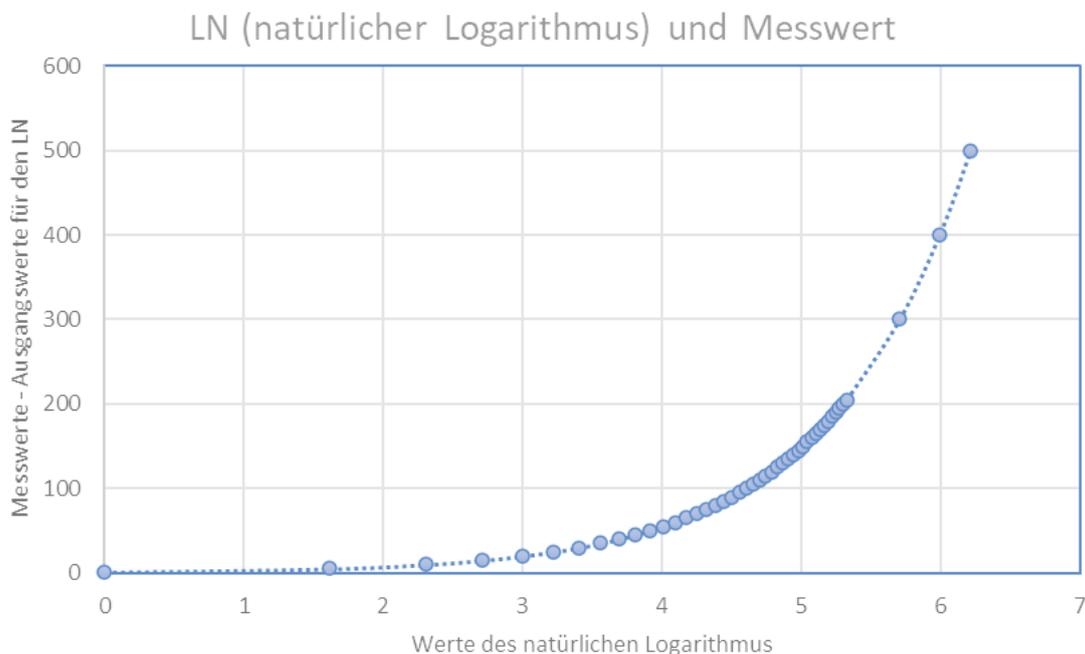


Abb. 12: Verhältnis zwischen natürlichem Logarithmus und Messwert.

* R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>

Tab. 1: Betrachtete Standortfaktoren in der statistischen Analyse

Faktor	Ausprägungen	Kodierung im Regressionsbaum
Naturräumliche Gliederung im Regressionsbaum: „Naturraum“	Alpenvorland (AVL) Nordostdeutsches Tiefland (NOTL) Nordwestdeutsches Tiefland (NWTL) Östliches Mittelgebirge (OMG) Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland (SWMGS) Westliches Mittelgebirge (WMG)	a b c d e f
Biogeografische Region „BioGeo“	Atlantisch Kontinental	a b
Winderosionsgefährdung; „Erosion3“	0.0 – 1.0 1.5 – 2.0 2.5 – 3.0 3.5 – 5.0	a b c d
Schutzgebiet „SchutzGebJN“	nein ja	a b
Landwirtschaftliche Intensität am Standort; „LwIntK“	gering mittel hoch	a b c
Distanz zur Quelle (Einteilung gemäß Projektaufgabe) „DistanzE“	Nahbereich: <i>wenige m bis 100 m (nachbarschaftlicher Einfluss, unmittelbarer Einflussbereich bei Ausbringung, Spray etc.)</i> Mittlerer Entfernungsbereich: <i>100 m bis 1 km</i> Ferntransport im km-Bereich (<i>über einen unmittelbaren Einflussbereich hinausgehend, Potenzial für allgemeine Kontamination der Umwelt und Gefährdung der Koexistenz</i>)	a b c
Standort mit Bio-Anbau „BioJN“	nein ja	a b

Im zweiten Schritt wurde geprüft, ob Faktoren ihre Beiträge unabhängig von den jeweils anderen Faktoren leisten. Schon wegen der inhaltlichen Überschneidungen der Faktoren ist damit zu rechnen, dass der Erklärungswert eines Faktors sinkt, wenn er in Kombination mit einem anderen in das Modell aufgenommen wird, und zwar so, dass der gemeinsame Erklärungswert beider Faktoren geringer ist als die Summe der Erklärungswerte, die die beiden Faktoren bei isolierter Betrachtung aufweisen.

Das gemeinsame Modell entsteht schrittweise. Der Faktor mit dem größten einzelnen Erklärungswert dient als Startmodell des Verfahrens. Das Modell wird sodann um denjenigen Faktor erweitert, der den Erklärungswert des neuen Modells am stärksten gegenüber dem alten verbessert. Als Maß für den Erklärungswert wird das Akaike'sche Informationskriterium (Akaike Information Criterion AIC: kleinerer Wert ist besser) benutzt, das sowohl die Güte der Vorhersagen durch das Modell berücksichtigt wie auch seine Komplexität (Anzahl der zu schätzenden Parameter, »Parameter« im statistischen Sinn, also als Koeffizient in einer Gleichung). Mit Rücksicht auf den Stichprobenumfang werden nur Modelle berücksichtigt, die maximal 10 Parameter enthalten. Dabei ist zu bedenken, dass die Modellierung eines Faktors mit vielen Stufen (z. B. »Naturraum«) die Schätzung eines Parameters für jede Stufe bedeutet. Resultat dieses Schritts ist die Zusammenstellung aller Faktoren, die die Konzentration des Ziel-Wirkstoffs wesentlich beeinflussen. Diese Information dient einerseits dem Verständnis der beteiligten Prozesse und kann andererseits auch für Prognose-

zwecke genutzt werden, wenn die Durchführung des dritten Schritts wegen der Datenlage nicht möglich ist (Beispiel: Filtermatten).

Der dritte Schritt ist von explorativer Natur und dient dazu, die Bedeutung der Kombination von mehreren Faktoren zu erkennen, auch ohne über einen Datensatz zu verfügen, der einem faktoriellen Versuchsplan entstammt. Der zweite Schritt lieferte die Information über vorhandene Haupteffekte (Effekte, die beim Vorliegen eines Faktorenwerts immer auftreten, unabhängig von den Werten anderer beteiligter Faktoren). Es sind aber Situationen denkbar, in denen Effekte nur durch das Zusammentreffen von bestimmten Faktor-Kombinationen hervorgerufen werden (spekulatives Beispiel: Eine hohe Erosionsgefährdung führt nur dann zu einer erhöhten Wirkstoff-Konzentration, wenn gleichzeitig intensive Landwirtschaft in der Nähe betrieben wird).

Für das Auffinden von speziellen Kombinationseffekten wurde das Verfahren des Regressionsbaums (Breiman et al. 1984) verwendet, das Kombinationseffekte auch in einem nicht-faktoriellen Versuchsplan erkennen lässt. Ein Regressionsbaum ist eine Sequenz von Entscheidungsfragen, die sich an die erklärenden Variablen richten und abhängig von den Antworten eine Vorhersage der Zielkonzentration (im vorliegenden Problem) liefern. Die Fragen sind so eingerichtet, dass sie an den unteren Enden des Baums eine möglichst gute Beschreibung der vorliegenden Daten liefern. Nach jeder Frage, die mit Ja oder Nein beantwortet werden muss, entstehen zwei neue Positionen im Baum, die jeweils entweder eine weitere Frage beinhalten oder einen äußeren (unteren) Endpunkt des Baums darstellen. Ein unterer Endpunkt enthält den Schätzwert für die Wirkstoff-Konzentration unter den Bedingungen, die beim Durchlaufen des Baums zu diesem Punkt führen. Ein Regressionsbaum lässt sich am einfachsten als Grafik darstellen. Der folgende Abschnitt enthält ein kommentiertes Beispiel für einen Regressionsbaum und seine Interpretation.

Sowohl die Varianzanalyse im Schritt 2 wie auch der Regressionsbaum liefern Prognosen über die quantitative Wirkung der als bedeutsam erkannten Faktoren. Diese Prognosen wie auch die beobachteten Konzentrationen können tabellarisch wie grafisch dargestellt werden. Ein Beispiel dieser Darstellung für Glyphosat folgt ebenfalls im nächsten Abschnitt.

4.3 Einflussfaktoren für den Ferntransport am Beispiel von Glyphosat in den Passivsammlern

Tab. 2: Einflussfaktoren für die Konzentration von Glyphosat in Passivsammlern.

Faktor	p-Wert der Varianzanalyse	Bestimmtheitsmaß
Naturräumliche Gliederung	0.0187	0.1772
Biogeografische Region	0.1265	0.0287
Winderosionsgefährdung	0.1501	0.0510
Schutzgebiet	0.4112	-0.0066
Landwirtschaftliche Intensität	0.0008	0.2334
Distanz zur Quelle	0.1047	0.0541
Bio-Anbau	0.5939	-0.0151

Schritt 1: Bedeutung der Einflussfaktoren (s. Tab. 1) als alleinstehende Größen

Nur die naturräumliche Gliederung und die landwirtschaftliche Intensität zeigen eine signifikante eigenständige Bedeutung. Dabei ist zu bedenken, dass beide Größen nicht völlig unabhängig voneinander sind. Die Ergebnisse belegen auch, dass der Bezug zu einem Schutzgebiet und die Tatsache des Bio-Anbaus am Standort offenbar keine Rolle spielen und somit beide Standort-Arten

wie andere Gebiete vom Glyphosat-Eintrag betroffen sind. Ein entsprechendes Resultat hatte sich bereits in der Untersuchung von 2014 bis 2018 für die Matrix Rinde ergeben.

Schritt 2: Gemeinsame Bedeutung der Einflussfaktoren

Das iterativ entwickelte Modell für die gemeinsame Bedeutung der Einflussfaktoren verwendet die landwirtschaftliche Intensität als Startmodell. Die Prozedur zum Aufbau des gemeinsamen Modells anhand der Verbesserung des AIC-Kriteriums endet in einem Modell, das zusätzlich die naturräumliche Gliederung verwendet. Das von diesen 3 Faktoren gebildete Modell hat ein Bestimmtheitsmaß von 0,3529, d. h. rund 35 Prozent der Variation in der Glyphosat-Konzentration kann durch diese drei Faktoren erklärt werden.

Schritt 3: Explorative Untersuchung von Faktoren-Kombinationen

Für den Aufbau des Regressionsbaums wurden alle sieben Faktoren im Hinblick auf ihren Erklärungswert untersucht. Für die Konstruktion des Regressionsbaums hätten also alle sieben Faktoren in beliebiger Kombination eingesetzt werden können. Der entstandene Baum, der nur solche Komponenten enthält, die sich als effektiv erwiesen, ist in der folgenden Grafik dargestellt

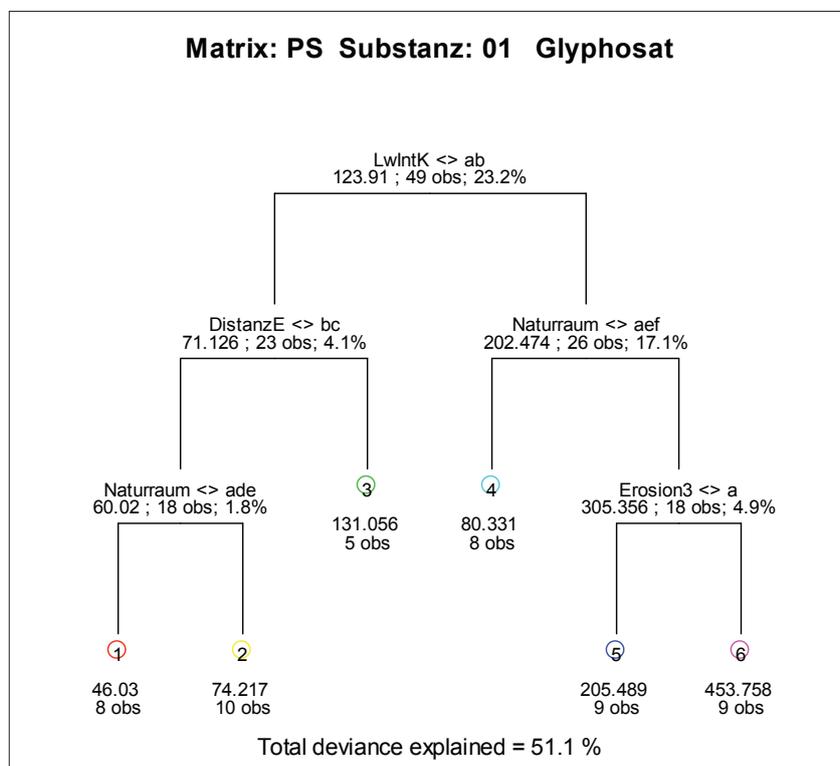


Abb. 13:

Regressionsbaum für Glyphosat in den Passivsammelern.

Dieser Regressionsbaum benutzt aus typografischen Gründen Kodierungen (a, b, c, ...) für die Ausprägungen der Faktoren. Die Bedeutung der Kodierungen ist in Tab. 1 für jeden Faktor angegeben. Der Baum hat folgende Interpretation:

Für die Prognose der Glyphosat-Konzentration wird zuerst die landwirtschaftliche Intensität betrachtet. Das ist an der obersten Zeile »LwIntK <> ab« zu erkennen. Dieses ist die Kodierung für die Frage »Ist die landwirtschaftliche Intensität ungleich den Ausprägungen a oder b (gering oder mittel)?«. Ist für den betrachteten Standort die Intensität ungleich diesen beiden Kategorien (d. h. Intensität = c), so wird der rechte Zweig der Entscheidung weiterverfolgt, andernfalls der linke. Im rechten Zweig ist sodann festzustellen, ob die betrachtete Konzentration aus einem der Naturräume a, e, f (Alpenvorland, Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland, Westliches Mittelgebirge) stammt. Ist das der Fall, folgt eine weitere Frage, die die Erosionsstufe betrifft. Ist diese ungleich a

(also b, c, d), so endet der Vorhersageprozess für die durchlaufene Merkmalskombination an seinem Endpunkt, der rot eingekreisten 6. Die prognostizierte mediane Glyphosat-Konzentration beträgt in diesem Fall 454 auf der regulären Skala. Der Median, der hier als Mittelwert verwendet wird, teilt den Datenbestand in die untere und obere Hälfte. Die Eintragungen am Endpunkt zeigen außerdem, dass es im Datensatz 9 Beobachtungen gab, die diesen Bedingungen entsprachen. An jeder Verzweigung ist unter der Entscheidungsfrage angegeben, welche Vorhersage vor der Verzweigung gilt, wie viele Beobachtungen in den Daten an dieser Stelle vorlagen und welcher Anteil an der Erklärungsgüte (deviance) die Beantwortung der Entscheidungsfrage hat. Der Regressionsbaum weist mit einer erklärten Erklärungsgüte von 51,1 Prozent einen besseren Wert auf als das gemeinsame Modell aus Schritt 2. Der vorliegende Baum zeigt, dass die Distanz zur Quelle und die Erosion unter gewissen Rahmenbedingungen, jedoch nicht global, von Bedeutung sind. Eine »einfache Antwort« nach der Bedeutung der hier beteiligten Faktoren ist also nicht möglich. Die Wirkung eines Faktors kann nur unter Berücksichtigung der weiteren (in diesem Fall 2) wirksamen Faktoren quantifiziert werden. Auch hier sei darauf hingewiesen, dass manche Einflussfaktoren nicht unabhängig voneinander sind (Beispiel: Landwirtschaftliche Intensität und Erosion).

Die Abb. 14 zeigt, welche Glyphosat-Konzentrationen als Vorhersagen aus den Schritten 2 und 3 hervorgehen. Jeder horizontale Balken beschreibt mit seiner Länge die beobachtete mittlere (mediane) Glyphosat-Konzentration unter den Bedingungen, die auf der vertikalen Achse angegeben sind. Jede beobachtete Kombination von Faktoren hat eine eindeutige Nummer, sodann folgen die Ausprägungen der Standortfaktoren in der Reihenfolge, wie auf der senkrechten Achsenbeschriftung angegeben: Naturraum – biogeografische Region – Erosionsgefährdung – Schutzgebiet – Landwirtschaftliche Intensität – Distanz zur nächsten Quelle – Bio-Anbau. Die Nummerierung der Standortbedingungen wird für Auswertungen verwendet, in denen die Standortmerkmale wegen der Länge ihrer Beschreibung nicht als Klartext verwendet werden können. In Tab. 37 ist für jeden Standort die numerische Kodierung seiner Standortbedingungen unter »Nr. der Standortbedingung« aufgeführt.

Ein Regressionsbaum kann einzelne Kombinationswirkungen modellieren, die die Varianzanalyse nicht in dieser Weise beschreiben kann. Diese Wirkung muss jedoch genügend deutlich im Datensatz ausgeprägt sein, um im Regressionsbaum Beachtung zu finden. Einzelne Beobachtungen reichen nicht aus, um ihren Niederschlag in einer Modellierung zu finden. Ein Beispiel für eine einzelne extreme Situation, die nicht modelliert wird, ist die Glyphosat-Konzentration unter Bedingung 51 (Östliches Mittelgebirge, BioGeo-Region Kontinental, Erosion 0.0 – 1.0, Schutzgebiet ja, Landwirtschaftliche Intensität hoch, mittlere Distanz zur Quelle; Bio-Anbau). Die Ursache für die Nicht-Modellierung dürfte in diesem Fall darin liegen, dass es im Datensatz nur einen einzigen Standort mit diesen Merkmalen gibt. In diesem Fall ist es der einzige Standort, an dem biologischer Weinanbau betrieben wird.

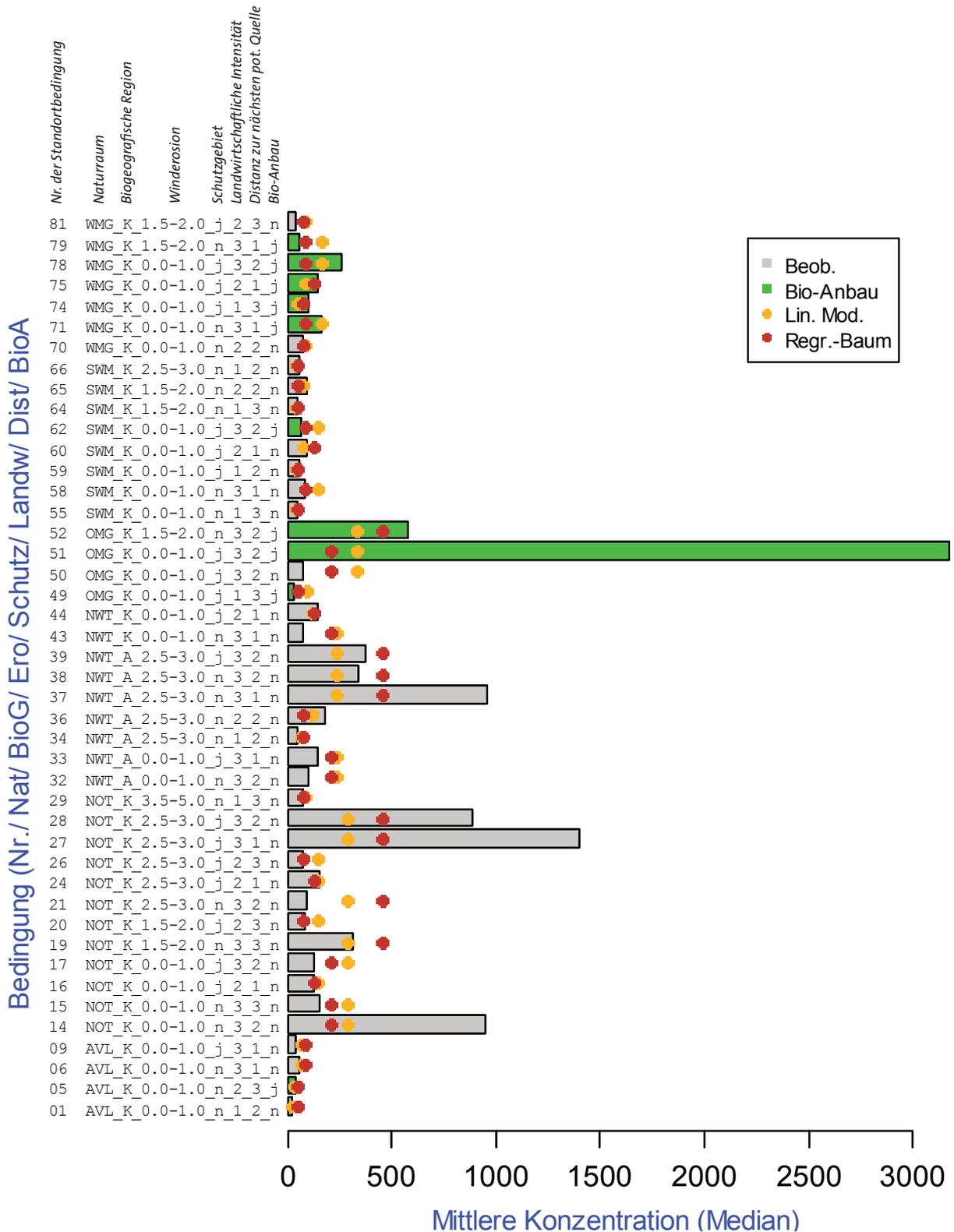


Abb. 14: Vorhersagen des Glyphosat-Gehalts in Passivsammlern durch ein lineares Modell (Varianzanalyse) und einen Regressionsbaum. Die angezeigte mittlere Konzentration ist die gemessene Konzentration bzw., sofern mehrere Standorte dieselben Standort-Merkmale haben, der Median der gemessenen Konzentrationen. Grüne Balken markieren Standorte mit Bio-Anbau. Die Balken sind alphabetisch nach Standortmerkmalen aus Tab. 37 sortiert. (♦) Modellergebnis Regressionsbaum; (◇) Modellergebnis lineares Modell (Varianzanalyse)

Die Positionen, die Konzentrationen von Bio-Anbau-Standorten im Vergleich zu anderen Standorten einnehmen, sind einfacher einzuordnen, wenn die Standorte aus Abb. 14 nach Höhe der Konzentration sortiert werden. Das Resultat zeigt Abb. 15.

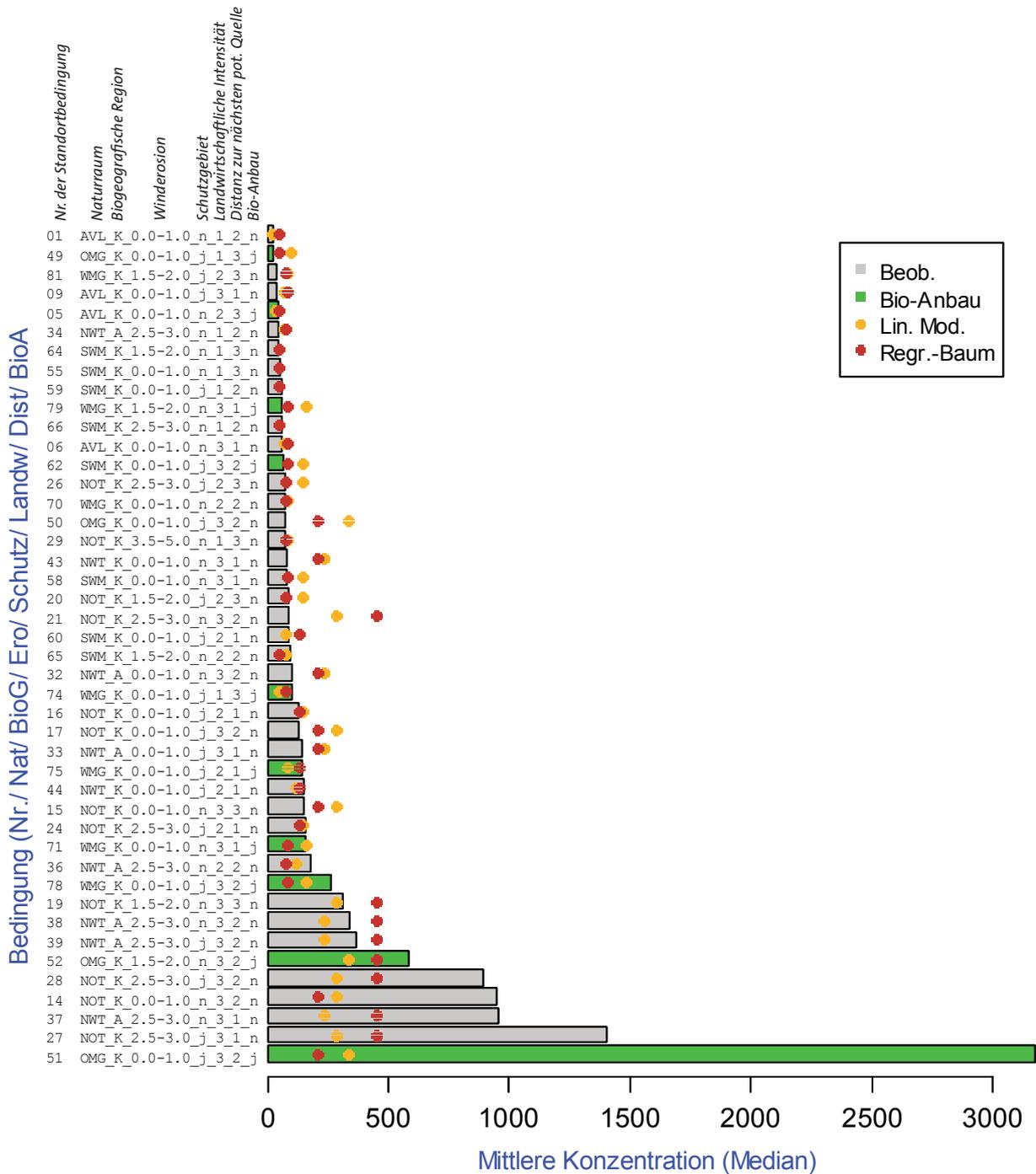


Abb. 15: Vorhersagen des Glyphosat-Gehalts in Passivsammlern durch ein lineares Modell (Varianzanalyse) und einen Regressionsbaum. Die angezeigte mittlere Konzentration ist die gemessene Konzentration bzw., sofern mehrere Standorte dieselben Standort-Merkmale haben, der Median der gemessenen Konzentrationen. Grüne Balken markieren Standorte mit Bio-Anbau. Die Balken sind nach Glyphosat-Konzentrationen sortiert. Standortmerkmale aus Tab. 37. (♦) Modellergebnis Regressionsbaum; (◆) Modellergebnis lineares Modell (Varianzanalyse)

Hier wird deutlich, dass Konzentrationen aus Bio-Anbau-Standorten über den ganzen Konzentrationsbereich verstreut sind. Sie zeigen nicht die wünschenswerte Häufung im niedrigen Konzentrationsbereich.

4.4 Auswertung der Einflussfaktoren auf die Konzentrationen in den Passivsammlern

Die folgende Tab. 3 gibt an, welche Faktoren bei der Untersuchung verschiedener Substanzen durch das Verfahren »Regressionsbaum« als bedeutsam erkannt wurden.

In Tab. 36: Supplement Statistik finden Sie die Regressionsbäume zu den Tabellen 3 und 6 sowie Balkendiagramme für alle Medien.

Tab. 3: Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Passivsammlern auf die Bedeutung der Standortfaktoren, ermittelt durch das Verfahren »Regressionsbaum«.
Es ist der Anteil der Varianz in Prozent angegeben, der bei der Modellierung durch den Regressionsbaum im Zusammenwirken mit anderen als einflussvoll erkannt wurde.
Zum Teil befinden sich die Varianzanteile eines Faktors auf mehreren Abschnitten des Baums (vgl. Tab. 36, Abb. 2.1 bis 2.9).

Substanz	Naturraum	Biogeographische Region	Winderosion	Schutzgebiet	Landwirtschaftliche Intensität	Distanz zur nächsten pot. Quelle	Bio-Anbau	Bestimmtheitsmaß
Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe	30,1			5,9	13,5	6,3		55,8
Glyphosat	18,9		4,9		23,2	4,1		51,1
Chlorthalonil	15,1				13,2	1,7	1	31,0
Metolachlor	6,1	1,9				4,3	20,4	32,7
Pendimethalin	26,5			1,8		8,7		37,0
Terbuthylazin	13,5	5,2			19,5			38,2
Prothioconazoldesthio	3,3		8,1	1,3		17,5		30,2
AMPA	21,2		2,8	5,8	13,2		3,3	46,3
Prosulfocarb	28,1	1,7		6,5	16,4			52,7

4.4.1 Wirkstoff-Konzentrationen in Passivsammlern im Vergleich von Bio-Anbau mit anderen Standorten

Es ist wünschenswert, dass Wirkstoff-Konzentrationen an Bio-Anbau-Standorten, aber auch Naturschutzgebieten oder Städten, deutlich unter den Konzentrationen an anderen Standorten liegen. Idealerweise wären an Bio-Standorten überhaupt keine Wirkstoffe vorhanden (genauer: nachweisbar). Das ist nicht der Fall, wie Kapitel 5 zeigen wird. Dennoch könnte es so sein, dass Bio-Anbau-Standorte mit einer erheblich geringeren Pestizid-Belastung in der Luft ausgestattet sind, weil an diesen Standorten selbst keine Pestizide ausgebracht werden. Allerdings hat sich in den vorangegangenen Analysen unter 4.4 der Faktor »Bio-Anbau« nur in 3 von dort betrachteten 9 Wirkstoffen bzw. Kriterien als wesentlicher Faktor erwiesen (Tab. 3), d.h. die in der Luft nachgewiesenen Konzentrationen in beiden Bereichen unterscheiden sich nach dieser Analyse in 6 von 9 Fällen nur um zufällige Beträge, nicht systematisch. Solche Nicht-Nachweise von erwarteten Unterschieden werfen die Frage auf, welche Differenzen mit der durchgeführten Untersuchung hätten nachgewiesen werden können. Der Nicht-Nachweis einer Differenz kann den Grund haben, dass tatsächlich kein Unterschied vorliegt. Die Ursache kann aber auch eine zu kleine Stichprobe sein, die das Erkennen einer vorhandenen Differenz nicht erlaubt. Ob eine Differenz erkannt werden kann, hängt von ihrer Größe ab, von der Streuung der gemessenen Konzentrationen in jeder der zu vergleichenden Gruppen und von der Anzahl der Werte in jeder Gruppe.

Um zu klären, ob die Stichprobengröße in dieser Studie verhindert hat, dass vorhandene Unterschiede zwischen Bio-Anbau- und anderen Standorten erkannt wurden, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Mit dieser wird bestimmt, welche Differenz zwischen den Standorttypen erkennbar gewesen wäre. Die letzte Spalte der Tab. 4 zeigt, welche Differenzen in der gegenwärtigen Studie als Unterschied identifiziert worden wären. Dabei ist diese Differenz in Prozent des Medians angegeben worden, um sie leichter vergleichbar zu machen.

Die Tab. 4 zeigt, dass einerseits durchaus Differenzen in der erwarteten Richtung zwischen Gehalten an Bio-Anbau- und anderen Standorten bestehen. Das ist jedoch nur für 5 Größen der Fall, erkenntlich daran, dass in der Spalte »Median Bio-Anbau in % des Nicht-Bio-Anbau Medians« ein Wert < 100 Prozent steht. In 4 Fällen (Glyphosat, Chlorthalonil, Prothioconazol-desthio, Prosulfocarb) liegt der empirische Median im Bio-Anbau-Bereich höher als im Nicht-Bio-Anbau. Einige Differenzen sind nicht genügend groß, um als signifikant erkannt zu werden. Die Inspektion der Daten (vgl. Tab. 36), insbesondere der Balkendiagramme mit nach Konzentration sortierten Balken, zeigt die Ursache: Es gibt eine große Inhomogenität zwischen Bio-Standorten, die nicht als zufällige Streuung erklärt werden kann. Für einige Parameter liegen Konzentrationen von Bio-Standorten über den ganzen gemessenen Konzentrationsbereich verteilt vor und stellen zum Teil die höchsten gemessenen Werte.

Tab. 4: *Nachweisbare Differenz zwischen Konzentrationen an Bio-Anbau-Standorten und anderen Standorten.*

Die letzte Spalte enthält den Median im Bio-Anbau, der als unterschiedlich vom Median des Nicht-Bio-Anbaus erkannt worden wäre. Die Angabe erfolgt zur einfacheren Vergleichbarkeit in Prozent des Nicht-Bio-Anbau-Medians.

Substanz	Median Nicht-Bio-Anbau	Median Bio-Anbau	Median Bio-Anbau in % des Nicht-Bio-Anbau Medians	Nachweisbarer Median Bio-Anbau	Nachweisbarer Median Bio-Anbau in % des Nicht-Bio-Anbau Medians
Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe	18.00	17.44	96.86	11.68	64.87
Glyphosat	97.80	119.89	122.59	43.64	44.62
Chlorthalonil	130.20	871.32	669.22	a)	a)
Metolachlor	83.00	15.49	18.66	a)	a)
Pendimethalin	145.50	120.68	82.94	54.39	37.38
Terbuthylazin	94.80	48.59	51.26	19.50	20.57
Prothioconazol-desthio	33.80	36.58	108.24	1.98	5.85
AMPA	25.10	23.56	93.88	a)	a)
Prosulfocarb	69.20	136.29	196.96	1.97	2.85

a) Effekt des Bio-Anbaus in den Daten nachgewiesen

Die statistische Analyse hätte Unterschiede zwischen Bio- und Nicht-Bio-Anbau in realistischer Größenordnung durchaus entdecken können, wie die letzte Spalte von Tab. 4 zeigt. Keiner der dort angegebenen Werte bedeutet, dass nur eine extreme Differenz mit allen Bio-Anbau-Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze hätte erkannt werden können. Auch erheblich größere Konzentrationen wären noch als Abweichung von den Nicht-Bio-Anbau-Konzentrationen erkannt worden.

4.5 Auswertung der Einflussfaktoren der Konzentrationen in Filtermatten

Die Auswertung von Konzentrationen in Filtermatten umfasst nur die Schritte 1 und 2 der oben beschriebenen Auswertungsstrategie, da die Bestimmung eines Regressionsbaums wegen der Größe des Datensatzes (20 Standorte) nicht sinnvoll ist. Im Schritt 2 wird untersucht, welche Faktoren gemeinsam als Haupteffekte eine Bedeutung für die Beschreibung der Wirkstoffkonzentration haben. Die Erklärungswerte der Faktoren, deren Einfluss als wesentlich erkannt wurde, sind in der Tab. 5 angegeben. Die genaue Auswirkung der Faktoren-Ausprägungen lässt sich ähnlich wie bei den Passivsammlern nicht in einfacher Weise beschreiben. Die Gesamtheit der Auswirkungen kann aber den Balkengrafiken für Filtermatten in Tab. 36, Abb. 4, entnommen werden.

Tab. 5: Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Filtermatten auf die Bedeutung der Standortfaktoren durch das Verfahren »Varianzanalyse«.
 Die inneren Zellen der Tabelle enthalten den prozentualen Anteil der Varianz des Merkmals in der Zeile, der bei der Modellierung durch das lineare Modell (Varianzanalyse) dem darüber stehenden Faktor zugewiesen wurde. Nur Modelle mit maximal 10 Parametern wurden berücksichtigt. Der Faktor »Bio-Anbau« wird nicht modelliert, da er in den Filtermatten-Standorten nicht vertreten ist. Die letzte Spalte enthält den Varianzanteil, der für das Merkmal in der Zeile insgesamt erklärt wird (das Bestimmtheitsmaß).

Substanz	Naturraum	Biogeografische Region	Winderosion	Schutzgebiet	Landwirtschaftliche Intensität	Distanz zur nächsten pot. Quelle	Bio-Anbau	Bestimmtheitsmaß
Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe	20,3				10	35,5		65,8
Glyphosat	24,5				22,1			46,6
AMPA	32,4							32,4
Boscalid	15	8,4		8	15,4			46,8
Fenpropidin								0
Tebuconazol			7,1	3,6	7,7	29,2		47,6
Azoxystrobin		13			15,6			28,6
Folpet					9,8	35,9		45,7
Ametoctradin	32,4	4,5			14,4			51,3

4.6 Auswertung der Einflussfaktoren auf die Konzentrationen im Bienenbrot

Die Auswertung für die Matrix Bienenbrot erfolgt mit allen 3 Schritten der Auswertungsstrategie. Die Ergebnisse sind in der Tab. 6 zusammengefasst. Die beteiligten Regressionsbäume sind in Tab. 44, Abb. 5.1 bis 5.7, dargestellt. Entsprechende Balkendiagramme finden sich unter Tab. 36, Abb. 6 und 7.

Tab. 6: Untersuchung verschiedener Wirkstoffe in den Bienenbrot-Proben auf die Bedeutung der Standortfaktoren durch das Verfahren »Regressionsbaum«.

Die inneren Zellen der Tabelle enthalten den prozentualen Anteil der Varianz des Merkmals in der Zeile, der bei der Modellierung durch den Regressionsbaum dem darüber stehenden Faktor zugewiesen wurde. Zum Teil befinden sich die Varianzanteile eines Faktors auf mehreren Abschnitten des Baums. Die letzte Spalte enthält den Varianzanteil, der für das Merkmal in der Zeile insgesamt erklärt wird (das Bestimmtheitsmaß).

Substanz	Naturraum	Biogeografische Region	Winderosion	Schutzgebiet	Landwirtschaftliche Intensität	Distanz zur nächsten pot. Quelle	Bio-Anbau	Bestimmtheitsmaß
Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe	22,1					13,0		35,1
Pendimethalin	6,5	11,8						18,3
Thiacloprid	7,0		11,3		2,4	1,1		21,8
Tau-Fluvalinat	22,5				12,5			35,0
Terbutylazin	10,4					9		19,4
Prosulfocarb	10,1		10,2		4,8			25,1
Icaridin	16,4				1,5	13,4		31,3

5 Ergebnisse

5.1 Darstellung der Ergebnisse

5.1.1 Einordnung der nachgewiesenen Wirkstoffe

Grundlage der Untersuchungen waren die Ergebnisse der Methoden nach ASU L 00.00-115 (Untersuchung von Lebensmitteln – Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC-MS und LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE in pflanzlichen Lebensmitteln – Modulares QuEChERS-Verfahren. Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB (BVL 2017, 2018)). Auf der Liste der untersuchten Stoffe finden sich auch Substanzen, die ihren Ursprung nicht in der Landwirtschaft haben. Insbesondere die 6 PCB, aber auch 8 weitere Stoffe gehören in diese Gruppe. Es war den Auftraggebern wichtig, diese 14 Stoffe in den Ergebnissen gesondert zu identifizieren. Sie sind in Tab. 28 aufgeführt. Des Weiteren wurden für die Ergebnisse der nachgewiesenen Wirkstoffe jeweils drei Listen erstellt, die in Tab. 32, 33, 34 und 35 abrufbar sind. Die erste Liste in den Tabellen 32, 33, 34 und 35 enthält jeweils die bereinigte Liste der Wirkstoffe entsprechend Tab. 30. Die zweite Liste in den Tabellen 32, 33, 34 und 35 enthält jeweils alle nachgewiesenen Substanzen nach ASU L 00.00-115 (vgl. Tab. 27). Die jeweils dritte Liste enthält die Kennzeichnung der nachgewiesenen Stoffe entsprechend den Kriterien in Tab. 28 und 29; sie ist die Grundlage für die bereinigte Liste in Tab. 30.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass für einige Stoffe eine eindeutige Zuordnung schwierig ist.

Die Zusammenfassung der Studie (S. 12) berücksichtigt die bereinigten Werte. In den Kapiteln 5 und 6 sind die Ergebnisse jedoch auf Grundlage der Daten der ASU L 00.00-115 diskutiert.

5.1.2 Darstellung der Ergebnisse auf Grundlage der ASU L 00.00-115

Die folgende Darstellung der Ergebnisse erfolgt auf Grundlage der vorhandenen Daten, wie Gesamtvorkommen, Menge, Maxima, Minima etc. Dabei wird dargestellt, wie viele Wirkstoffe in den einzelnen Medien, also in Passivsammlern, Filtermatten, Bienenbrot und Baumrinde, auftraten und welche Wirkstoffe am häufigsten nachgewiesen wurden. In einem zweiten Teil wird veranschaulicht, wo die Wirkstoffe nachgewiesen wurden.

Grafisch wird die Verteilung der Ergebnisse auf verschiedene Landnutzungsformen sowie ihre Distanz zur nächstgelegenen potenziellen Quelle erarbeitet. In einem weiteren Abschnitt werden die Sammeleigenschaften der einzelnen Medien unter Einbeziehung des Rindenmonitorings aus den Jahren 2014 bis 2018 vergleichend untersucht. Abschließend erfolgt eine Betrachtung des Gesamtergebnisses sowie einzelner Wirkstoffe mit besonderen Eigenschaften, und die Auswertung der Ergebnisse wird durch die statistische Bewertung abgeschlossen.

Bei der Bewertung der Ergebnisse sollte beachtet werden, dass die Menge eines Wirkstoffs nicht mit seiner Toxizität gleichzusetzen ist. Die Betrachtung der Toxizität muss an anderer Stelle erfolgen.

Weiterhin beschränkt sich die vorliegende Studie allein auf die Darstellung der nachgewiesenen Wirkstoffe. Dieser Zusatz ist deshalb wichtig, weil die nachgewiesenen Mengen an Wirkstoffen nicht immer mit einer direkten (Pestizid-)Applikation in Verbindung stehen müssen. Anthrachinon zum Beispiel, das seit 2002 in der Bundesrepublik (BVL 2010) nicht mehr als Pestizid-Wirkstoff zugelassen ist, entsteht durch Verbrennungsprozesse, hat natürliche Quellen und ist ein Grundstoff für die Herstellung von Anthrachinonfarbstoffen. Auch Um- und Abbauprozesse in der Atmosphäre während der Verdriftung, die auf den chemischen Eigenschaften der entsprechenden Wirkstoffe beruhen, beeinflussen die gemessenen Werte. Im Rahmen dieser Untersuchungen können diese Prozesse nicht berücksichtigt werden. Die vorliegenden Ergebnisse geben die gemessenen Werte vor Ort wieder.

Anthrachinon, Brompropylat, DCBP-pp, DEET, HCB, Icaridin, Piperonylbutoxid (PBO) und tau-Fluvalinat sind in der ASU L 00.00-115 ausgewiesen, aber als Wirkstoffe nicht-landwirtschaftlichen Quellen zugeordnet (vgl. Tab. 28). Tau-Fluvalinat nimmt hier eine Sonderstellung ein. Es handelt sich um einen Pestizid-Wirkstoff, der jedoch nur im Bienenbrot nachgewiesen werden konnte. Tau-Fluvalinat wurde dennoch nicht berücksichtigt, da er auch in Bienenstöcken direkt angewendet wird. Somit kann keine eindeutige Zuordnung landwirtschaftlichen Ursprungs vorgenommen werden. Auch die in allen Probenmedien nachgewiesenen PCB (Polychlorierte Biphenyle) sind in der Untersuchungsliste nach ASU L 00.00-115 aufgeführt. Ihre Anzahl variiert in den untersuchten Medien. In den Tab. 7, 11, 15 und 19 sind diese Stoffe als »PCB aus ASU L 00.00-115« bzw. als »Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen« separat ausgewiesen; entsprechend werden sie in der bereinigten Liste in Tab. 30 nicht geführt.

5.2 Der Passivsammler

Tab. 7: Übersicht über die Ergebnisse aus den Passivsammlern

Anzahl der Proben	49
Nach ASU L 00.00-115 (PUF) nachgewiesene Wirkstoffe	78
In PEF-Analytik für Glyphosat, AMPA und Glufosinat nachgewiesene Wirkstoffe	2
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe	80
abzüglich PCB nach ASU L 00.00-115	-5
abzüglich Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	-4
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	71
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort nach ASU L 00.00-115 sowie PEF-Analytik	6–33
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	5–31
Wertetabelle	Tab. 32

In den von TIEM entwickelten Passivsammlern wurden 78 Wirkstoffe in der PUF-Matrix nachgewiesen, dazu kommen mit Glyphosat und AMPA, die nur in der PEF-Matrix analysiert wurden, 2 weitere Wirkstoffe hinzu. Von diesen insgesamt 80 Wirkstoffen waren 5 der Gruppe der PCB sowie 4 nicht-landwirtschaftlichen Quellen zuzuordnen. Eine große Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe ist in Deutschland nicht zugelassen ((BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018)) (vgl. Tab 38).

In Abb. 16 sind die 19 auffälligsten Wirkstoffe in den Proben wiedergegeben. Sie kommen an mehr als einem Drittel der Standorte vor. Wie oft ein Wirkstoff zu finden ist, geben die blauen Balken wieder. Die darunterliegenden farbigen Säulen zeigen die Bandbreite der Werte. Die Werte selbst sind als kleine blaue Rauten in den Säulen eingetragen.

Separat von den Ergebnissen auf der PUF-Matrix sind, als Ergebnisse der PEF-Matrix, die Werte für Glyphosat und AMPA aufgeführt. Sie belegen das wohl deutlichste Ergebnis dieser Studie, denn Glyphosat wurde an allen Standorten nachgewiesen. Der ermittelte Median liegt bei 123,9 ng/Probe. Sogar auf dem Brocken (Proben-Nr. 740/1000), dem höchsten Berg im Nationalpark Harz, oder mitten im Nationalpark Bayerischer Wald (Proben-Nr. 748/1007) konnte Glyphosat nachgewiesen werden.

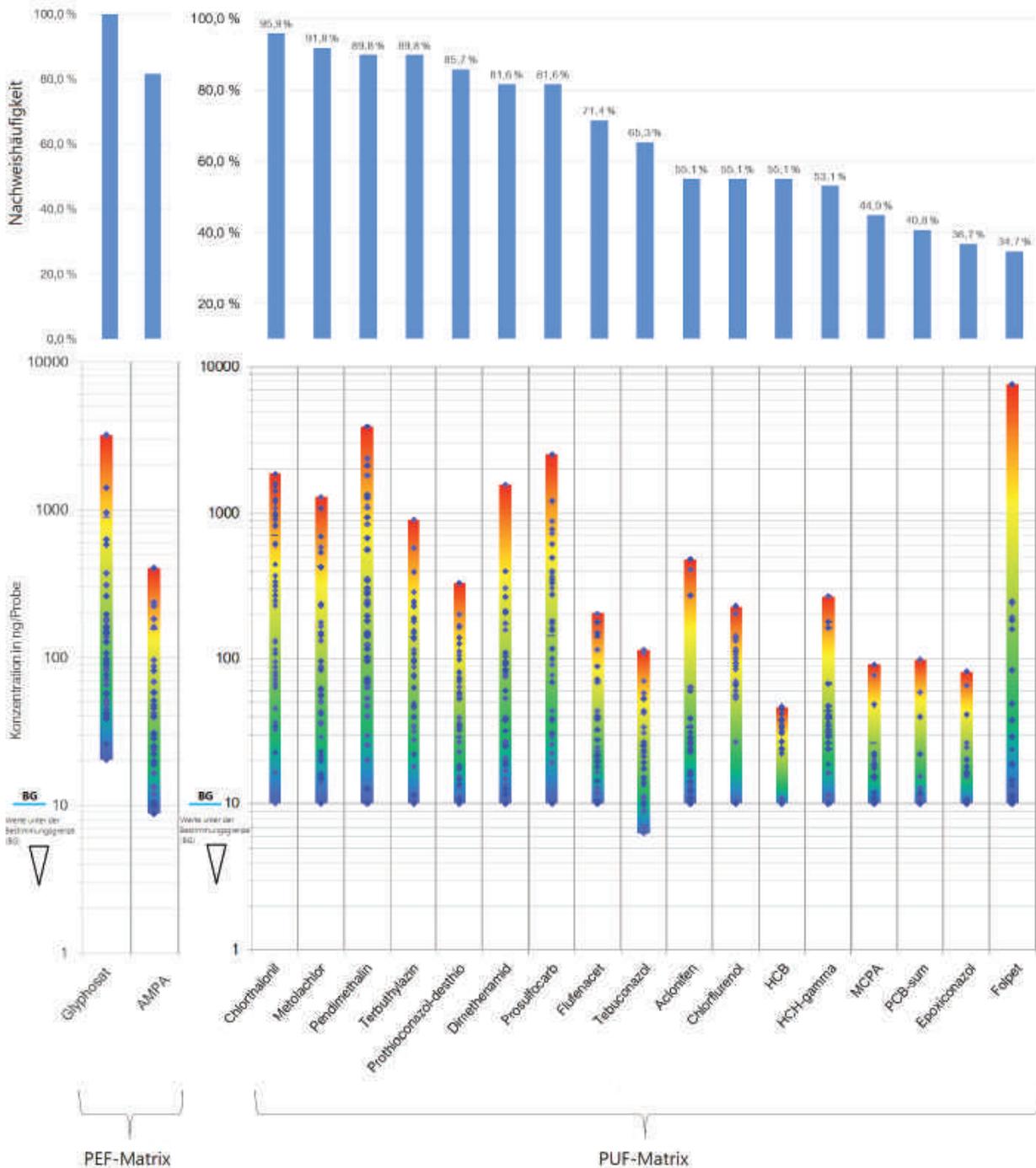


Abb. 16: Die am häufigsten vorkommenden Wirkstoffe in den Passivsammlern.

- PEF-Matrix – gemessene Werte in der PEF Matrix des Passivsammlers (ng/Probe).
- PUF-Matrix – gemessene Werte in der PUF Matrix des Passivsammlers (ng/Probe).
- Es sind alle Wirkstoffe angegeben, die an mehr als 1/3 der Standorte (= 16 Sto.) nachgewiesen wurden (Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)).
- Die blauen Balken zeigen das Vorkommen der Wirkstoffe an den gesamten Standorten.

Die Nachweisfrequenz errechnet sich aus der Anzahl der Vorkommen eines Wirkstoffs an allen Standorten/Anzahl aller Standorte*100; sie ist als Zahlenwert über den blauen Balken angegeben.

- Die Farbbalken geben die Streubreite der Werte an. Die blauen Rauten (◆) zeigen die Einzelwerte der Standortproben in ng/Probe. (Werte Tab. 32 im Anhang)
- BG: Werte unter der Bestimmungsgrenze.

Insgesamt gab es keine Standorte, an denen weniger als 6 Wirkstoffe (s. Tab. 32) nachgewiesen werden konnten. Lediglich im Bayerischen Wald (Proben-Nr. 748/1007) war die Standortbelastung so gering. Dort finden sich die weitverbreiteten Altstoffe PCB, HCB und Lindan, außerdem die noch im Gebrauch befindlichen Pestizid-Wirkstoffe Glyphosat und Dimethenamid sowie Chlorthalonil (Zulassung entzogen am 20. November 2019; Aufbrauchfrist bis 20. Mai 2020; (BVL 2019a)) und Chlorpropham (Zulassung entzogen am 31. Januar 2020; Aufbrauchfrist bis 8. Oktober 2020; (BVL 2019b)), denen die Zulassungen entzogen worden ist.

Der Standort mit den meisten Wirkstoffen liegt im Nordwesten Deutschlands (Proben-Nr. 746/448). Dort wurden insgesamt 33 Wirkstoffe nachgewiesen. (s. Tab. 32).

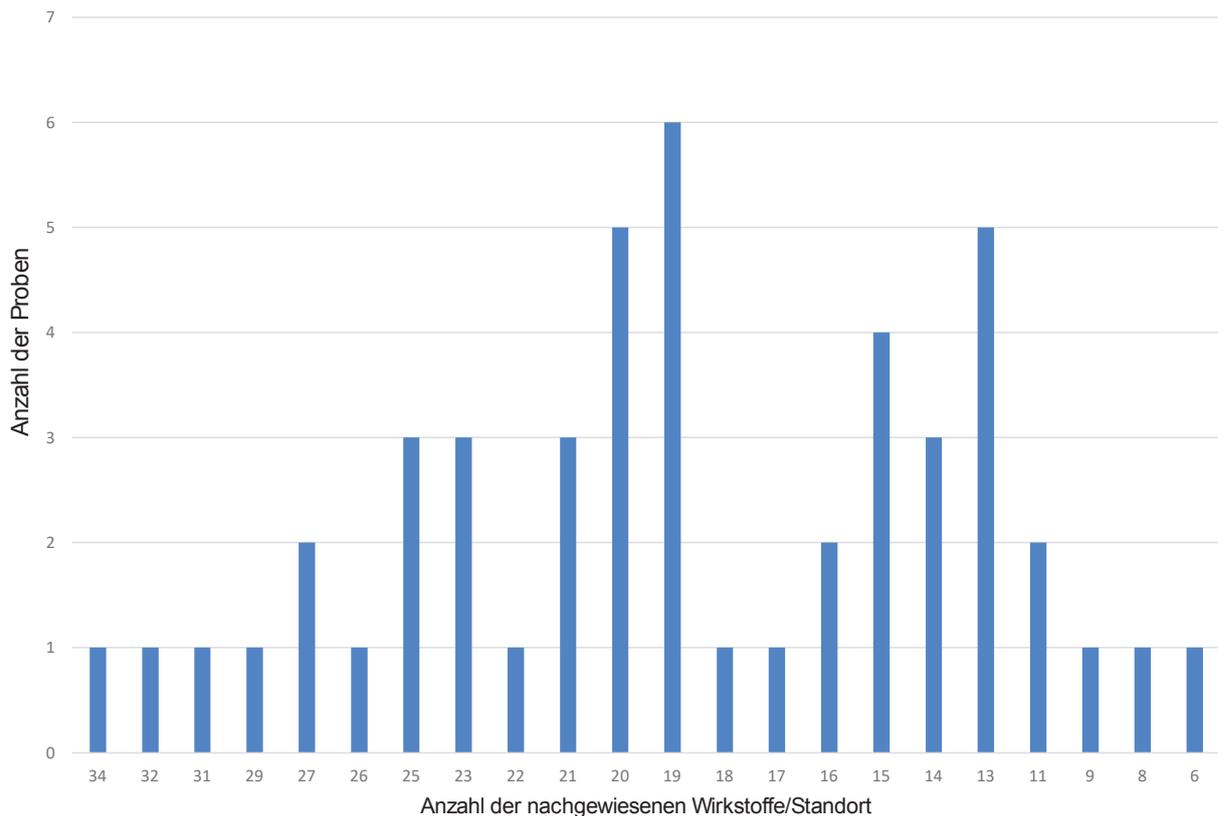


Abb. 17: Verteilung der Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe in den Proben (N = 49).

Die 19 verbreitetsten Wirkstoffe Glyphosat, Chlorthalonil, Metolachlor, Pendimethalin, Terbutylazin, Prothioconazol-desthio (Metabolit), Dimethenamid, Prosulfocarb, AMPA (Metabolit), Flufenacet, Tebuconazol, Aclonifen, Chlorflurenol, HCB, HCH-gamma (Lindan), MCPA, die Summe der PCB, Epoxiconazol und Folpet (Wirkstoffklasse und Zulassung s. Tab. 8) bestätigen in großen Teilen die in den Jahren 2014 bis 2018 in der Baumrinde nachgewiesenen Werte: Glyphosat, Metolachlor, Pendimethalin, Terbutylazin, Prothioconazol-desthio, Prosulfocarb, AMPA, Flufenacet, Tebuconazol, HCH-gamma (Lindan) und Epoxiconazol wurden auch damals in größerer Anzahl nachgewiesen.

Chlorthalonil, Dimethenamid, HCB, Aclonifen, Chlorflurenol, MCPA und Folpet finden sich in den Passivsammlern deutlich häufiger als im Rindenmonitoring. Chlorflurenol wird von den Rinden nicht aufgenommen.

Tab. 8: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Passivsammlern nach Wirkstoffklassen (WK) und Zulassungen (s. Tab. 30) nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Wirkstoff	WK	Zulassung	Bemerkung	BVL Code	Gefunden in Anzahl/Standorte (Gesamt N=49)
Glyphosat	H	zugelassen		0405	49
Chlorthalonil	F	zugelassen	endet 20.11.2019		47
Metolachlor	H	zugelassen		0963	45
Pendimethalin	H	zugelassen		0404	44
Terbuthylazin	H	zugelassen		0316	44
Prothioconazol-desthio		Metabolit Prothioconazols			42
Dimethenamid	H	zugelassen		0988	40
Prosulfocarb	H	zugelassen		0763	40
AMPA	Met	Metabolit Glyphosats			40
Flufenacet	H	zugelassen		0922	35
Tebuconazol	F	zugelassen		0784	32
Aclonifen	H	zugelassen		0656	27
Chlorflorezol	W	nicht zugelassen	seit 2003		27
HCB	F	nicht zugelassen	seit 1981 (BRD)		27
HCH-gamma	I, P	nicht zugelassen	seit Ende 2007		26
MCPA	H	zugelassen		0074	22
PCB-sum	Hilf				20
Epoxiconazol	F	zugelassen		0875	18
Folpet	F	zugelassen		0091	17

Im Unterschied zu den Ergebnissen aus dem Rindenmonitoring gehört Chlorthalonil zu den weitverbreiteten Wirkstoffen in den Passivsammlern. Dies war überraschend, denn obwohl Chlorthalonil einen hohen Dampfdruck besitzt, war es in bereits vorliegenden Ergebnissen nicht in dieser deutlichen Ausprägung aufgefallen. Lediglich an zwei Standorten wurde es nicht nachgewiesen. An sieben Standorten wurde der Wert 1000 ng/Probe überschritten (Tab. 32), so auch am Standort 740/1000 im Nationalpark Harz. Daher behauptet Chlorthalonil in der nachgewiesenen Gesamtmenge den ersten Platz (über 23.000 ng in allen Proben). Die Zulassung für dieses Pestizid lief erst Ende 2019 aus, und Restbestände durften noch bis Mai 2020 aufgebraucht werden (BVL 2019a).

Den zweiten Platz in der nachgewiesenen Gesamtmenge (21.900 ng in allen Proben; s. Tab. 9) behauptet Pendimethalin, das auch an einzelnen Standorten sehr hohe Belastungen aufzeigen kann (über 3900 ng/Probe; Proben-Nr. 744/1004). Es tritt an insgesamt 44 von 49 Standorten auf.

Das Herbizid Metolachlor findet sich an 45 Standorten. Die Gesamtmenge, die bestimmt wurde, ist jedoch sehr viel kleiner als die von Chlorthalonil und Pendimethalin.

Auch Terbuthylazin, Prothioconazol-desthio und Dimethenamid werden weitverbreitet nachgewiesen, jedoch sind die Gesamtmengen im Vergleich zu Chlorthalonil und Pendimethalin viel geringer (2800–6000 ng in allen 49 Proben; s. Tab. 9).

Das Herbizid Prosulfocarb, das aufgrund seiner weiten Verbreitung für biologische Produzenten ein Problem darstellt, ist mit einem Gesamtaufkommen von fast 12.000 ng in allen untersuchten Proben in größeren Mengen zu finden. Als Höchstwert wurden über 2500 ng/Probe gemessen (Proben-Nr. 743/1003).

Tab. 9: Die häufigsten Wirkstoffe in den Passivsammlern mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median.
Der Median gibt den Wert an, an dem 50 Prozent der Werte höher bzw. niedriger sind.

Wirkstoff	Vorkommen an Standorten	Gesamtmenge aus allen Proben (N=49) in ng/Probe)	Maximum (ng/Probe)	Minimum (ng/pProbe)	Median (ng/Probe)
Glyphosat	49	13122,3	3176,8	20,3	98,4
Chlorthalonil	47	23247,3	1866,2	0	272,5
Metolachlor	45	8075,8	1273,3	0	58,1
Pendimethalin	44	21942,0	3916,8	0	145,5
Terbutylazin	44	6061,2	905,9	0	77,3
Prothioconazol-desthio	42	2797,2	329,0	0	35,0
Dimethenamid	40	4960,8	1556,6	0	37,6
Prosulfocarb	40	11872,9	2505,3	0	90,7
AMPA	40	2548,4	402,6	0	25,1
Flufenacet	35	1872,9	204,6	0	20,0
Tebuconazol	32	984,3	114,7	0	13,9
Aclonifen	27	1816,3	479,7	0	12,2
Chlorflurenol	27	2687,7	229,1	0	53,9
HCB	27	805,5	46,3	0	10,8
HCH-gamma	26	1431,0	267,4	0	16,5
MCPA	22	519,6	90,8	0	0,0
PCB sum	20	401,2	98,5	0	0,0
Epoxiconazol	18	433,0	81,3	0	0,0
Folpet	17	8958,6	7613,8	0	0,0

Zu den Altstoffen HCB und HCH-gamma (Lindan), sowie Chlorflurenol, das ebenfalls seit 2003 nicht mehr verwendet werden darf, gehören auch die Polychlorierten Biphenyle (PCB). Die Gesamtmenge der 5 PCB ist hier zusammengefasst. Die Hauptbelastung geht auf das PCB 028 zurück.

Über die Belastung durch Folpet kann die Gesamtmenge keinen Eindruck vermitteln. Für Folpet wurde die höchste Einzelbelastung am Standort 736/948 mit 7613,8 ng/Probe ermittelt. Das deutet auf eine erhebliche Belastung im Nahbereich (Abdrift) hin und überschattet die übrigen Werte.

5.2.1 Räumliche Verteilung der Werte aus den Passivsammlern

Die folgenden Karten geben die Ergebnisse der Belastung an den Standorten wieder. Die Höhe der Balken entspricht der Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort. Es sind alle Werte dargestellt und durch in ihre Lage innerhalb (rote Balken) oder außerhalb eines Schutzgebiets (blaue Balken) sowie innerhalb einer Stadt (hellblaue Balken) gekennzeichnet (Abb. 18). In Abb. 19 finden sich nur Standorte, an denen mehr als 17 Wirkstoffe nachgewiesen wurden. In Abb. 20 dagegen werden nur Standorte mit Werten zwischen 0 und 16 Wirkstoffen aufgeführt.

Wie die Grafik zeigt, liegen die Standorte mit hoher Belastung fast alle im landwirtschaftlich intensiv genutzten Norden der Republik. Von den Städten gehört nur ein Standort in Berlin (Proben-Nr. 710/784) mit 20 nachgewiesenen Wirkstoffen zu den höher belasteten Orten.

Im Süden haben zwei Standorte in Baden-Württemberg ein hohes Wirkstoff-Vorkommen (Proben-Nr. 736/948, 737/960). Anhand der Abb. 21 ist ersichtlich, dass die landwirtschaftliche Nutzung in der Region der beiden Standorte einerseits Weinbau und andererseits Obstbau ist.

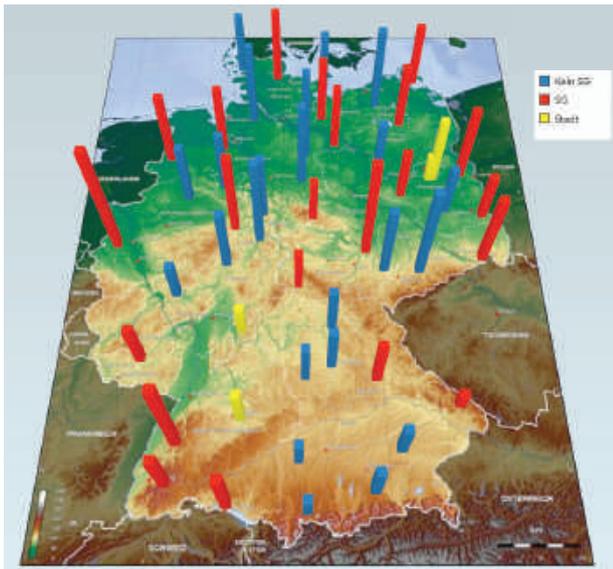


Abb. 18:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe) in den Passivsammlern, Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet, Lage im Schutzgebiet, Stadt. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
 ■ Kein SG Lage nicht in einem Schutzgebiet
 ■ SG Lage in einem Schutzgebiet
 ■ Stadt Stadtbereich
 Schutzgebiete wurden festgelegt über den Kartendienst des BfN: <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>
 Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

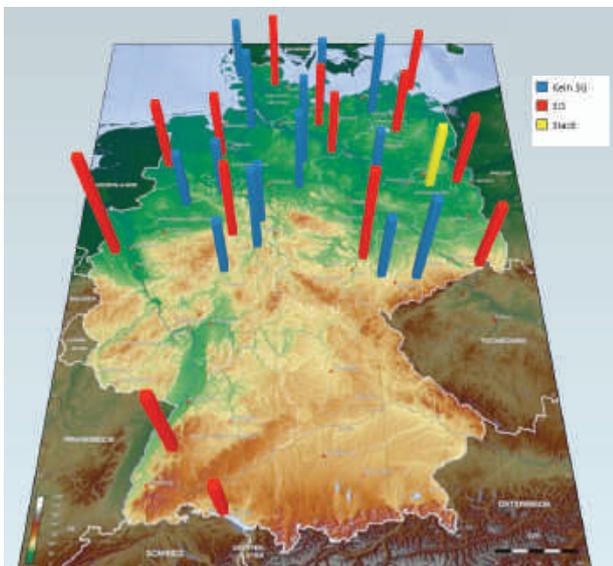


Abb. 19:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (17–33 Wirkstoffe) in den Passivsammlern, Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet, Lage im Schutzgebiet, Stadt. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
 ■ Kein SG Lage nicht in einem Schutzgebiet
 ■ SG Lage in einem Schutzgebiet
 ■ Stadt Stadtbereich
 Schutzgebiete wurden festgelegt über den Kartendienst des BfN: <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>
 Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

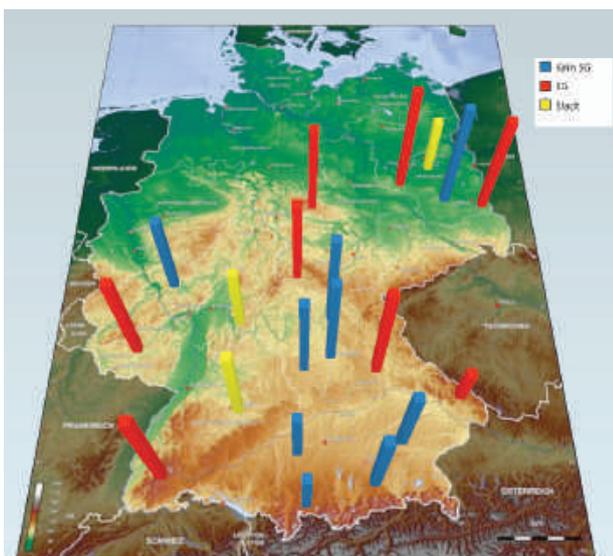


Abb. 20:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–16 Wirkstoffe), Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet, Lage im Schutzgebiet, Stadt. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
 ■ Kein SG Lage nicht in einem Schutzgebiet
 ■ SG Lage in einem Schutzgebiet
 ■ Stadt Stadtbereich
 Schutzgebiete wurden festgelegt über den Kartendienst des BfN: <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>
 Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

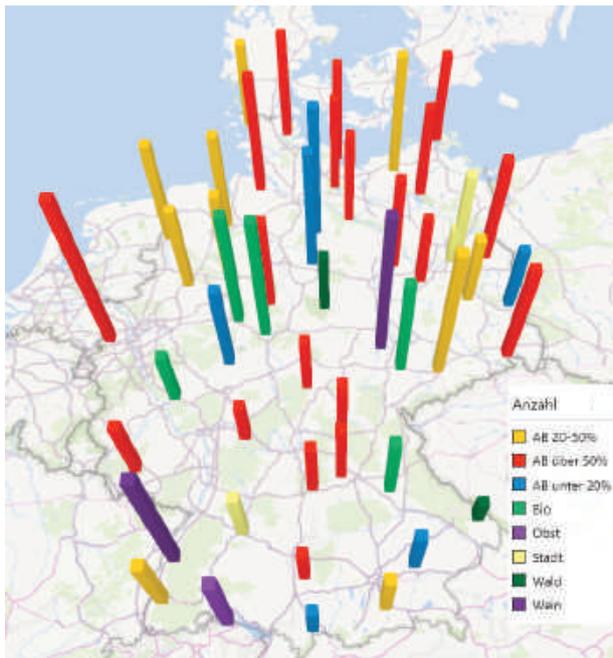


Abb. 21:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe) in den Passivsammlern, Standorte gegliedert nach Landnutzung. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
AB – Ackerbau, Bio – Biobetrieb, Obst – Obstbau, Stadt, Wald, Wein – Weinanbau
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Auch eine Lage abseits intensiver Landwirtschaft schützt vor der Belastung nicht (Abb. 21). Auch Standorte mit weiter entfernt liegenden Quellen weisen eine Vielzahl von Wirkstoffen auf. Im Nationalpark Harz auf dem Brocken (Proben-Nr. 740/1000) finden sich immer noch 13 (bereinigt 12, vgl. Tab. 32) Wirkstoffe. Im wesentlich niedriger liegenden Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue (Proben-Nr. 734/944) sind es 19 (bereinigt 18, vgl. Tab. 32) Wirkstoffe.

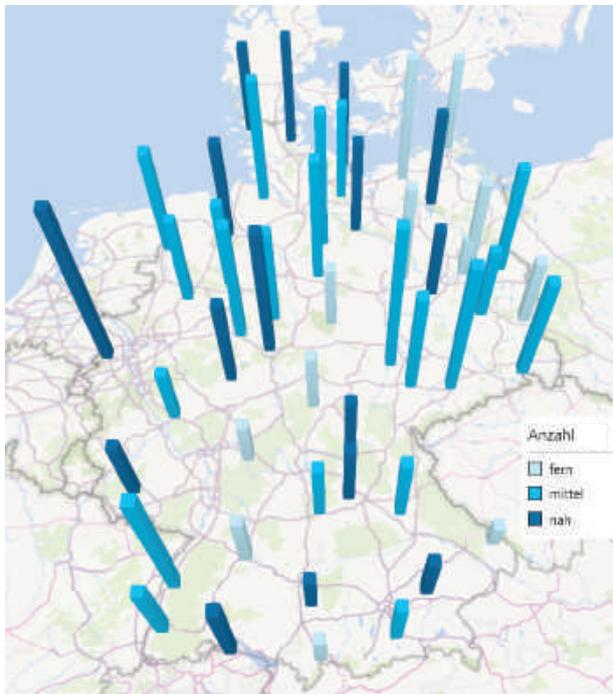


Abb. 22:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–33 Wirkstoffe) in den Passivsammlern; Standorte gegliedert nach Abstand von der nächstmöglichen Fläche. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

In Abb. 22 sind alle Standorte nach dem Abstand zur nächsten Fläche geordnet. Bereits ohne eine statistische Auswertung ist zu erkennen, dass hohe Werte nicht vom Abstand zur nächsten potenziellen Quelle abhängen.

5.2.2 Betrachtung einzelner Wirkstoffe

Im Folgenden soll ein Überblick über die Ergebnisse und die Verteilung einzelner Wirkstoffe gegeben werden. Dazu gibt Tab. 9 eine Übersicht über die ermittelten Werte in den Passivsammlern. Alle Substanzen, die in diesem Abschnitt betrachtet werden, sind Pestizid-Wirkstoffe.

Die Verteilung der Werte ist je nach Wirkstoff sehr unterschiedlich. Hohe Werte an Einzelstandorten können das Bild der breiteren Belastung überlagern. Alle Einzelwerte sind in Tab. 32 wiedergegeben. Daher sind bei der Betrachtung von Glyphosat mit seinem Metaboliten AMPA zwei Grafiken angegeben. Da lediglich 2 Werte über 1000 ng/Probe lagen, wird die Belastung anderer Standorte erst deutlich, wenn diese Werte fehlen (Abb. 23). Dennoch wird aus beiden Darstellungen ersichtlich, dass die hohe Belastung im Nord- und besonders im Nordostdeutschen Raum zu finden ist.

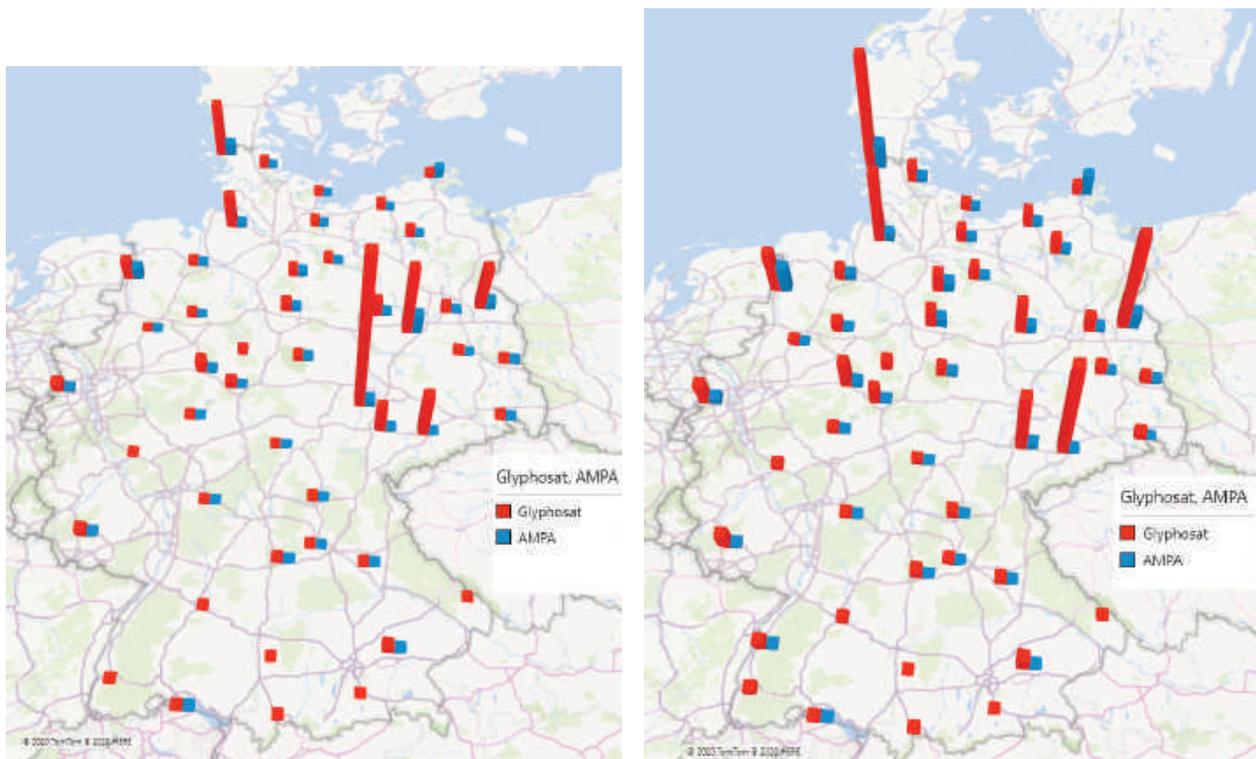


Abb. 23: Werte für Glyphosat und dem Metaboliten AMPA, links alle Werte und rechts nur Werte im Bereich von 20 bis 1000 ng/Probe in Passivsammlern.
Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Für Chlorthalonil sind hohe Werte eher im Norden und Nordwesten zu verzeichnen.

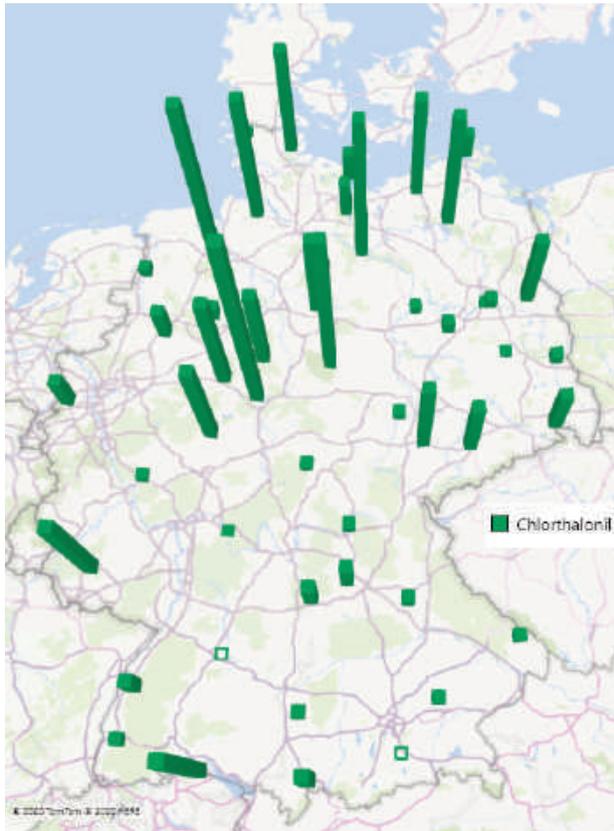


Abb. 24:
Werte für Chlorthalonil in Passivsammlern.
Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

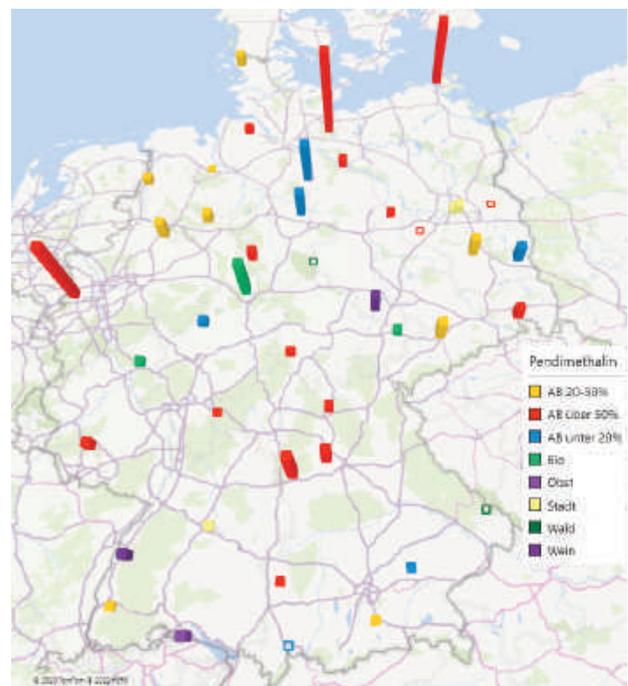
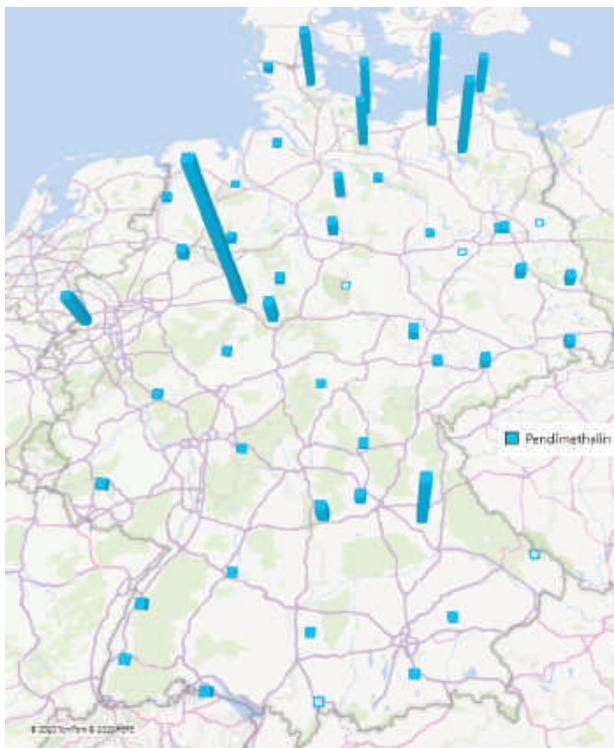


Abb. 25: Werte für Pendimethalin in Passivsammlern. Links alle Werte; rechts alle Werte kleiner als 1000 ng/Probe; gekennzeichnet durch die Art der Landnutzung: AB – Ackerbau, Bio – Bio-betrieb, Obst – Obstanbau, Wein – Weinanbau. Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

Betrachtet man bei Pendimethalin (Abb. 25) alle Werte, so würde man von einer Belastung im Norden ausgehen, weil hier die Werte besonders hoch sind. Bei einer Betrachtung der Werte zwischen 0 und 1000 ng/Probe zeigt sich, dass die Belastung hier uniformer verteilt ist.

Metolachlor und Terbutylazin sind beide weitverbreitet (45 bzw. 44 Standorte) (Abb. 26); allerdings liegen die gemessenen Gesamtmengen deutlich unter den Werten von Chlorthalonil (Tab. 9).

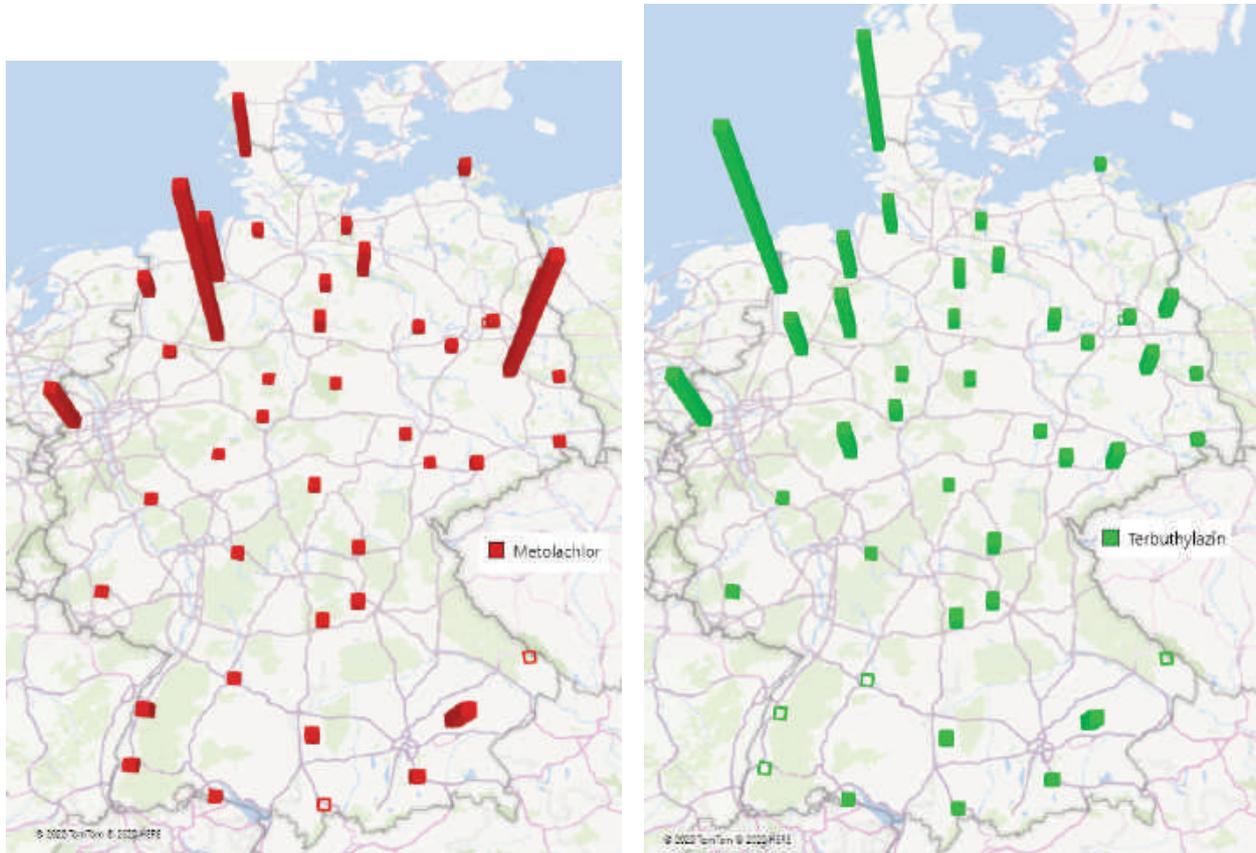


Abb. 26: Werte für Metolachlor und Terbutylazin in Passivsammlern.
Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Prothioconazol-desthio ist der Metabolit des Fungizids Prothioconazol. Es war bereits in den Rinden als sehr verbreitete Substanz aufgefallen (Abb. 27). Insgesamt wurden 2800 ng nachgewiesen, wobei die hohen Werte über die nördliche Hälfte Deutschlands gestreut sind.

Für Dimethenamid beträgt die Gesamtbelastung über 5000 ng, und ein hoher Einzelwert an einem Standort fällt prägnant auf.

Auch für Prosulfocarb, das insgesamt mit über 11.000 ng nachgewiesen wurde, sind die Belastungen weiträumiger verteilt (Abb. 28).

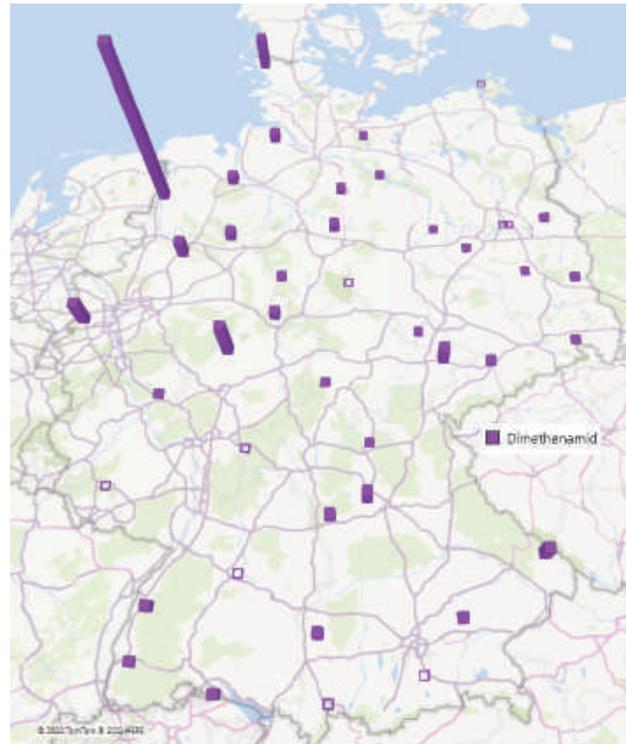


Abb. 27: Werte für Prothioconazol-desthio und Dimethenamid in Passivsammlern.
Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

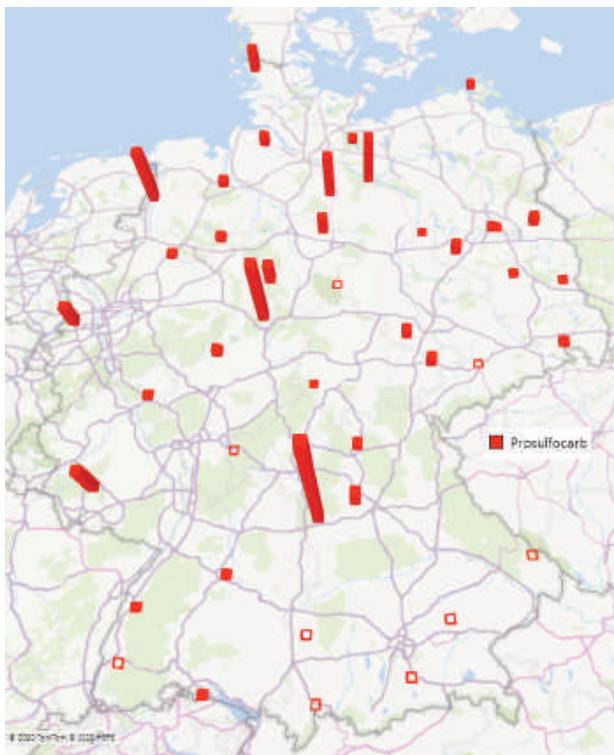


Abb. 28:
Werte für Prosulfocarb in Passivsammlern.
Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

In Abb. 29 und Abb. 30 werden die Werte für Flufenacet und Tebuconazol sowie Aclonifen und MCPA abgebildet.

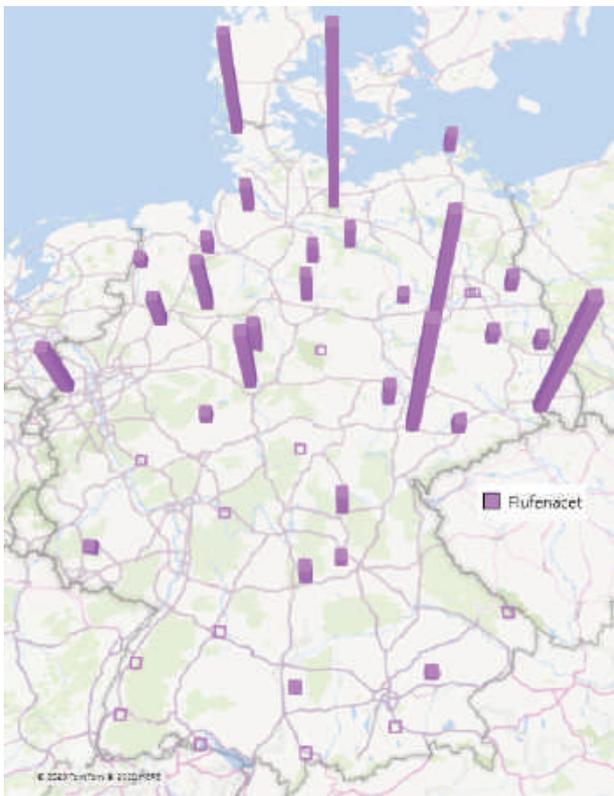


Abb. 29: Werte für Flufenacet und Tebuconazol in Passivsammlern. Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).



Abb. 30: Werte für Aclonifen und MCPA in Passivsammlern. Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

Folpet ist ein Fungizid, das im Weinbau eingesetzt wird und an 17 Standorten nachgewiesen wurde. Hier wurde die Verteilung der Werte durch eine sehr hohe Beobachtung von über 7600 ng/Probe dominiert (Proben-Nr. 736/948; vgl. Abb. 31 links). Betrachtet man Abb. 31 rechts mit den Werten zwischen 0 und 1000 ng/Probe, wird deutlich, dass Folpet weiträumig verteilt auftritt.

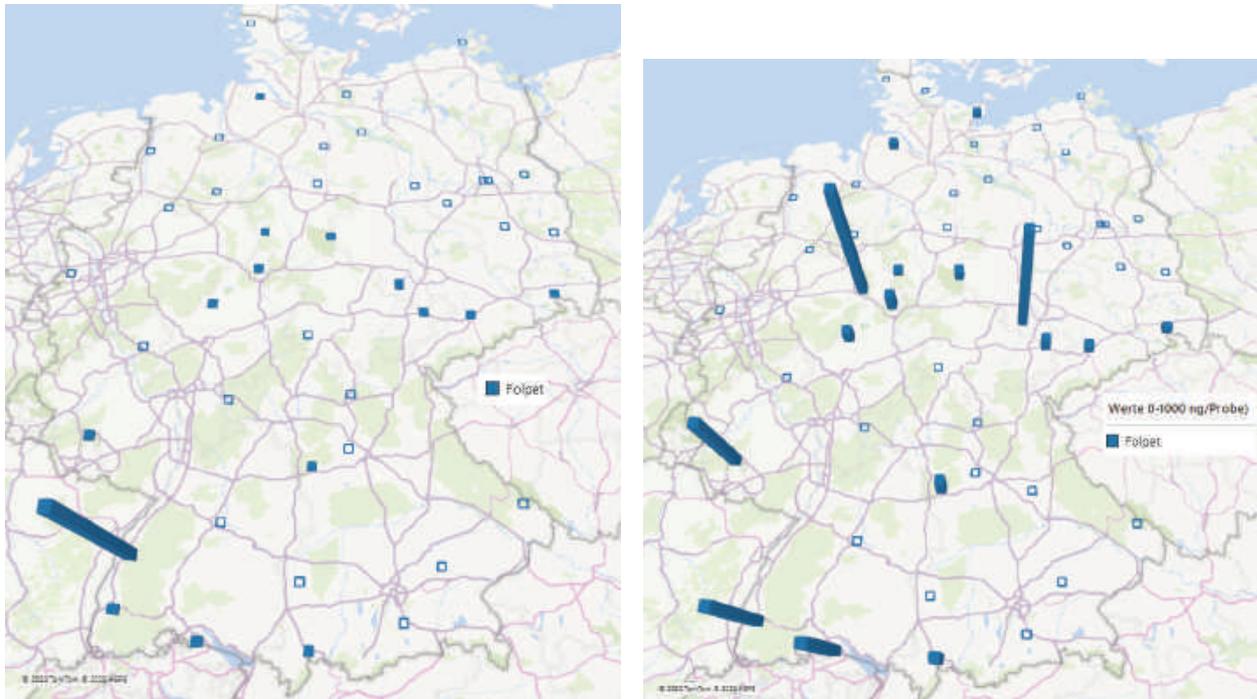


Abb. 31: Werte für Folpet in Passivsammlern. Links alle Werte; rechts alle Werte kleiner als 1000 ng/Probe. Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

5.3 Die Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen

Die Verwendung der Filtermatten war ein unkonventioneller Versuch, Wirkstoffe weiträumig zu erfassen. Wie vermutet, wurde hier eine ganze Reihe von Wirkstoffen erfasst, die in der auf volatile Wirkstoffe ausgelegten PUF-Matrix nicht zu finden waren.

Insgesamt kommen 65 Wirkstoffe vor (Tab. 11). Je nach Standort konnten 1 bis 36 Wirkstoffe nachgewiesen werden.

Die Bandbreite der unterschiedlichen Anlagen, von denen Filtermatten für die Studie zur Verfügung gestellt wurden, reichte vom Einfamilienhaus bis zur großen gewerblichen Immobilie. Die verschiedensten Bauarten und Filtermaterialien standen zur Beprobung bereit (Tab. 10). Für eine belastbare Aussage sind diese Materialien nicht validiert. Der Abscheidegrad der verschiedenen Materialien lag nicht vor, sodass kein Maß für die unterschiedliche Filterkapazität vorlag. Zudem fand sich keine Korrelation zwischen der Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe vor Ort und dem Volumenstrom der zugehörigen Be- und Entlüftungsanlage (Abb. 32). Weiterhin gestaltete es sich schwierig, eine homogene Probe zu entnehmen, die die gesamte Filterfläche repräsentieren sollte, wenn beispielsweise Taschenfilter mit mehreren Quadratmetern vorlagen.

Eine qualitative Aussage kann dennoch getroffen werden. Dafür reicht der Nachweis eines Stoffs aus. Für quantitative Aussagen sind die Ergebnisse jedoch zu inhomogen. Die Betrachtung der Wirkstoffe erfolgt daher ohne Referenz zu den nachgewiesenen Mengen.

Auffallend ist auch, dass die Standortbelastung kein klares Profil zeigt (Abb. 29). Standorte sowohl mit 31 als auch mit 13, 9, 6 und 4 Wirkstoffen kommen jeweils zweimal in ganz Deutschland vor. Lediglich an drei Standorten wurden je zwei Wirkstoffe nachgewiesen.

Tab. 10: Anlagendaten zu den analysierten Filtermatten

Standort Nr.	Standort Nr. Alt	Volumenstrom [m³/h]	Typenbezeichnung Anlage
801	779	149	WOLF CWL 300 EXCELLENT 4/0 L
802	799	211	MAICO WS 320 KBET
803	806	250	Vallox KWL digit
804	807	150	Helios KWL EC300 Pro
805	824	300	Stiebel Eltron LWZ 200 R
806	838	700	TSN-LH-700
807	876	190	Stiebel Eltron LWZ 403 SOL
808	880	150	Brink Renovent HR
809	886	2700	Rosenberg Airbox S40-10Q
810	924	9000	Kompressor Anlage
811	954	15	Meltem M-WRG-S
812	963	9500	Rixner RLT Anlage Labor Typ: Vario Cond Rixnerline BG12
814		56	inVENTer Lüftungssystem iV14
815		120	Helios KWLC 350-LEH
816		265,4	Proxon Frischluft-Wärmetechnik
817		950	Helios KWL EC 1800 Pro SS mit Luft-Erdwärme-Tauscher
818		200	NIBE-Fighter 640P
819		250	Swentibold EuroAir 250
820		175	Wärmerückgewinnungsgerät ATMOS 175 DC (Paul)
824		4700	Systemair TIME-15

Tab. 11: Übersicht über die Ergebnisse aus den Filtermatten

Anzahl der Proben	20
Nach ASU L 00.00-115 nachgewiesene Wirkstoffe	63
Glyphosat, AMPA und Glufosinat	2
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe	65
abzüglich PCB nach ASU L 00.00-115	0
abzüglich Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	-3
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	62
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort nach ASU L 00.00-115	1–36
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	1–34
Wertetabelle	Tab. 33

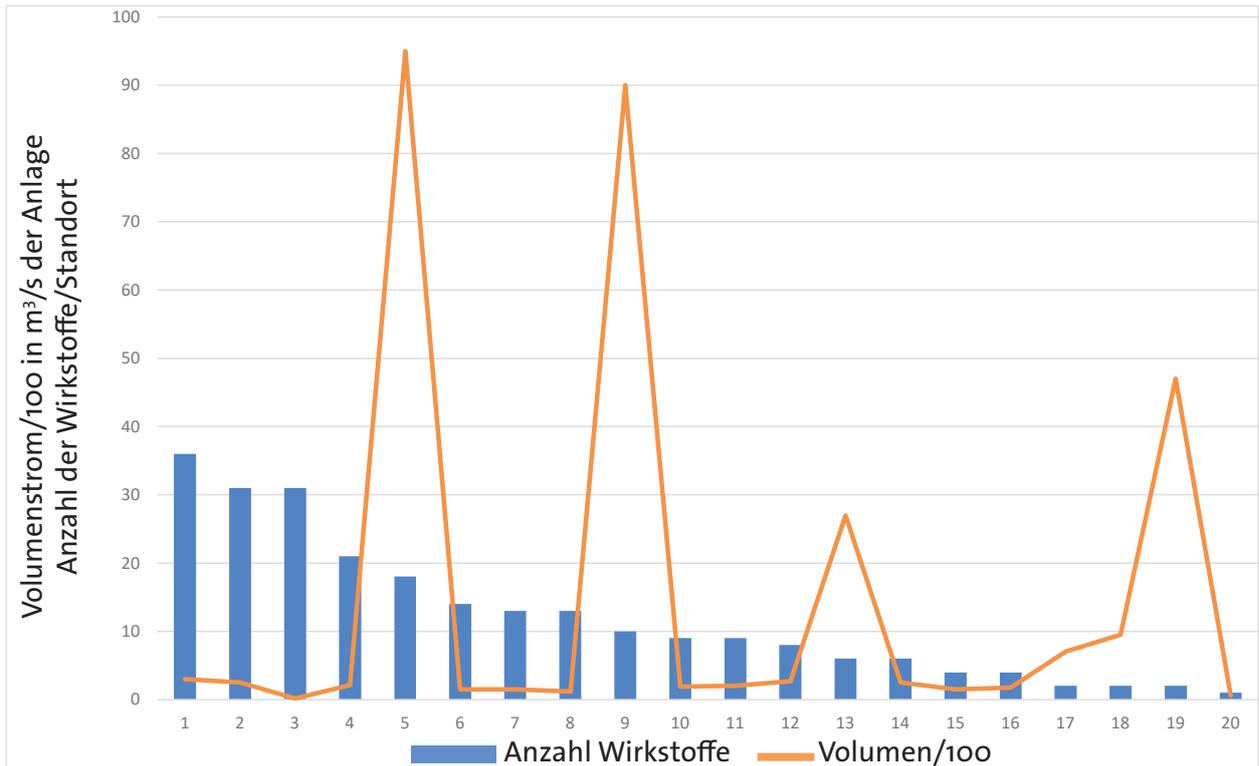


Abb. 32: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe pro Standort in den Filtermatten und Volumenstrom der dazugehörigen Be- und Entlüftungsanlage. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

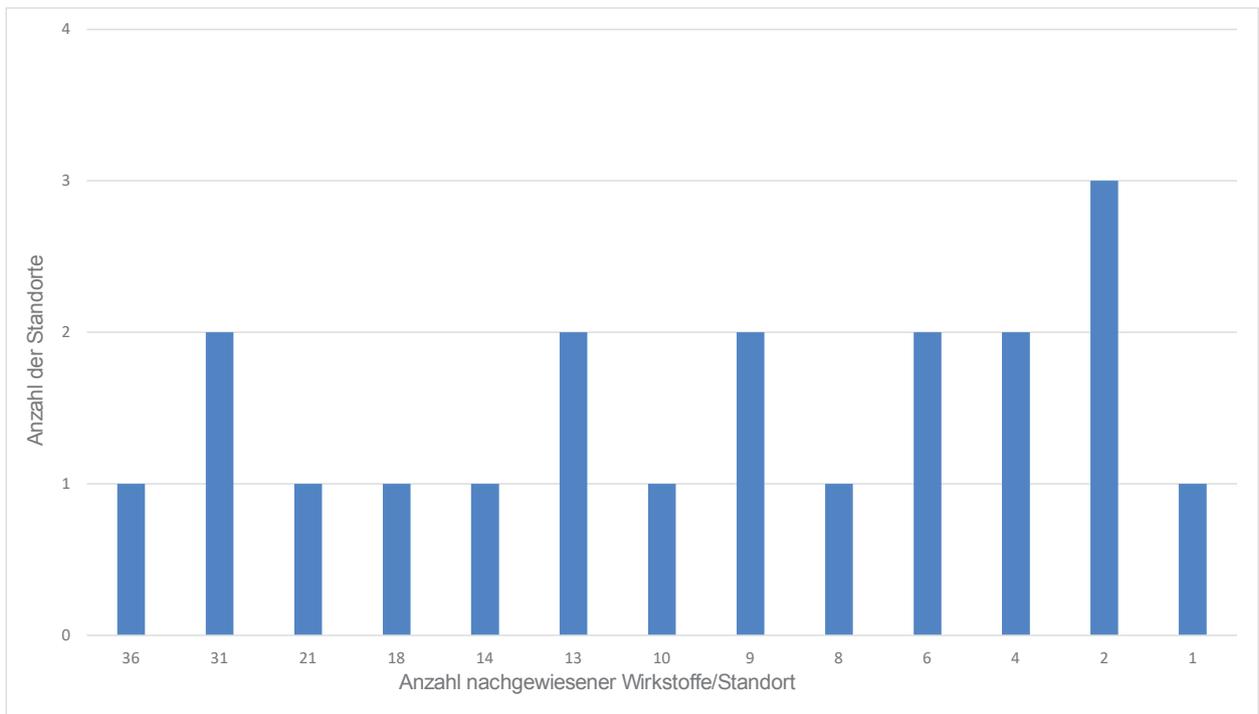


Abb. 33: Standortbelastung der Filtermatten.
 N = 20; 1–36 Wirkstoffe je Standort von 65 nachgewiesenen Wirkstoffen.

Die Zusammensetzung der Wirkstoffe in den Filtermatten unterscheidet sich deutlich von den Ergebnissen der Passivsammler. Es finden sich weniger Altstoffe (Tab. 12). So sind keine PCB und nur eine Form von DDT zu finden.

Gemeinsam mit den Passivsammlern treten bei den häufigsten Wirkstoffen in den Filtermatten lediglich Glyphosat, Tebuconazol, Folpet sowie der Metabolit AMPA auf.

Die Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen sind darauf ausgelegt, Stäube und Pollen aus der Luft zu filtern. Es ist daher wahrscheinlich, dass die gemessenen Werte Wirkstoffe erfassen, die über Bodenpartikel transportiert werden. Damit wird eine andere Gruppe von Wirkstoffen erfasst.

Tab. 12: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Filtermatten nach Wirkstoffklassen, Zulassung, Anzahl der Standorte des Vorkommens. Wirkstoffklasse (WK), Zulassung und BVL Code nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Wirkstoff	WK	Zulassung	Bemerkung	BVL Code	Gefunden in Anzahl/Standorte (Gesamt N=20)
Glyphosat	H	zugelassen		0405	20
AMPA	Met				17
Boscalid	F	zugelassen		1023	13
Anthrachinon	P	nicht zugelassen	seit 2009		9
Fenpropidin	F	zugelassen		0881	9
Azoxystrobin	F	zugelassen		0902	8
Tebuconazol	F	zugelassen		0784	8
Ametoctradin	F	zugelassen		1152	7
Dicloran	F	nicht zugelassen	seit 2008		7
Epoxiconazol	F	zugelassen		0875	7
Folpet	F	zugelassen		0091	7
Mandipropamid	F	zugelassen		1085	7

Glyphosat findet sich auch hier in allen Proben. Es ist außerdem das Pestizid, von dem die größte Menge in den Filtermatten nachgewiesen werden konnte.

Neben Glyphosat findet sich noch das Pestizid Boscalid in größeren Mengen. Boscalid ist auch bei den Passivsammlern ermittelt worden. Dort erreicht es aber nicht die Anzahl von 30 Prozent der Standorte. Das betrifft auch Tebuconazol, Azoxystrobin, Folpet, Ametoctradin, Epoxiconazol und Mandipropamid. In den Passivsammlern konnten Anthrachinon, Fenpropidin und das nicht mehr zugelassene Dicloran nicht nachgewiesen werden. Dicloran konnte nur in den Filtermatten nachgewiesen werden.

Die Wirkstoffe Chlorthalonil und Pendimethalin, die in den Passivsammler-Ergebnissen dominierten, fallen in den Filtermatten-Daten nicht auf und finden sich nur an 5 Standorten. Kreuger zeigt durch die Messung mit Aktivsammlern und Kartuschen mit Glasfiberfilter, PUF-Matrix, XAD-Matrix und nochmals einer PUF-Matrix, dass Pendimethalin in der Gasphase und über Bodenpartikel zu etwa gleichen Teilen transportiert wird (Kreuger und Lindström 2019). Daher erscheint das Ergebnis mit den Passivsammlern und Filtermatten plausibel. Chlorthalonil wurde im schwedischen Monitoring-Programm nicht erfasst, da es dort seit 1990 nicht mehr zugelassen ist.

5.3.1 Räumliche Verteilung der Werte aus den Filtermatten

In Abb. 34 ist die am Standort nachgewiesene Anzahl der Wirkstoffe dargestellt. Weiterhin sind die Standorte nach ihrer Lage gekennzeichnet. Wie bereits in den Passivsammlern werden in Standorten innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten Wirkstoffe nachgewiesen. Die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe erscheint davon unabhängig.

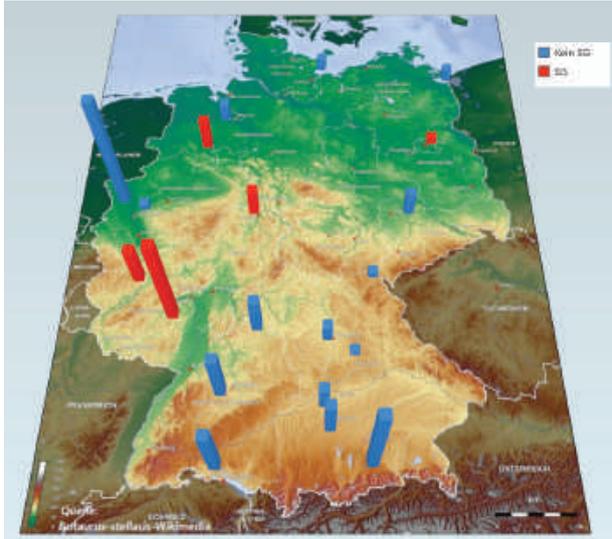


Abb. 34:
Anzahl der in den Filtermatten nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (1–36 Wirkstoffe), Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet (blau) und Lage im Schutzgebiet (rot). Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.3.2 Betrachtung einzelner Wirkstoffe

Die Betrachtung der häufigsten Wirkstoffe sind in den nachfolgenden Abbildungen erläutert. Während Glyphosat an allen Standorten nachgewiesen werden konnte, wurde AMPA an 3 Standorten nicht detektiert (Abb. 35).

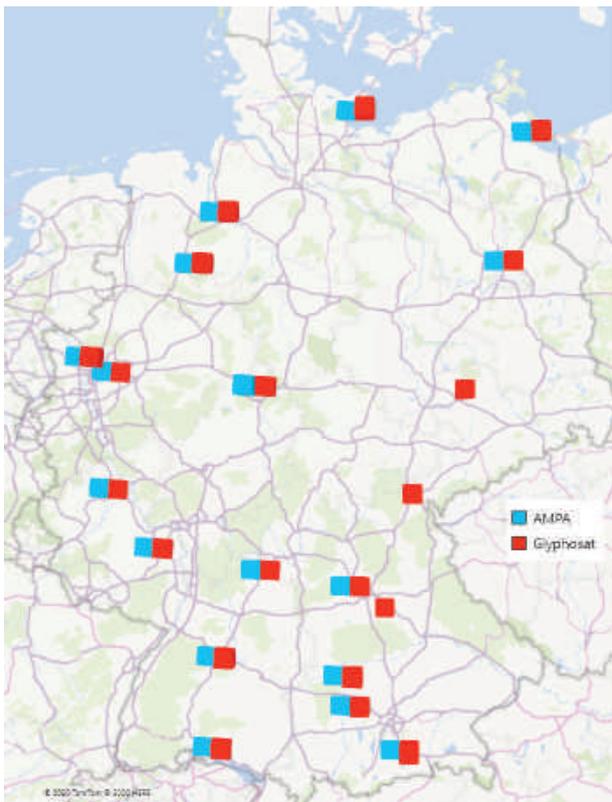


Abb. 35:
Die Verteilung der Standorte, in denen Glyphosat (20) und AMPA (17) in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde. Anzahl der Standorte, an denen der Wirkstoff nachgewiesen wurde, in Klammern () nach der Bezeichnung des Stoffs und in Tab. 12. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

In Abb. 36 sind die Standorte der Filtermatten wiedergegeben, in denen die entsprechenden Wirkstoffe nachgewiesen wurden.

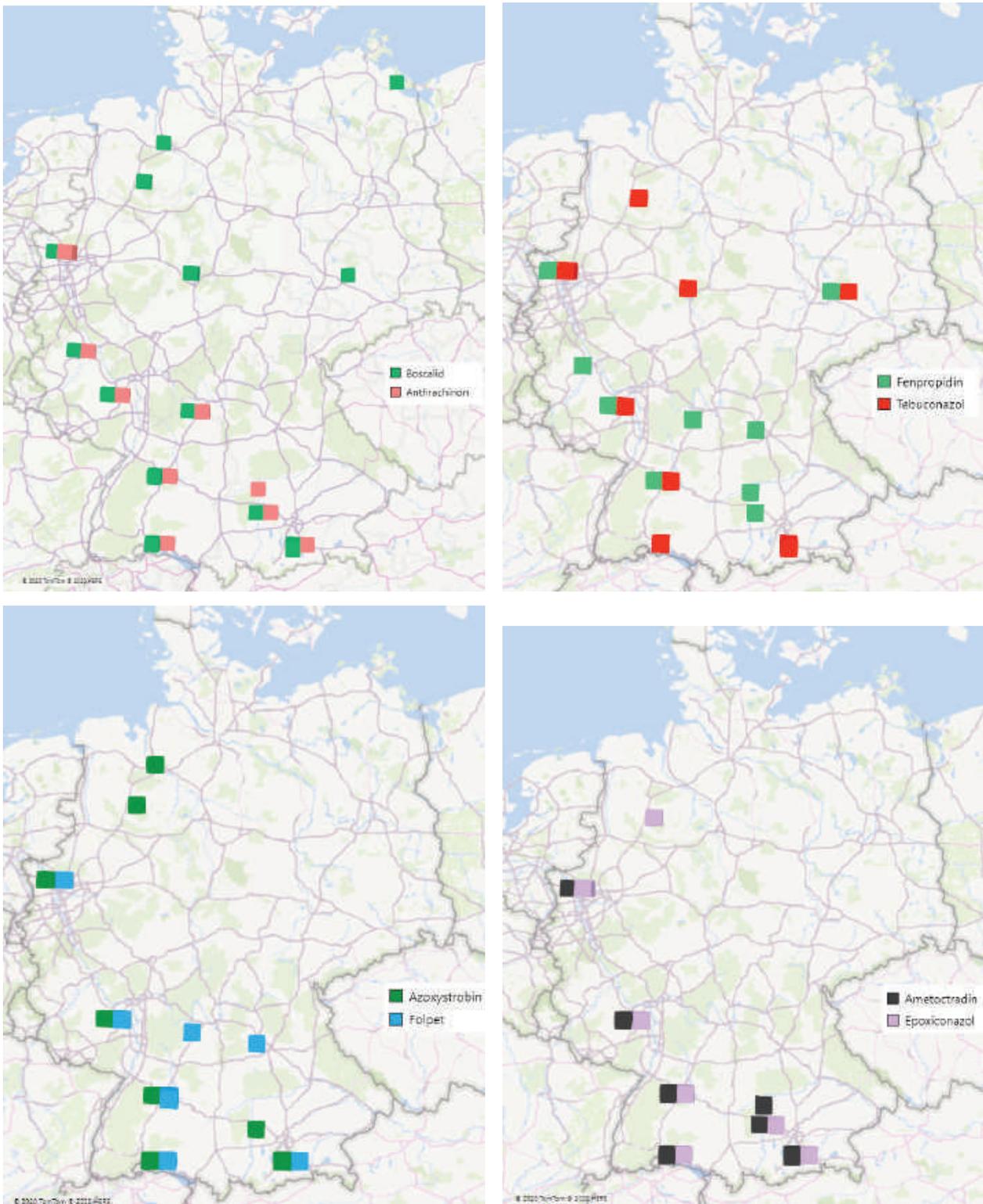


Abb. 36: Verteilung der Standorte, in denen Boscailid (13), Anthrachinon (9), Fenpropidin (9), Tebuconazol (8), Azoxystrobin (8), Folpet (7), Ametoctradin (7), Epoxiconazol (7), Dicloran (7) und Mandipropamid (7) in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde. Anzahl der Standorte, an denen der Wirkstoff nachgewiesen wurde, in Klammern () nach der Bezeichnung des Stoffs (Tab. 12). Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

Interessant ist die Verbreitung von Dicloran, das nur in den Filtermatten nachweisbar war. Die Werte waren sehr gering; der Pestizid-Wirkstoff ist aber seit 2008 in Deutschland nicht mehr zugelassen.

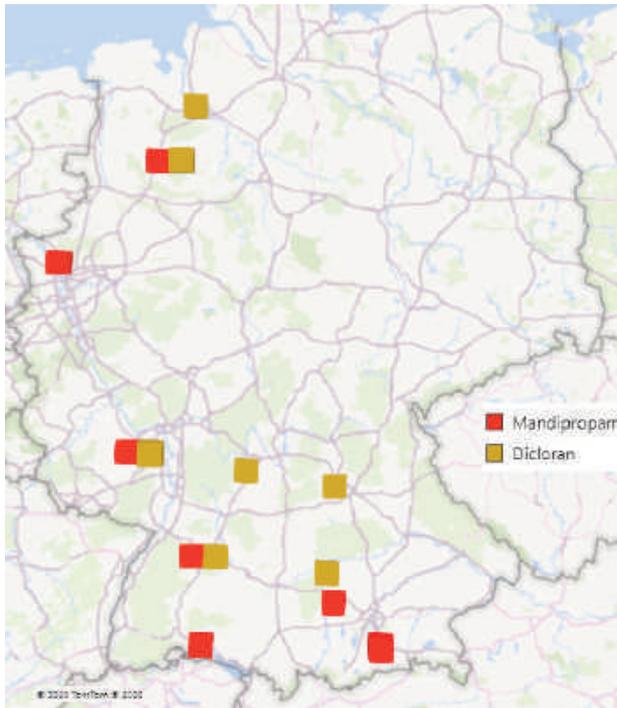


Abb. 37:
Verteilung der Standorte, in denen Dicloran und Mandipropamid in den Filtermatten der Be- und Entlüftungsanlagen nachgewiesen wurde. Anzahl der Standorte, an denen der Wirkstoff nachgewiesen wurde, s. Tab. 12. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.4 Das Bienenbrot

Für das Medium Bienenbrot war die Probenahme im Jahr 2019 schwierig. Die Imker wiesen darauf hin, dass wegen des trockenen Sommers im Herbst nur selten noch auf eingelagerten Pollen zurückgegriffen werden konnte. Das war einer der Gründe, warum von ursprünglich 52 angedachten Probenstandorten nur 41 eingereicht wurden. Zum Teil war nur wenig Pollenmaterial vorhanden.

Dennoch wurde auch im Bienenbrot eine große Anzahl an Wirkstoffen nachgewiesen. In den 41 eingereichten Proben fanden sich 54 Wirkstoffe. Es sind jedoch nicht alle Standorte belastet.

Tab. 13: Übersicht über die Ergebnisse aus den Bienenbrot-Proben

Anzahl der Proben	41
Nach ASU L 00.00-115 nachgewiesene Wirkstoffe	54
Glyphosat, AMPA und Glufosinat	0
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe	54
abzüglich PCB nach ASU L 00.00-115	0
abzüglich Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	-6
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	48
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort nach ASU L 00.00-115	0–12
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	0–12
Wertetabelle	Tab. 34

Im Gegensatz zu den Daten der Passivsammler und der Filtermatten sind 5 Standorte komplett ohne Befund. Die höchste Anzahl an Wirkstoffen liegt beim Bienenbrot bei 12 Wirkstoffen und ist damit deutlich niedriger als bei den Passivsammlern (6–33 Wirkstoffe) und den Filtermatten (1–36 Wirkstoffe). Insgesamt sind die Proben weniger belastet als die Proben aus Passivsammlern (Tab. 9) und aus Filtermatten. In Tab. 15 sind sowohl das Maximum als auch das Minimum und der Median der nachgewiesenen Wirkstoffe gelistet. Alle Mengenangaben erfolgen in $\mu\text{g}/\text{kg}$, da diese Angabe die Werte mit den Daten aus dem Deutschen Bienenmonitoring vergleichbar macht. Sie ist außerdem gleichzusetzen mit der Angabe ng/g der Proben aus dem Rindenmonitoring.

Bei den Ergebnissen für die Passivsammler und die Filtermatten wurden die Wirkstoffe gesondert betrachtet, die an über 33 Prozent der Standorte vorkamen. Mit diesem Kriterium könnte im Bienenbrot lediglich Anthrachinon (an 36,6 Prozent der Standorte), das bereits als Wirkstoff aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen gekennzeichnet wurde, berücksichtigt werden. Es ist der häufigste nachgewiesene Wirkstoff (s. Abschnitt 5.2). Pendimethalin, das an zweiter Stelle folgt, liegt nur zu 29,6 Prozent (= 12 Standorte) an den Standorten vor. Im Bienenbrot kommen keine PCB vor.

Daher erschien es sinnvoll, das Spektrum der häufig vorkommenden Wirkstoffe zu ändern. In den Bienenbrot-Proben werden daher Wirkstoffe betrachtet, die an mindestens 15 Prozent der Standorte zu finden sind.

Die nachgewiesenen Wirkstoffe unterscheiden sich nochmals deutlich von denen, die in den Passivsammlern und den Filtermatten vorkommen.

Nach Anthrachinon und Pendimethalin finden wir das Neonicotinoid Thiacloprid an prominenter Stelle sowie tau-Fluvalinat, Icaridin, Prosulfocarb, Terbutylazin und Piperonylbutoxid (PBO). Tau-Fluvalinat ist dabei ausschließlich in Bienenbrot nachgewiesen worden. Da es zur Bekämpfung der Varroamilbe (Wallner o.J.) eingesetzt wird, ist der Nachweis hier zu erwarten. Auch das Repellent Icaridin könnte von Imkern direkt einbracht werden (Goebel und Scholz 2006).

Pendimethalin, Prosulfocarb und Terbutylazin, die auch in der PUF-Matrix des Passivsammlers prominent vertreten sind, deuten darauf hin, dass vermehrt volatile Wirkstoffe im Bienenbrot auftreten. Diese Vermutung wird auch dadurch belegt, dass Glyphosat und AMPA im Bienenbrot in keiner Probe nachgewiesen wurde.

In den Passivsammlern wurde die PEF-Matrix als Sammler für Partikel eingesetzt und dann auf Glyphosat hin untersucht, während die PUF-Matrix volatile Stoffe bindet.

Nach Rücksprache mit Prof. von der Ohe vom Institut für Bienenforschung kann in den Pollenhöschchen, die eingelagert werden, keine Verschmutzung durch Partikel festgestellt werden. Allerdings erlaubt die mikroskopische Analyse nur eine Auflösung auf bis zu $5\ \mu\text{m}$ (Prof. Werner von der Ohe, pers. Kommunikation).

Tab. 14: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen im Bienenbrot nach Wirkstoffklassen, Zulassung, Anzahl der Standorte des Vorkommens. Wirkstoffklasse (WK), Zulassung und BVL Code nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Wirkstoff	WK	Zulassung	BVL Code	Vorkommen an Standorten
Anthrachinon	P	nicht zugelassen		15
Pendimethalin	H	zugelassen	0404	12
Thiacloprid	I, A	zugelassen	0982	10
tau-Fluvalinat	I, A	zugelassen	0894	9
Prosulfocarb	H	zugelassen	0763	8
Icaridin	I, P	zugelassen		8
Terbuthylazin	H	zugelassen	0316	8
Piperonylbutoxid (PBO) Syn		zugelassen	0163	7

Tab. 15: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen im Bienenbrot mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median. Der Median gibt den Wert an, an dem 50 Prozent der Werte höher bzw. niedriger sind.

Wirkstoff	Vorkommen an Standorten	Gesamtmenge aus allen Proben in ug (N=41)	Maximum in ug/kg	Minimum in ug/m ²	Median in ug/m ²
Anthrachinon	15	87,8	11,5	0,0	0,0
Pendimethalin	12	1.425,2	1.392,5	0,0	0,0
Thiacloprid	10	64,6	19,5	0,0	0,0
tau-Fluvalinat	9	239,3	74,5	0,0	0,0
Prosulfocarb	8	54,4	33,1	0,0	0,0
Icaridin	8	46,0	9,4	0,0	0,0
Terbuthylazin	8	33,2	16,2	0,0	0,0
PBO	7	29,2	8,1	0,0	0,0

In den Bienenbrot-Proben (Tab. 15) tauchen prominent Stoffe auf, die nicht-landwirtschaftlichen Quellen zuzuordnen sind. Dazu gehören tau-Fluvalinat, Icaridin und PBO.

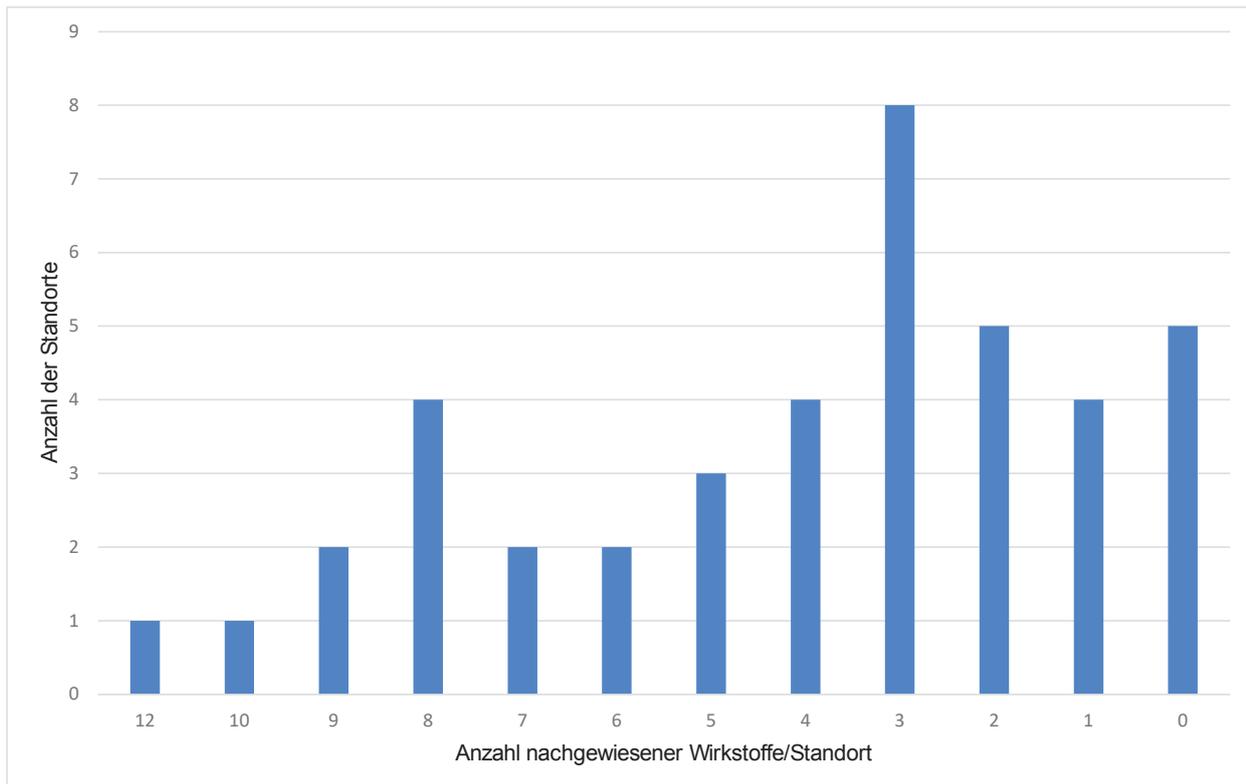


Abb. 38: Standortbelastung im Bienenbrot.

$N = 41$; 0–12 Wirkstoffe je Standort von 54 nachgewiesenen Wirkstoffen.

Die Bedeutung der Wirkstoffe, die an 15 Prozent der Standorte im Bienenbrot nachgewiesen wurden, ist in Abb. 39 wiedergegeben. Wie oft ein Wirkstoff zu finden ist, stellen die blauen Balken dar. Die darunterliegenden farbigen Säulen zeigen die Bandbreite der Werte. Die Werte selbst sind als kleine blaue Rauten in den Säulen eingetragen.

Generell sind die Werte nicht sehr hoch. Größtenteils liegen sie im Bereich um $10 \mu\text{g}/\text{kg}$. Für Pendimethalin wird einmalig als Maximalwert $1392 \mu\text{g}/\text{kg}$ gemessen (s. Abb. 39). Es ist anzunehmen, dass es hier zu einer Pestizidausbringung im Sammelbereich des Volks gekommen ist. Ein derartig einmaliger Anstieg der Werte ist ebenfalls bei Boscalid mit $496,6 \mu\text{g}/\text{kg}$, Dimoxystrobin mit $457,3 \mu\text{g}/\text{kg}$; Fludioxonil mit $232,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ und Cyprodinil mit $208,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ zu beobachten.

Im Allgemeinen sind die Ergebnisse mit den Auswertungen des deutschen Bienenmonitorings vergleichbar, aber sie erreichen nicht die gleiche Sensitivität (Universität Hohenheim et al. 2018). Unter 130 Proben sind dort 10 ohne Befund, während bei den vorliegenden Proben 5 von 41 keine Wirkstoffe aufweisen. Ein Grund dafür mag sein, dass ein großer Teil der teilnehmenden Imker aus dem Biobereich kommt. Auch die durchschnittliche Anzahl an nachgewiesenen Wirkstoffen je Probe ist beim DeBiMo (Deutsches Bienenmonitoring) mit einem Median von 5 deutlich höher als der Median unserer Proben mit 3.

Ein Grund dafür mag sein, dass die vorliegenden Proben ein Jahresergebnis darstellen, während das Deutsche Bienenmonitoring auf Frühjahrs- und Sommerproben zurückgreifen kann.

Dennoch gibt es viele Ähnlichkeiten: Thiacloprid (in 48,5 Prozent der Proben) ist auch im Bienenmonitoring ein verbreitet nachgewiesener Wirkstoff. Boscalid und Azoxyastrobin finden sich auch in den hier untersuchten Proben in bedeutenden Mengen (Tab. 34). Pendimethalin findet sich im DeBiMo in 7 von 130 Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze. Anthrachinon lediglich in 3 Proben. Auf Glyphosat und AMPA hin wurde nicht untersucht.

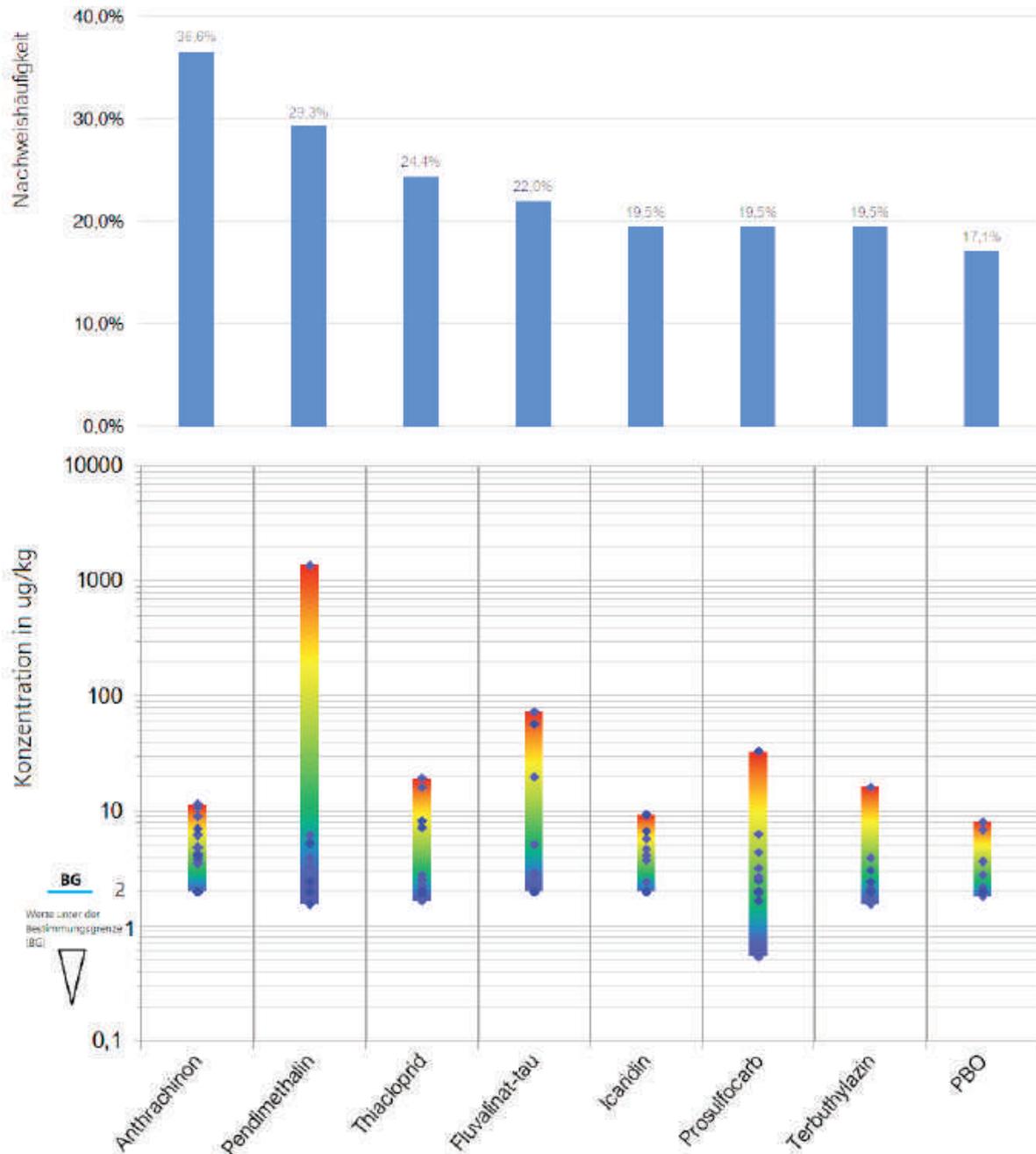


Abb. 39: Die häufigsten Wirkstoffe im Bienenbrot; 41 Standortproben (N = 41).

- Es sind alle Wirkstoffe angegeben, die an mehr als 15 Prozent der Standorte (= 7 Sto.) nachgewiesen wurden. (Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)).
- Die blauen Balken zeigen das Vorkommen der Wirkstoffe an den gesamten Standorten. Nachweishäufigkeit = Anzahl der Vorkommen eines Wirkstoffs an allen Standorten/Anzahl aller Standorte*100; sie ist als Zahlenwert über den blauen Balken angegeben.
- Die Farbbalken geben die Streubreite der Werte an.
- Die blauen Rauten (◆) zeigen die Einzelwerte der Standortproben in µg/kg.
- (Werte Tab. 34 im Anhang)
- BG: Werte unter Bestimmungsgrenze.

5.4.1 Räumliche Verteilung der Werte

In Abb. 40 sind alle Standorte mit Bienenbrot-Proben wiedergegeben. Dargestellt ist die Anzahl der am Standort nachgewiesenen Wirkstoffe. Außerdem sind die Standorte nach Lage innerhalb eines Schutzgebiets bzw. Lage außerhalb eines Schutzgebiets gekennzeichnet. Städte sind gelb gekennzeichnet.

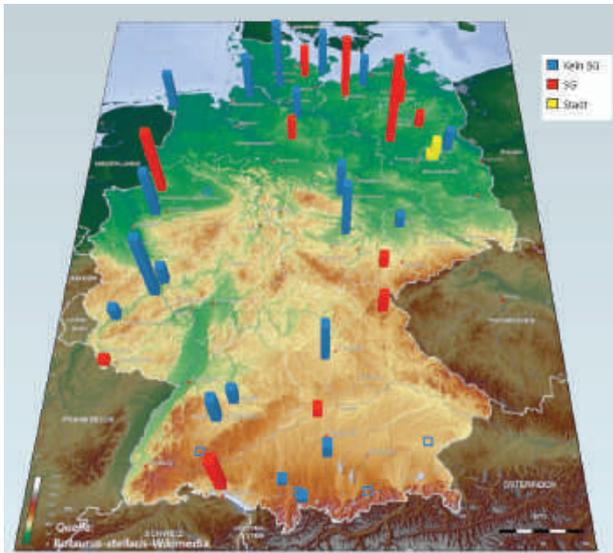


Abb. 40:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (0–12 Wirkstoffe) im Bienenbrot; Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet (blau), Lage im Schutzgebiet (rot), Stadt (gelb).
Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Die Darstellung in Abb. 41 zeigt ausschließlich die Standorte mit einer Belastung von 6 bis 12 Wirkstoffen, während in Abb. 42 die Standorte mit einer geringen Belastung von 0 bis 5 Wirkstoffen aufgezeichnet sind. Die Lage in einem Schutzgebiet ist auch hier kein Kriterium, das mit einer geringen Belastung an Wirkstoffen verbunden ist.

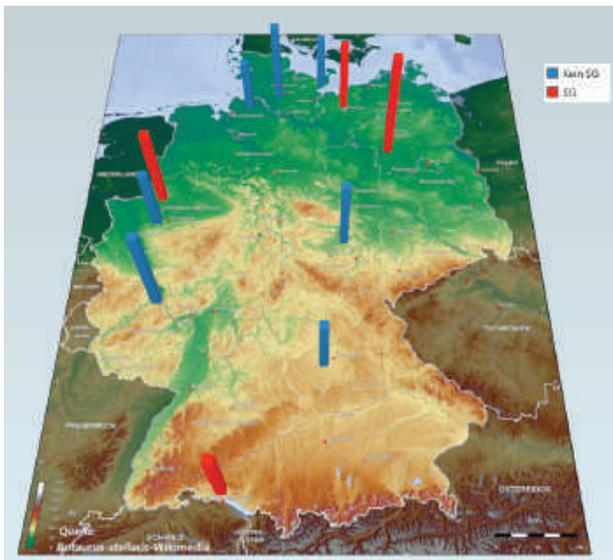


Abb. 41:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (6–12 Wirkstoffe) im Bienenbrot; Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet (blau), Lage im Schutzgebiet (rot), Stadt (gelb).
Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

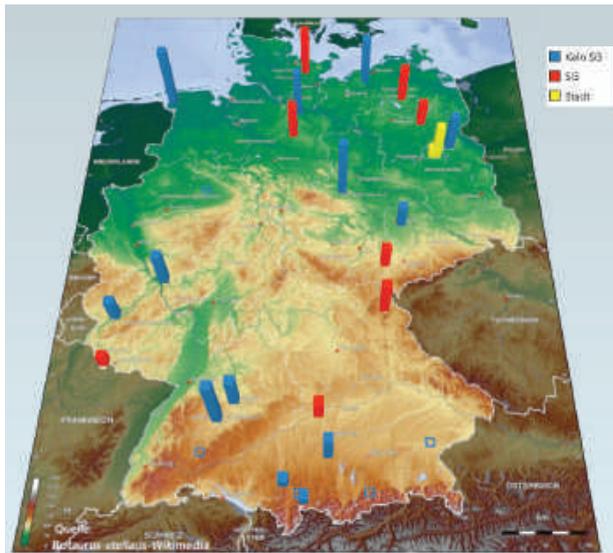


Abb. 42:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort (0–5 Wirkstoffe) im Bienenbrot; Standorte gegliedert nach Lage nicht im Schutzgebiet (blau), Lage im Schutzgebiet (rot), Stadt (gelb). Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

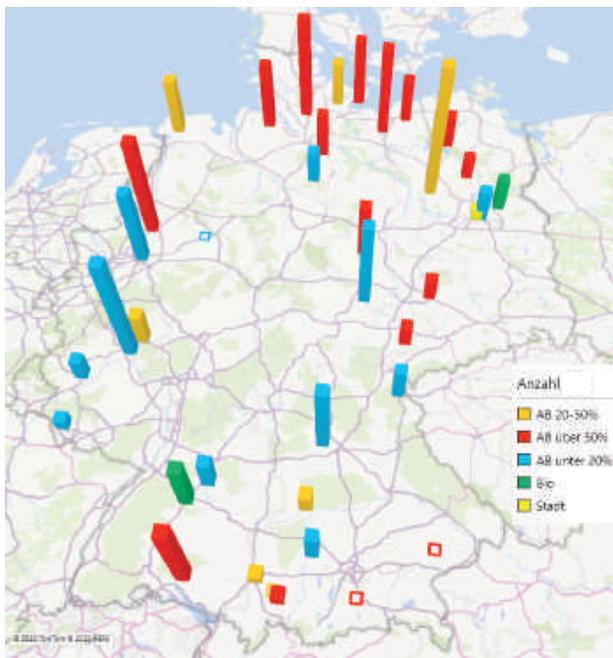


Abb. 43:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort im Bienenbrot; gekennzeichnet durch unterschiedliche Formen der Landnutzung (0–12 Wirkstoffe je Standort)- Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe wieder.
AB – Ackerbau, Bio – Biobetrieb, Stadt
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.4.2 Betrachtung einzelner Werte

Für die auffälligsten Wirkstoffe Anthrachinon, Pendimethalin, Thiacloprid, tau-Fluvalinat, Icaridin, Prosulfocarb, Terbutylazin und Piperonylbutoxid (PBO = Synergist) wurde eine Übersicht mit den betroffenen Standorten erstellt (Abb. 44 und 45).

Die weite Verbreitung von Pendimethalin in den Bienenbrot-Proben spricht für die Bedeutung volatiler Wirkstoffe in diesen Proben. Das gemessene Vorkommen wird jedoch vom Wert einer Einzelprobe von 1392 µg/kg dominiert. Um die Verteilung unterhalb dieser Einzelbelastung zu beurteilen, wurde für Pendimethalin eine zweite Grafik erstellt (Abb. 44), die den hohen Einzelwert ausschließt.

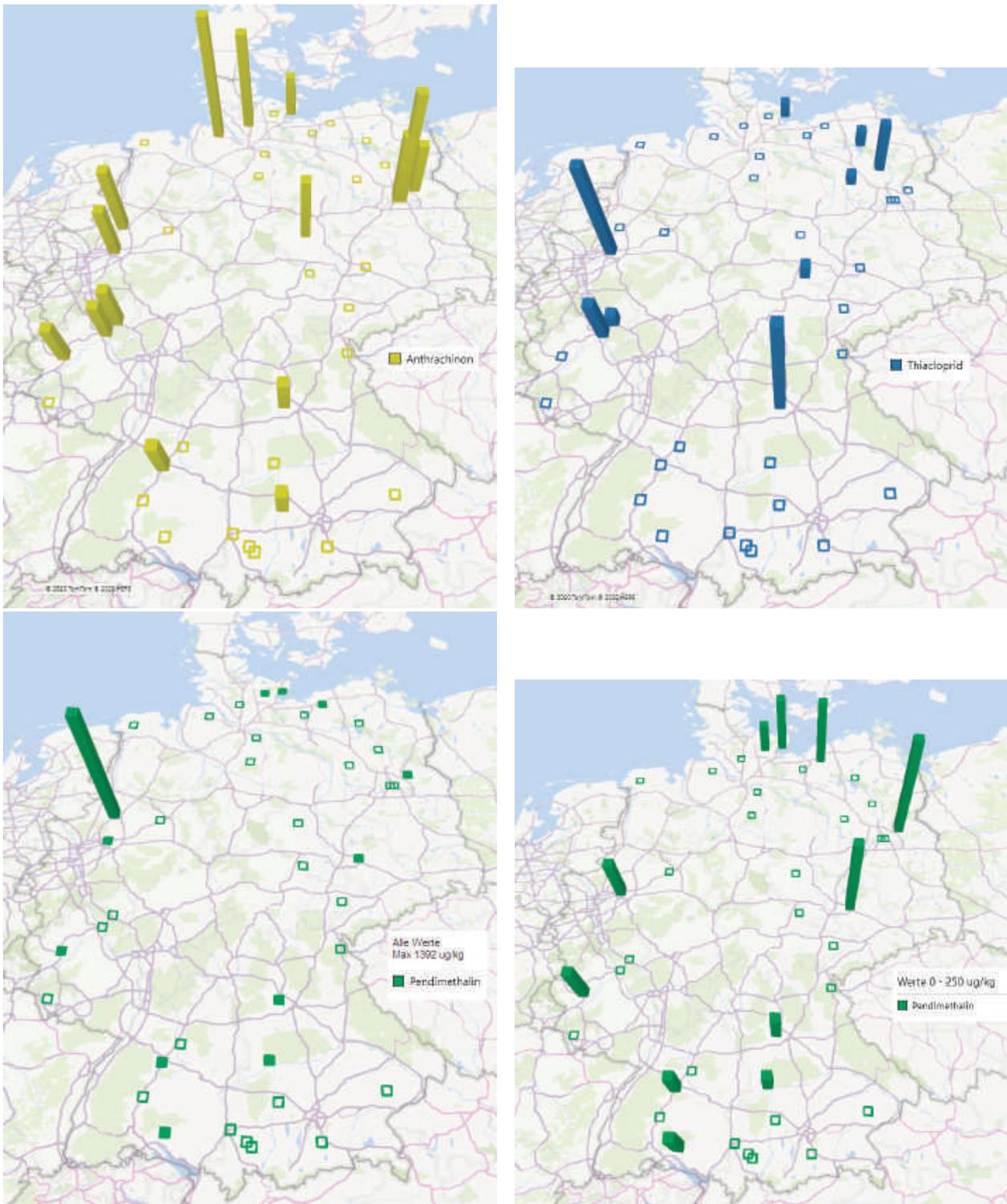


Abb. 44: Die gemessenen Werte für Anthrachinon, Pendimethalin und Thiacloprid im Bienenbrot. Die Höhe des Balkens gibt das Maximum der nachgewiesenen Werte wieder (s. Tab. 15) und ordnet niedrigere Werte entsprechend. Die Grafik für Pendimethalin rechts gibt die Werte unter 6,5 µg/kg an. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

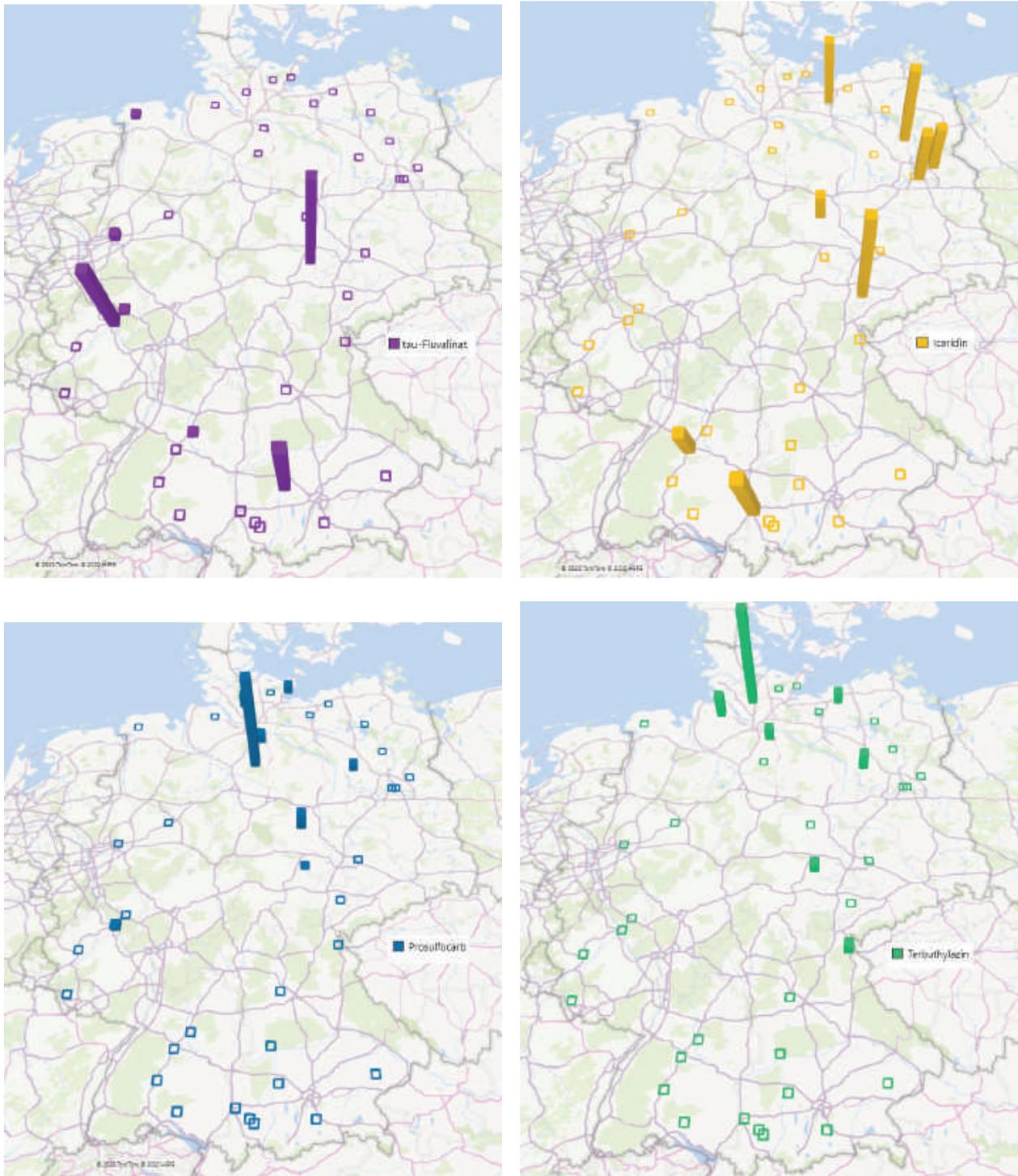


Abb. 45: Die gemessenen Werte für tau-Fluvalinat, Icaridin, Prosulfocarb und Terbutylazin im Bienenbrot.
 Die Höhe des Balkens gibt das Maximum der nachgewiesenen Werte wieder (s. Tab. 15) und ordnet niedrigere Werte entsprechend ein.
 Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Prosulfocarb ist wie Terbutylazin und Pendimethalin auch in Bienenbrot-Proben vertreten. Diese Wirkstoffe sind auch in der PUF-Matrix der Passivsammler verbreitet aufgetreten.



Abb. 46:
 Die gemessenen Werte für Piperonylbutoxid (PBO) im Bienenbrot.
 Die Höhe des Balkens gibt das Maximum der nachgewiesenen Werte wieder (s. Tab. 15) und ordnet niedrigere Werte entsprechend ein.
 Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.5 Die Proben mit Hilfe des Luftgüte-Rindenmonitorings

Im Jahr 2019 wurden an ausgesuchten Standorten zusätzlich zu den von 2014 bis 2018 untersuchten Rindenproben nochmals 6 Proben genommen. In Abb. 47 ist die Anzahl der Wirkstoffe für alle Standorte dargestellt. Die neuen Standorte wurden dabei gelb gekennzeichnet.

Insgesamt wurden an allen Standorten 99 Wirkstoffe und 6 PCB nachgewiesen. Damit bleiben die Proben aus dem Luftgüte-Rindenmonitoring (LGRM, s. Glossar) das Sammelmedium mit dem vielfältigsten Wirkstoff-Nachweis. Bis zu 26 Wirkstoffe wurden je Standort nachgewiesen.

Tab. 16: Übersicht über die Ergebnisse aus den Rinden-Proben

Anzahl der Proben	53
Nach ASU L 00.00-115 nachgewiesene Wirkstoffe	103
Glyphosat, AMPA und Glufosinat	2
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe	105
abzüglich PCB nach ASU L 00.00-115	-6
abzüglich Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	-5
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	94
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort nach ASU L 00.00-115	1–26
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	1–26
Wertetabelle	Tab. 35

Tab. 17: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Rinden nach Wirkstoffklassen, Zulassung, Anzahl der Standorte des Vorkommens. Wirkstoffklasse (WK), Zulassung und BVL Code nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Wirkstoff	WK	Zulassung	BVL Code	Gefunden in Anzahl/Standorte (Gesamt N=53)
Pendimethalin	H	zugelassen	0404	46
DDT Sum	I, Met	nicht zugelassen		35
Prothioconazol-desthio	Met			34
Prosulfocarb	H	zugelassen	0763	33
Glyphosat	H	zugelassen	0405	28
HCH-gamma (Lindan)	I	nicht zugelassen		26
Terbutylazin	H	zugelassen	0316	23
Metolachlor	H	zugelassen	0963	21
Boscalid	F	zugelassen	1023	18

Tab. 18: Die Wirkstoffe mit dem größten Vorkommen in den Rinden mit Vorkommen an Standorten, Gesamtmenge, Maximum, Minimum und Median. Der Median gibt den Wert an, an dem 50 % der Werte höher bzw. niedriger sind.

Wirkstoff	Vorkommen an Standorten	Gesamtmenge			Median in ng/g
		aus allen Proben in ng (N=53)	Maximum in ng/g	Minimum in ng/g	
Pendimethalin	46	1.384,4	177,8	0,0	18,0
DDT Sum	35	1.619,4	168,0	0,0	12,9
Prothioconazol-desthio	34	880,7	122,4	0,0	7,0
Prosulfocarb	33	440,7	119,0	0,0	3,0
Glyphosat	28	498,4	167,0	0,0	1,0
HCH-gamma	26	251,5	24,0	0,0	0,0
Terbutylazin	23	780,8	222,5	0,0	0,0
Metolachlor	21	665,6	114,0	0,0	0,0
Boscalid	18	317,9	76,0	0,0	0,0

Pendimethalin ist das Pestizid mit der größten Verbreitung. Es folgen die Summe der DDT, Prothioconazol-desthio, Prosulfocarb, Glyphosat, HCH-gamma (Lindan), Terbutylazin, Metolachlor und Boscalid.

5.5.1 Räumliche Betrachtung der Werte

In Abb. 47 ist die Anzahl der Wirkstoffe an den untersuchten Standorten für das Rindenmonitoring angegeben.

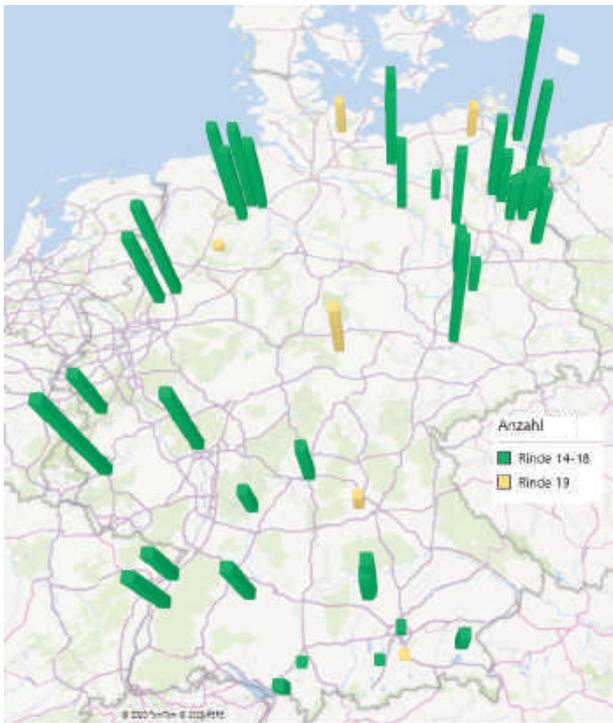


Abb. 47:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort für das Rindenmonitoring (1–27 Wirkstoffe); Standorte gegliedert nach Proben vor 2019 (grün), Proben 2019 (gelb). An einigen Standorten wurde in mehreren Jahren gemessen; es ist der maximale Wert der Proben am Standort wiedergegeben. Die Höhe des Balkens repräsentiert die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27).

5.6 Die Erfassung von Wirkstoffen durch die unterschiedlichen Methoden

Die folgenden Tabellen zeigen, wie gefiltert wird und was die unterschiedlichen Sammelmedien aus der Luft herausfiltern. Hierzu wird auch auf die Ergebnisse des Rindenmonitorings von 2014 bis 2018 zurückgegriffen (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a).

Tab. 19: Übersicht über die Ergebnisse aus allen untersuchten Medien (Passivsammler, Filtermatten, Bienenbrot und Rindenmonitoring (2014 bis 2018 sowie 2019))

Anzahl der Proben	163
Nach ASU L 00.00-115 nachgewiesene Wirkstoffe	150
Glyphosat, AMPA und Glufosinat	2
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe	152
abzüglich PCB nach ASU L 00.00-115	-6
abzüglich Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	-8
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	138
Anzahl aller nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort nach ASU L 00.00-115 sowie PEF-Analytik	0–36
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort, bereinigt um PCB und Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen	0–34
Wertetabelle	Tab. 30

Insgesamt konnten 152 Wirkstoffe nachgewiesen werden (Tab. 27). Darunter befinden sich 6 PCB sowie 8 Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen. Um diese Wirkstoffe bereinigt, wurden somit 138 Wirkstoffe, deren Ursprung hauptsächlich in der Landwirtschaft liegt, nachgewiesen (Tab. 38). An den Standorten wurden 0 bis 36 Wirkstoffe nachgewiesen. Lediglich beim Bienenbrot gab es 5 Standorte, an denen keine Wirkstoffe nachgewiesen wurden. Von den nachgewiesenen Wirkstoffen waren in Deutschland 45 Substanzen im Messzeitraum nicht mehr zugelassen (Tab. 20). Bereinigt um die PCB sowie diejenigen Wirkstoffe, deren Ursprung nicht oder nicht eindeutig in der Landwirtschaft liegt, handelt es sich um 41 Substanzen, die in Deutschland im Messzeitraum nicht mehr zugelassen waren (Tab. 30).

In Tab. 21 sind die Wirkstoffe gelistet, die in allen untersuchten Matrices durchgehend nachgewiesen wurden. Angegeben ist der prozentuale Anteil an Standorten, bei denen ein Wirkstoff in der Probenmatrix nachgewiesen wurde. Damit kann der Wirkungsgrad für einen Wirkstoff in den unterschiedlichen Proben verglichen werden.

Bereits das erste durchgehend nachgewiesene Pestizid, Chlorthalonil, macht deutlich, wie unterschiedlich es durch die verschiedenen Probenmaterialien wiedergegeben wird. Während es in den Passivsammlern (PUF) zu 95 Prozent nachgewiesen wird, wird es beim Bienenbrot (9,8 Prozent) und der Rinde (8,5 Prozent) nur an wenigen Standorten nachgewiesen. Bei den Filtermatten ist ein Viertel aller Standorte belastet.

Pendimethalin wird in den Passivsammlern und den Baumrinden sehr häufig nachgewiesen. Es erreicht auch bei den Filtermatten (25 Prozent) und dem Bienenbrot (31,7 Prozent) hohe Nachweisraten. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass im Bienenbrot wenig Wirkstoffe nachgewiesen wurden. Der Wert von 31,7 Prozent für Pendimethalin war der zweithöchste unter den nachgewiesenen Wirkstoffen in dieser Matrix.

Am Beispiel Boscalid erkennt man, dass auch die Passivsammler nicht alle Wirkstoffe gleichermaßen gut wiedergeben können. Boscalid wird hier nur an 16,3 Prozent der Standorte nachgewiesen. In den Filtermatten wird es in 65 Prozent der Standorte nachgewiesen, in den Rinden noch zu 38 Prozent und im Bienenbrot lediglich an 17,1 Prozent.

Tab. 20: Wirkstoffe in allen untersuchten Medien nach Wirkstoffklassen und Zulassung. Wirkstoffklasse und Zulassung nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018). Für Hilfsstoffe und Metaboliten ist eine Zulassung nicht relevant.

Wirkstoffklasse	Anzahl	zugelassen	Nicht zugelassen
Akarizid	2		2
Fungizid, Akarizid, Insektizid, Herbizid	1		1
Fungizid	55	46	9
Fungizid, Akarizid	1		1
Fungizid, Wachstumsregler	1	1	
Herbizid	34	25	9
Herbizid, Wachstumsregler	1		1
Hilfsstoff	6		
Insektizid	15	6	9
Insektizid, Akarizid	13	5	8
Insektizid, Akarizid, Nematizid	1		1
Insektizid, Metabolit	2		2
Keimhemmungsmittel	1	1	
Metabolit bzw. Abbauprodukt	14		
Wachstumsregler	1	1	
Repellent	3	1	2
Synergist	1	1	
	152	87	45

Tab. 21: Wirkstoffe mit Vorkommen in allen Medien; WK = Wirkstoffklasse, PUF-/PEF-Matrix aus Passivsammlern, Filter = Filtermatten, BB = Bienenbrot, Rinde = Rindenmonitoring; Angabe als prozentualer Anteil der Standorte mit Wirkstoffbelastung zu Gesamtstandorten. Wirkstoffklasse nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Wirkstoff	WK	PUF/PEF	Filter	BB	Rinde
Chlorthalonil	F	95,9 %	25,0 %	9,8 %	8,5 %
Pendimethalin	H	89,8 %	25,0 %	31,7 %	87,2 %
Terbuthylazin	H	89,8 %	5,0 %	22,0 %	48,9 %
Prothioconazol-desthio	F	85,7 %	15,0 %	17,1 %	63,8 %
Flufenacet	H	71,4 %	5,0 %	4,9 %	27,7 %
Tebuconazol	F	63,3 %	40,0 %	17,1 %	21,3 %
Folpet	F	34,7 %	35,0 %	7,3 %	6,4 %
Fluopyram	F	28,6 %	10,0 %	12,2 %	12,8 %
Boscalid	F	16,3 %	65,0 %	17,1 %	38,3 %
DDT-pp	I	14,3 %	5,0 %	4,9 %	68,1 %
Fludioxonil	F	4,1 %	20,0 %	9,8 %	4,3 %
Ametoctradin	F	2,0 %	35,0 %	7,3 %	2,1 %
Anzahl der Standorte		49	20	41	47
Gemeinsames Vorkommen		12	12	12	12
Vorkommen in% von Anzahl in Matrix		15,0 %	18,5 %	22,2 %	11,4 %
Anzahl in Matrix		80	65	54	105

Von den Wirkstoffen, die in allen Medien nachgewiesen werden, hat lediglich der Altstoff DDT seine Zulassung in der EU verloren (Tab. 30).

Im Folgenden sind die Beziehungen zwischen den einzelnen Matrices exemplarisch zusammengefasst. Aufgeführt werden der Vergleich der Passivsammler (PUF-/PEF-Matrix) mit den Filtermatten, der Filtermatten mit Bienenbrot sowie der Passivsammler (PUF-/PEF-Matrix) mit Rinde.

5.6.1 Vergleich zwischen Passivsammler (PUF-/PEF-Matrix) und Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen

Eine Liste von 22 Wirkstoffen wird von den Passivsammlern und den Filtermatten gemeinsam nachgewiesen. Das entspricht einem Anteil von 33,8 Prozent bzw. 29,7 Prozent der gesamten nachgewiesenen Wirkstoffe in den entsprechenden Matrices. Ein großer Teil dieser Wirkstoffe ist ebenfalls in beiden Matrices in ähnlicher Standortbelastung zu finden.

Ausnahmen sind lediglich Azoxystrobin (Passivsammler 2 Prozent, Filtermatten 40 Prozent) und Mandipropamid (Passivsammler 2 Prozent, Filtermatten 35 Prozent), die eher von den Filtermatten aufgenommen werden.

Beim Herbizid MCPA (2-Methyl-4-chlorphenoxyessigsäure) (Passivsammler 44,9 Prozent, Filtermatten 5 Prozent) zeigen die Daten der Passivsammler eine weitaus größere Anzahl an Nachweisen.

Tab. 22: Wirkstoffe mit Vorkommen in PUF-/PEF-Matrix aus Passivsammlern und Filtermatten.

WK = Wirkstoffklasse; PUF-/PEF-Matrix aus Passivsammlern, Filter = Filtermatten;

Wirkstoffklasse nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Angabe als prozentualer Anteil der Standorte mit Wirkstoffbelastung zu Gesamtstandorten.

Anzahl	Wirkstoff	WK	PUF/PEF	Filter
1	Glyphosat	H	100,0 %	100,0 %
2	AMPA	H	81,6 %	85,0 %
3	MCPA	H	44,9 %	5,0 %
4	Captan	F	22,4 %	25,0 %
5	Diflufenican	H	20,4 %	5,0 %
6	Metazachlor	H	20,4 %	15,0 %
7	Dichlofluanid	F	16,3 %	5,0 %
8	Tolyfluanid	F, A	14,3 %	5,0 %
9	Trifloxystrobin	F	14,3 %	5,0 %
10	PBO	Syn	12,2 %	10,0 %
11	Propiconazol	F	10,2 %	20,0 %
12	Difenoconazol	F	8,2 %	30,0 %
13	Phenmedipham	H	8,2 %	10,0 %
14	Cyhalothrin-lambda	I, A	6,1 %	15,0 %
15	Penconazol	F	6,1 %	5,0 %
16	Spiroxamin	F	4,1 %	25,0 %
17	Azoxystrobin	F	2,0 %	40,0 %
18	Dimethomorph	F	2,0 %	15,0 %
19	Fluopicolid	F	2,0 %	10,0 %
20	Mandipropamid	F	2,0 %	35,0 %
21	Myclobutanil	F	2,0 %	10,0 %
22	Terbutryn	H	2,0 %	10,0 %
Anzahl der Standorte			49	20
Gemeinsames Vorkommen			22	22
Vorkommen in% von Anzahl in Matrix			27,5 %	33,8 %
Anzahl in Matrix			80	65

5.6.2 Vergleich zwischen Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen und Bienenbrot

Die Liste der Wirkstoffe, die in den Filtermatten und dem Bienenbrot gemeinsam zu finden sind, ist relativ kurz.

Anthrachinon tritt bei beiden Matrices deutlich auf. Auch Thiacloprid, das besonders deutlich in den Bienenbrot-Proben zu finden war, findet sich in den Filtermatten wieder, wenn auch nicht mit hoher Fallzahl.

Für Azoxystrobin sind die Filtermatten das effektivere Sammelmedium als Bienenbrot.

Tab. 23: Wirkstoffe mit Vorkommen Filtermatten (Filter) und Bienenbrot (BB).
 WK = Wirkstoffklasse; Filter = Filtermatten; BB = Bienenbrot.
 Wirkstoffklasse nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).
 Angabe als prozentualer Anteil der Standorte mit Pestizidbelastung zu Gesamtstandorten.

Wirkstoff	WK	Filter	BB
Anthrachinon	Rep	45,0 %	39,0 %
Azoxystrobin	F	40,0 %	17,1 %
Captan	F	25,0 %	7,3 %
Thiacloprid	I, A	20,0 %	26,8 %
Propamocarb	F	15,0 %	7,3 %
Fluazinam	F	10,0 %	4,9 %
Fluopicolid	F	10,0 %	4,9 %
PBO	Syn	10,0 %	19,5 %
MCPA	H	5,0 %	4,9 %
Pyraclostrobin	F	5,0 %	4,9 %
Anzahl der Standorte		20	41
Gemeinsames Vorkommen		10	10
Vorkommen in% von Anzahl in Mat		15,4 %	18,5 %
Anzahl in Matrix		65	54

5.6.3 Vergleich zwischen Passivsammlern (PUF-/PEF-Matrix) und den Rindenproben aus den Rindenmonitoring-Daten von 2014 bis 2019

Mit 30 gemeinsam vorkommenden Wirkstoffen gibt es viele Gemeinsamkeiten zwischen den Passivsammlern und den Rinden. Dennoch gibt es deutliche Unterschiede in der Sammeleffektivität der beiden Medien. Für die Wirkstoffe Flufenacet, Glyphosat, Metolachlor, Tebuconazol und Terbutylazin ist eindeutig der Passivsammler das bessere Medium. Für die Wirkstoffe Pendimethalin und HCH gamma (Lindan) ist der Wirkungsgrad beider Medien ähnlich.

Die Rinde ist aber bei der Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe den Passivsammlern eindeutig überlegen. Hier werden in 53 Proben 94 Wirkstoffe (bereinigt um 5 Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen und 6 PCB; insgesamt 105 Wirkstoffe) nachgewiesen. Bei den Passivsammlern sind es in 49 Proben lediglich 71 Wirkstoffe (bereinigt um 4 Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen und 5 PCB; insgesamt 80 Wirkstoffe). Der Passivsammler konzentriert mehr Wirkstoffe am Standort. Bis zu 33 Wirkstoffe werden nachgewiesen. Bei den Rindenproben ist die höchste Anzahl 26.

Tab. 24: Wirkstoffe mit Vorkommen PUF-/PEF-Matrix in Passivsammlern und Rinde.

WK = Wirkstoffklasse; PUF-/PEF-Matrix aus Passivsammlern, Rinde = Proben aus dem LGRM Rindenmonitoring 2014 bis 2018.

Wirkstoffklasse nach (BVL 2020a); (BVL 2020b ODB); (BVL 2017, 2018).

Angabe als prozentualer Anteil der Standorte mit Wirkstoffbelastung zu Gesamtstandorten.

Wirkstoff	WK	PUF/PEF	Rinde
Glyphosat	H	100,00 %	55,3 %
Metolachlor	H	93,88 %	44,7 %
Pendimethalin	H	89,80 %	87,2 %
Terbuthylazin	H	89,80 %	48,9 %
Prothioconazol-desthio	F	85,71 %	63,8 %
Prosulfocarb	H	81,63 %	66,0 %
Flufenacet	H	71,43 %	27,7 %
Tebuconazol	F	63,27 %	21,3 %
HCB	F	55,10 %	2,1 %
HCH-gamma	I	53,06 %	53,2 %
Folpet	F	34,69 %	6,4 %
Fluopyram	F	28,57 %	12,8 %
Metazachlor	H	20,41 %	17,0 %
Kresoxim-methyl	F	14,29 %	4,3 %
Trifloxystrobin	F	14,29 %	2,1 %
PCB052	Hilf	12,49 %	6,4 %
PCB101	Hilf	12,49 %	8,5 %
Propiconazol	F	10,20 %	4,3 %
Icaridin	P	6,12 %	6,4 %
Metrafenon	F	6,12 %	2,1 %
Propyzamid	H	6,12 %	4,3 %
PCB138	Hilf	4,16 %	10,6 %
Fludioxonil	F	4,08 %	4,3 %
Metribuzin	H	4,08 %	6,4 %
Pyrimethanil	F	4,08 %	4,3 %
Spiroxamin	F	4,08 %	2,1 %
Fluxapyroxad	F	2,04 %	4,3 %
Myclobutanil	F	2,04 %	6,4 %
Phosmet	I	2,04 %	2,1 %
PCB028	Hilf	0,00 %	6,4 %
Anzahl der Standorte		49	47
Gemeinsames Vorkommen		30	30
Vorkommen in% von Anzahl in Matrix		37,5 %	28,6 %
Anzahl in Matrix		80	105

5.7 Gesamtbetrachtung der Ergebnisse aller Medien

Für eine abschließende Gesamtbetrachtung aller Werte wurde zunächst die Anzahl der am Standort nachgewiesenen Wirkstoffe für alle Proben vergleichend dargestellt. Die Ergebnisse des Rindenmonitoring-Studie (Hofmann und Schleichrieme et al. 2019a) gingen hier mit ein. Dabei muss berücksichtigt werden, dass der Datensatz von 2018 Ergebnisse aus verschiedenen Jahren zusammenführt. Die ersten Messungen gehen auf das Jahr 2014 zurück.

In Abb. 48 sind die Ergebnisse aller Standorte mit allen Medien farblich gekennzeichnet wiedergegeben. Deutlich wird, dass die Werte des Bienenbrots (gelb) erheblich unter denen der anderen Untersuchungsmedien liegen. Die drei anderen Medien – Passivsammler (rot), Filtermatten (blau) und Rinde (grün) – unterscheiden sich kaum in der Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe.

Bereits bei der Betrachtung der Passivsammler ließ sich dort eine hohe Anzahl an Wirkstoffen nachweisen, wo sie ausgebracht wurden. Die Gesamtdarstellung bestätigt dieses Bild.

In Abb. 49 sind nur die Proben dargestellt, die eine Anzahl von 19 Wirkstoffen und mehr nachweisen. Die Daten der Bienenbrot-Proben erscheinen dann nicht mehr. Im Süden Deutschlands treten nur noch vereinzelt Werte auf, meist assoziiert mit Obst- und Weinanbau. Der große Anteil mit einer hohen Anzahl an Wirkstoffen verbleibt im Norden.

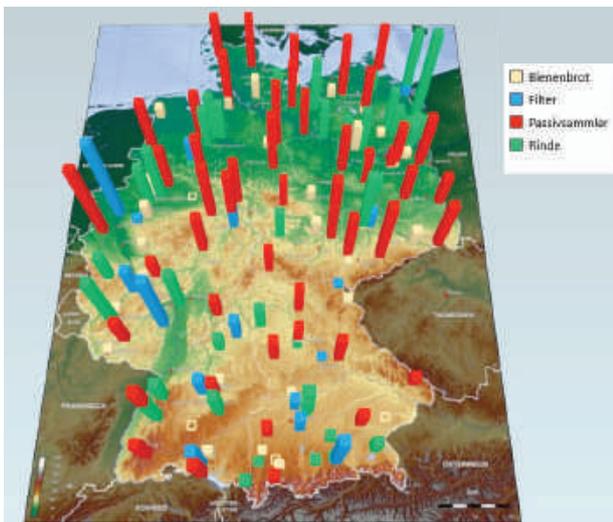


Abb. 48:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Untersuchungsmatrix (0–36 Wirkstoffe). Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort wieder.

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

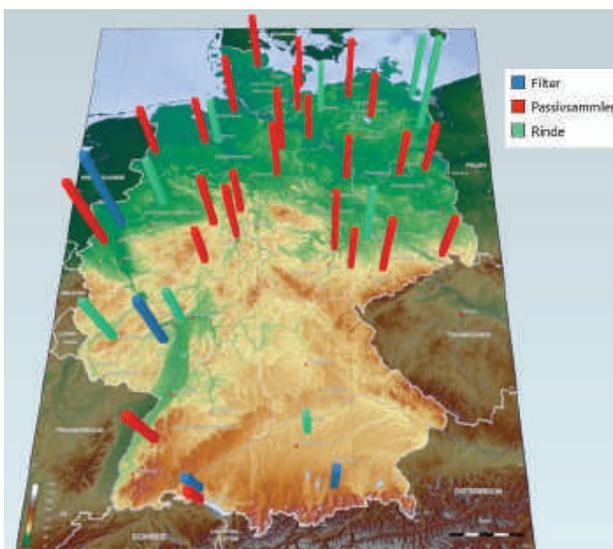


Abb. 49:
Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Untersuchungsmatrix (nur Werte von 19 bis 36 Wirkstoffen/Standort). Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort wieder.

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Unterscheidet man die Ergebnisse nach ihrer Lage in einem Schutzgebiet, zeigt sich, dass auch in Schutzgebieten eine hohe Anzahl von Wirkstoffen gemessen wurden (Abb. 50). Lediglich die Standorte im Stadtbereich weisen niedrigere Werte auf. Von 4 Stadtstandorten bleibt nur einer übrig, wenn man Standorte mit einer Anzahl von mehr als 19 nachgewiesenen Wirkstoffen betrachtet. Auch etliche Schutzgebiete erreichen diese Belastung mit über 19 Wirkstoffen pro Standort.

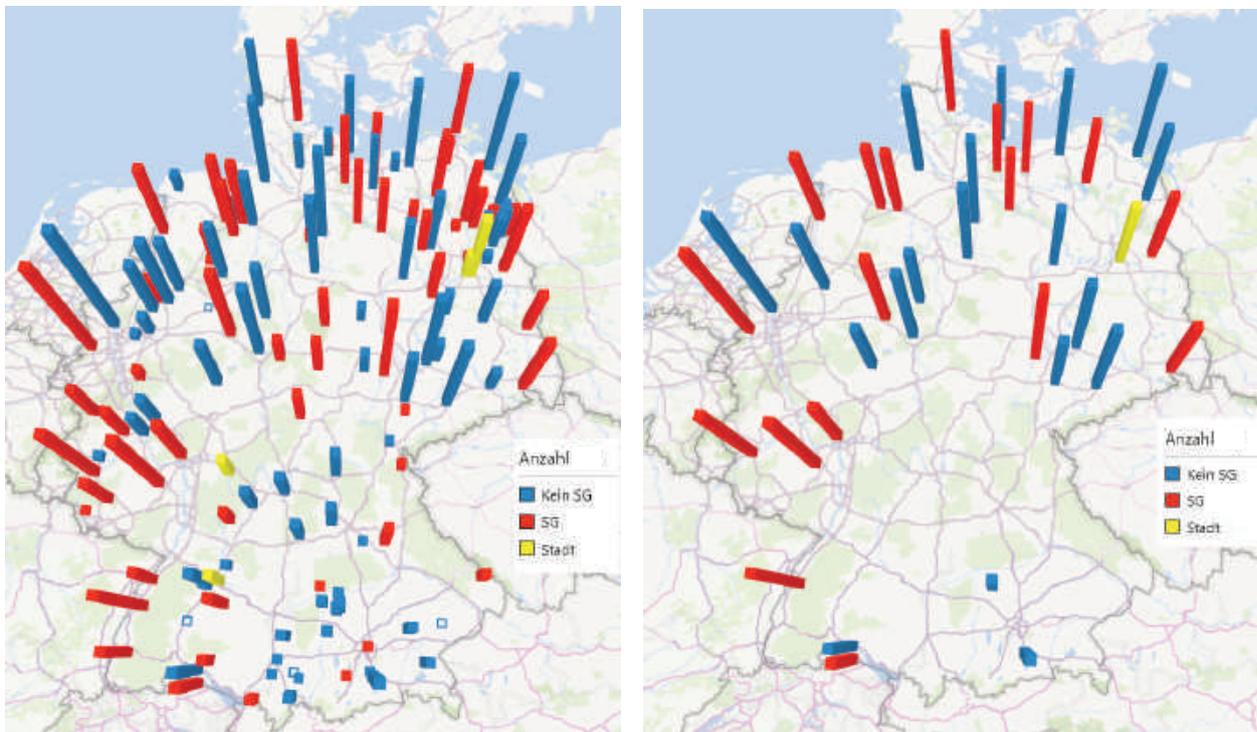


Abb. 50: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Lage in einem Schutzgebiet (rot), keine Lage in einem Schutzgebiet (blau) und Stadt (gelb). Links alle Werte (0–36) und rechts nur Werte von 19 bis 36 Wirkstoffen/Standort. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort wieder. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Auch die Entfernung von einer potenziellen Quelle hat wenig Einfluss auf die Verteilung der Werte (Abb. 51). Betrachtet man nur die höheren Werte, so finden sich weiterhin Standorte, deren nächste potenzielle Quelle über einen Kilometer entfernt vom Standort liegt (hellblaue Balken).

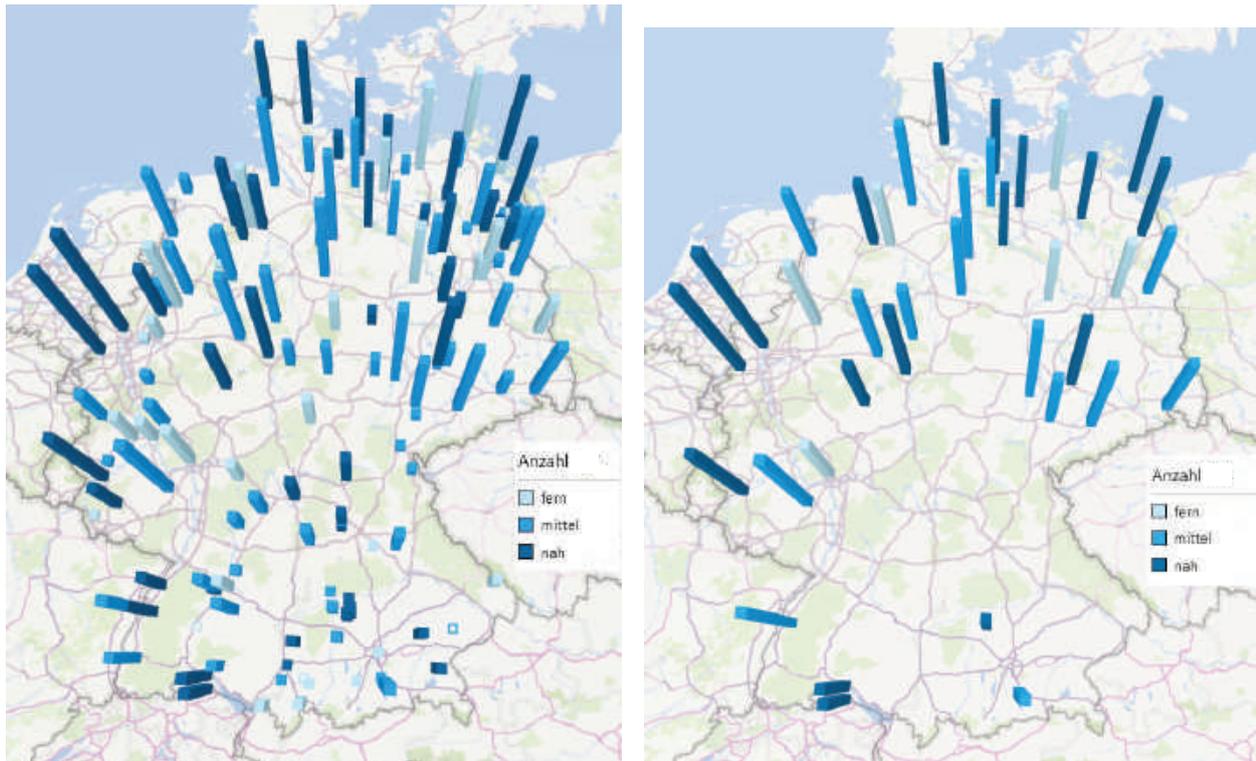


Abb. 51: Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in den untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Lage fern (>1 km) von einer Quelle (hellblau), nach Lage mittlerer Entfernung (100–1000 m) zur Quelle (mittelblau); Lage im Nahbereich einer Quelle (<100 m). Links alle Werte (0–36) und rechts nur Werte von 19 bis 36 Wirkstoffen/Standort. Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort wieder. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Abschließend wurde die Anzahl der Wirkstoffe an den Standorten in allen Medien im Vergleich zur Landnutzung der Umgebung dargestellt (Abb. 52). Diese Darstellung macht deutlich, dass Standorte von biologisch arbeitenden Betrieben im Vergleich zu Standorten mit intensiver Landnutzung nicht von hohen Wirkstoff-Werten verschont bleiben. Anhand dieser Ergebnisse wird deutlich, dass auch die Landnutzung in der weiteren Umgebung entscheidend ist, da ein Transport über weitere Entfernungen demzufolge stattfinden muss. Deutlich wird auch, dass selbst Standorte inmitten eines Waldes nicht von einer Belastung verschont bleibe

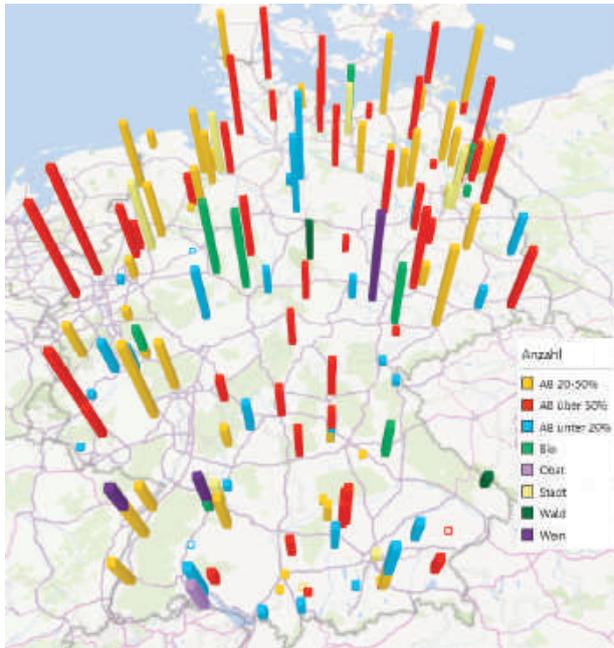


Abb. 52:

Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe am Standort in allen untersuchten Medien, gekennzeichnet nach Landnutzung.

Die Höhe des Balkens gibt die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe je Standort wieder (0–36 Wirkstoffe).

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.7.2 Betrachtung verschiedener Wirkstoffe über Passivsammler, Bienenbrot und Baumrinden hinweg

Da die Filtermatten aufgrund der unterschiedlichen Materialien unterschiedliche Sammeleigenschaften vermuten lassen, werden die Werte der Filtermatten in der folgenden Gesamtbetrachtung nicht einbezogen. Für die Betrachtung der verschiedenen Wirkstoffe über die unterschiedlichen Medien hinweg werden daher nur die Passivsammler, das Bienenbrot und die Baumrinden herangezogen. Aber auch dort ist ein direkter Vergleich der ermittelten Werte nicht möglich, da sich die Ergebnisse der verschiedenen Medien durch unterschiedliche Einheiten auszeichnen.

Um eine Gesamtbeurteilung zu ermöglichen, wurden daher alle Werte zunächst normiert betrachtet. Die Werte jedes nachgewiesenen Wirkstoffs in der entsprechenden Matrix wurden gesondert in drei Bereiche eingeteilt. Dabei wurden 33,3 Prozent der niedrigen Werte mit dem Wert 1 ersetzt, 33,3 Prozent der mittleren Werte erhielten den Wert 2 und die höheren 33,3 Prozent den Wert 3. Die Null-Werte gingen in diese Betrachtung nicht ein und blieben unverändert. Diese Umgestaltung erlaubte einen Vergleich der hohen und niedrigen Werte über die unterschiedlichen Medien hinweg.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse sollte berücksichtigt werden, dass eine hohe Bewertung eines Werts durch seine Verteilung in einer gemessenen Probenmatrix begründet ist. Das bedeutet nicht, dass es sich dabei um objektiv hohe Werte handeln muss. Für HCH-gamma beispielsweise finden wir in der Rinde Messwerte von 24 bis 4 ng/g. In der PUF-Matrix werden für denselben Wirkstoff 267 bis 11 µg/Probe gemessen. Der Wert 3 stellt also den Wert 24 ng/g aus der Rinde und die 267 µg/Probe aus der PUF-Matrix normiert dar, während der Wert 1 die gemessenen 4 ng/g und 11 µg/Probe umfasst.

Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass alle Daten der Passivsammler, der Filtermatten aus Be- und Entlüftungsanlagen und des Bienenbrots aus dem Jahr 2019 stammen. Die Rindenmonitoring-Daten umfassen Messungen aus den Jahren 2014 bis 2018 sowie 2019.

5.7.2 Weitverbreitete Wirkstoffe, wie Glyphosat, AMPA, Pendimethalin, Prosulfocarb, Chlorthalonil, Terbutylazin und Metolachlor

Das Herbizid Glyphosat und sein Metabolit AMPA sind Wirkstoffe, auf die diese Studie einen besonderen Fokus legt. In Abb. 53 sind die normierten Ergebnisse beider Wirkstoffe in den Medien Passivsammler, Filtermatten und Rinde dargestellt. Im Bienenbrot konnte kein Glyphosat nachgewiesen werden. Um die Werte im Süden Deutschlands besser darstellen zu können, wurde zusätzlich eine Darstellung gewählt, in der die Perspektive der Karte gedreht ist. Dadurch wird deutlich, dass auch im äußersten Süden von beiden Wirkstoffen hohe Konzentrationen zu finden sind. Dies gilt noch deutlicher für das Abbauprodukt AMPA. Der große Teil der hohen Werte für beide Stoffe ist jedoch klar dem Norden Deutschlands zuzuordnen.

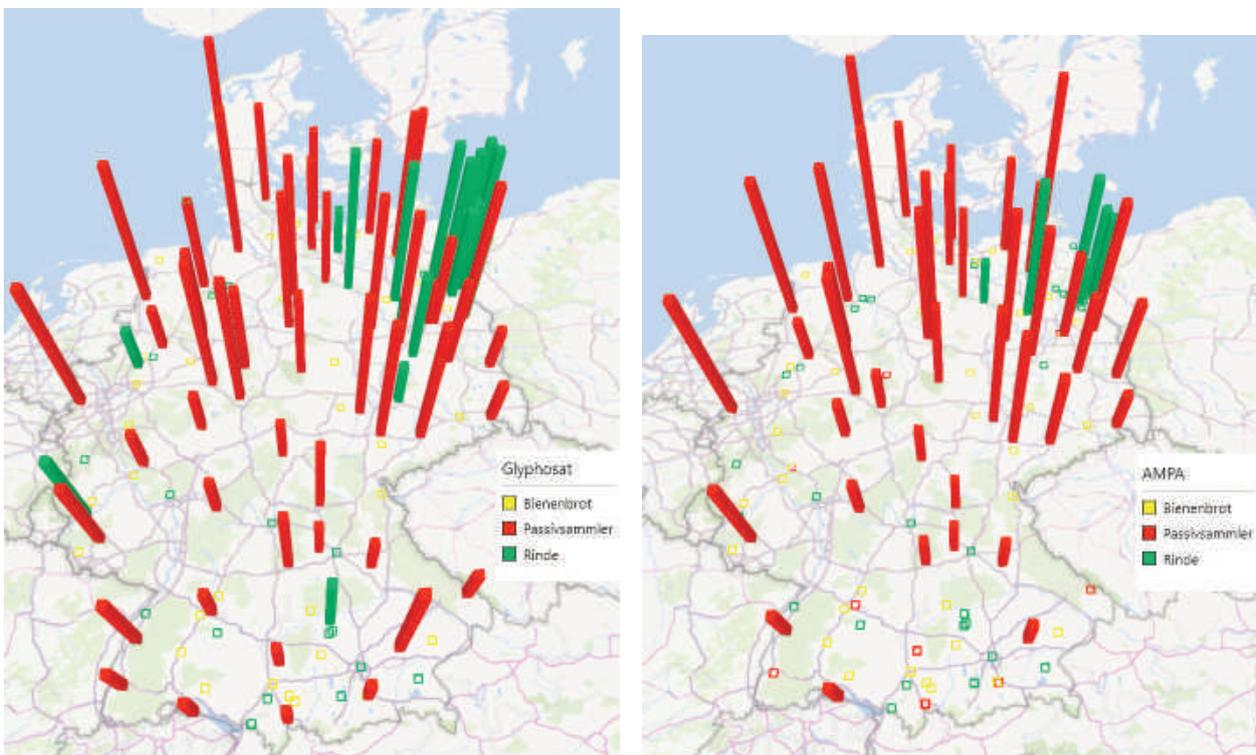


Abb. 53: Belastung der Standorte mit Glyphosat und AMPA in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün). Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Die Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb sind weiträumig verbreitet. Im Gegensatz zu Glyphosat und AMPA finden sich beide Wirkstoffe auch in Bienenbrot-Proben (gelb). Allerdings fehlt bei den Filtermatten (blau) jeglicher Nachweis von Prosulfocarb. Auch Pendimethalin ist nicht in allen Proben zu finden (Abb. 54). Beide Wirkstoffe haben die Gemeinsamkeit, dass die Verbreitung sich im Norden konzentriert. Im Gegensatz zu Prosulfocarb finden sich auch im Süden vereinzelt hohe Pendimethalin-Werte. Das Herbizid Prosulfocarb kann generell im Vergleich an weniger Standorten nachgewiesen werden.

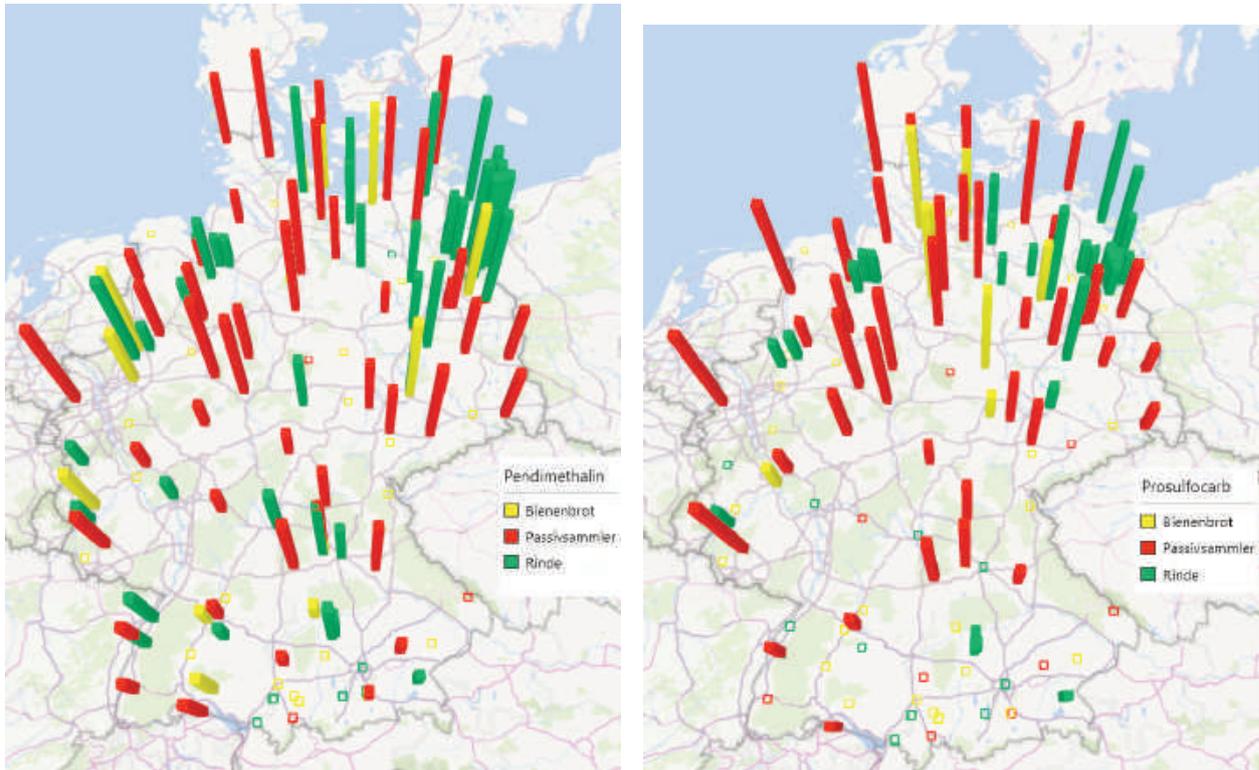


Abb. 54: Belastung der Standorte mit Pendimethalin und Prosulfocarb in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün).
Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Die weitreichende Belastung von Chlorthalonil in fast allen Passivsammler-Proben war in dem vorhergegangenen Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 nicht nachgewiesen worden (Abb. 55). Das Fungizid fand sich nur in drei Rindenproben. Chlorthalonil findet sich auch geringer ausgeprägt in den Bienenbrot-Proben und den Filtermatten. Auch für diesen Pestizid-Wirkstoff, dessen Zulassung Ende 2019 auslief und von dem 2020 lediglich Restmengen ausgebracht werden dürfen, liegt die Hauptbelastung im nördlichen Teil Deutschlands. Er gilt als sehr flüchtig. Auf dem Brocken im Nationalpark Harz wurde mit dem Passivsammler 1494,7 ng/Probe Chlorthalonil gemessen. Während Chlorthalonil in Rinden selten zu finden ist, wurde Terbuthylazin dort häufig nachgewiesen. Auch in Passivsammlern und Bienenbrot kommt dieser Pestizid-Wirkstoff vor. Mit dem Medium Filtermatte konnte dieses Herbizid nur an einem Standort nachgewiesen werden. Der größte Teil der hohen Werte liegt auch bei Terbuthylazin im Norden. Mit dem Passivsammler auf dem Brocken wird der Pestizid-Wirkstoff noch mit 49,3 ng/Probe nachgewiesen.

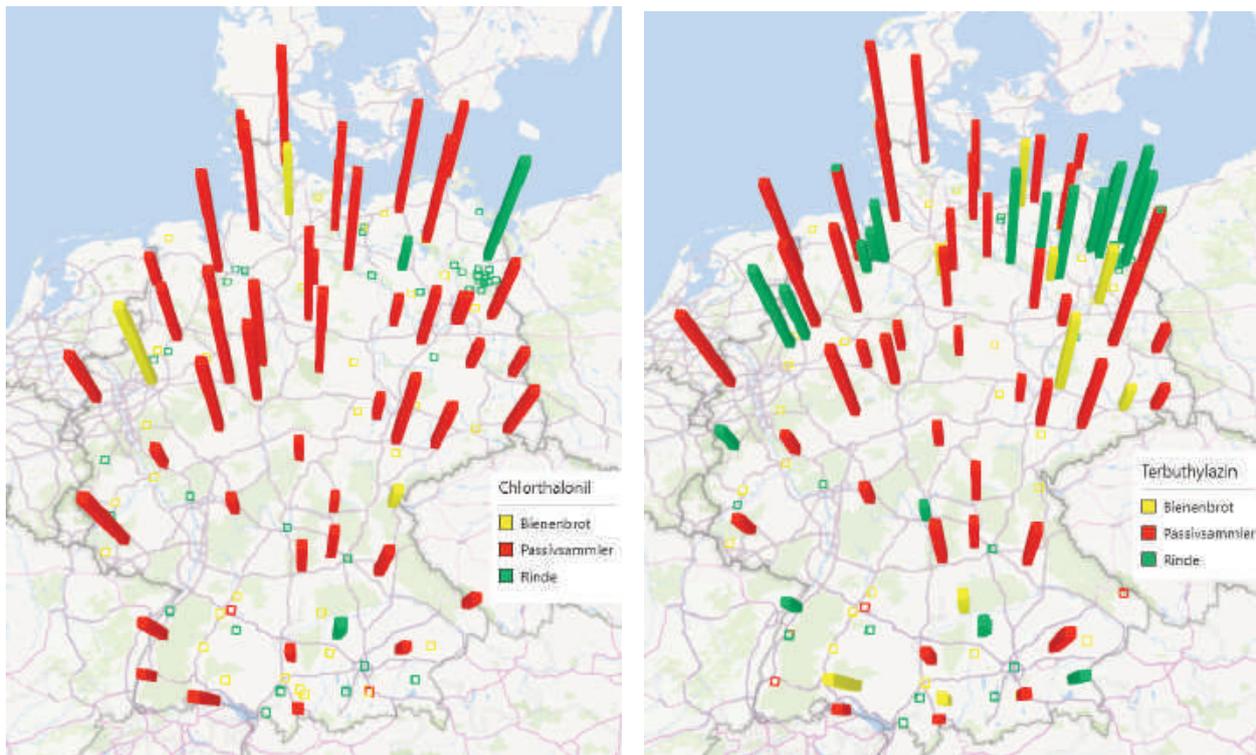


Abb. 55: Belastung der Standorte mit Chlorthalonil und Terbuthylazin in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün). Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3. Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Das Herbizid Metolachlor konnte mit den Passivsammlern und den Baumrinden sehr gut nachgewiesen werden (Abb. 56). Nur in den Filtermatten konnte es gar nicht nachgewiesen werden, und im Bienenbrot taucht es an zwei Standorten auf. Im Gesamtbild finden sich die meisten erhöhten Werte im Norden sowie einige hohe Werte im Süden. Für eine bessere Unterscheidung der einzelnen Balken wurde eine Darstellung mit geänderter Ausrichtung gewählt.

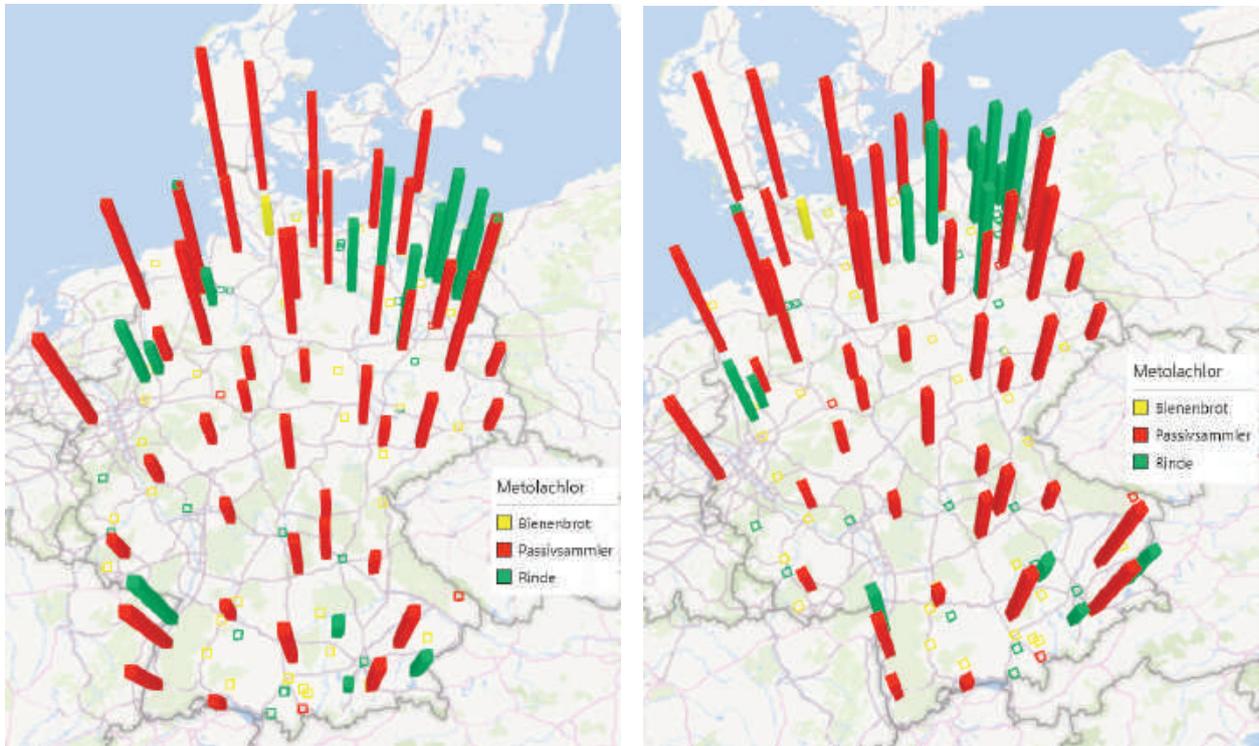


Abb. 56: Belastung der Standorte mit Metolachlor, in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün).

Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.7.3 Weitere Wirkstoffe von öffentlichem Interesse

Bislang wurden im Wesentlichen Wirkstoffe betrachtet, die in einem großen Umfang an den Probenstandorten zu finden waren.

In diesem Abschnitt soll nun auf einige Wirkstoffe eingegangen werden, die nicht zu den weitverbreiteten Wirkstoffen gehören.

Das Fungizid Boscalid wird hauptsächlich im Obst-, Gemüse- und Weinbau eingesetzt. Der Pesticid-Wirkstoff findet sich in allen verwendeten Matrices. Seine räumliche Verteilung (Abb. 57) ist eine völlig andere als bei den vorgestellten weitverbreiteten Wirkstoffen. Besonders der Westen Deutschlands, aber auch im Osten Deutschlands sind erhöhte Vorkommen zu registrieren.

An weniger Standorten, aber mit einer ähnlichen Verteilung, fällt das Pestizid Folpet auf. Es ist wie Boscalid ein Fungizid, aber seine Verwendung ist meist auf den Weinbau beschränkt. Auf dem entlegenen Brocken konnte eine nicht unerhebliche Menge an Folpet nachgewiesen werden. In Abb. 60 zeigt sich, dass ein Zusammenhang mit Weinbaugebieten nicht immer gegeben ist. Hohe Werte finden sich auch außerhalb dieser Regionen im Norden Deutschlands.

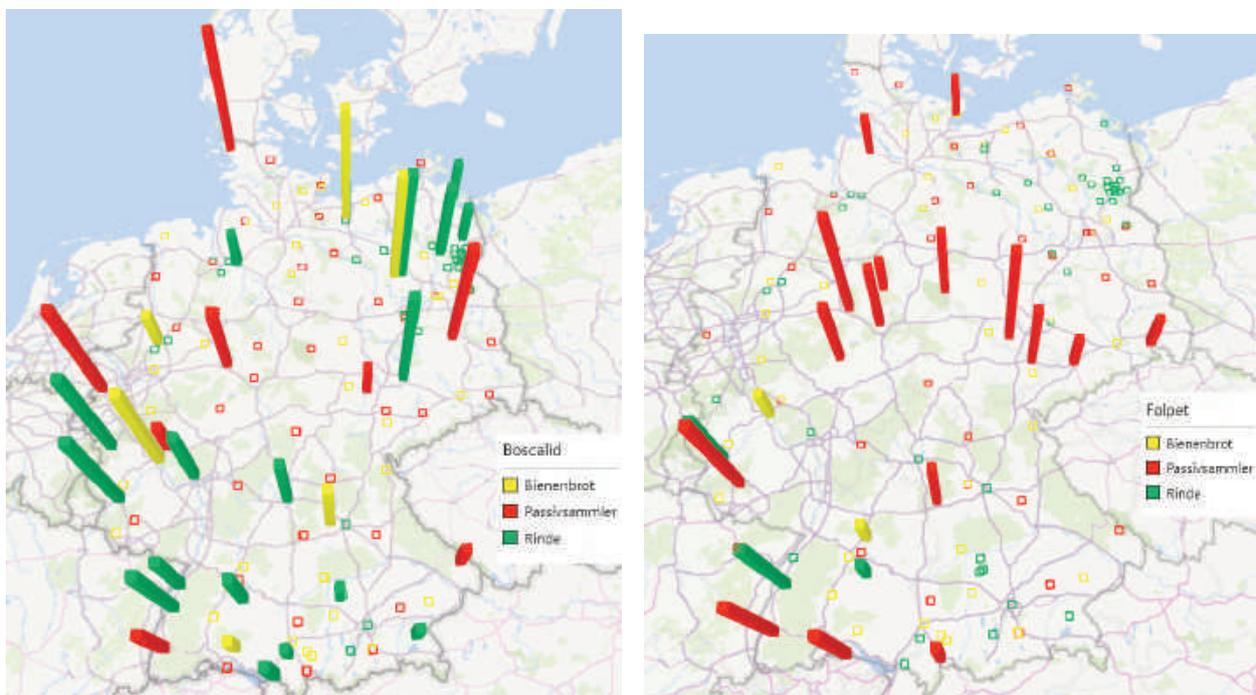


Abb. 57: Belastung der Standorte mit Boscalid und Folpet, in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün).

Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3.

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Auch das Herbizid Clomazon (Abb. 58) ist sehr flüchtig, weshalb für seine Ausbringung erhöhte Sicherheitsvorschriften zu beachten sind. So darf es beispielsweise nur in einem Abstand von 100 m von einer Ortschaft ausgebracht werden. Die Werte dieses Pestizid-Wirkstoffs sind vor allem im Osten und vereinzelt im Norden Deutschlands in den Passivsammlern und der Rinde zu finden.

Thiacloprid ist ein Wirkstoff aus der Gruppe der Neonicotinoide (Abb. 59). Dem Insektizid wurde von der EU-Kommission am 13. Januar 2020 die Zulassung entzogen (European Commission 2020). Die Aufbrauchfrist endet am 21. Februar 2021. Es wurde gegen Blattläuse, Mottenschildläuse, Blattflöhe, Apfelwickler, Rüsselkäfer und Buchsbaumzünsler eingesetzt und durfte auch im Hausgarten verwendet werden. Obwohl Thiacloprid als toxisch für Bienen gilt, lag dieses Insektizid beim Bienenbrot an dritter Stelle der nachgewiesenen Wirkstoffe. Das Beispiel Thiacloprid belegt so auch die Vorzüge eines Monitorings mit mehreren Matrices, denn in den sonst sehr sensitiven Passivsammlern war kein Thiacloprid bestimmbar. Bei den Filtermatten und Baumrinden gibt es einige wenige Standorte mit einem Nachweis des Insektizids.

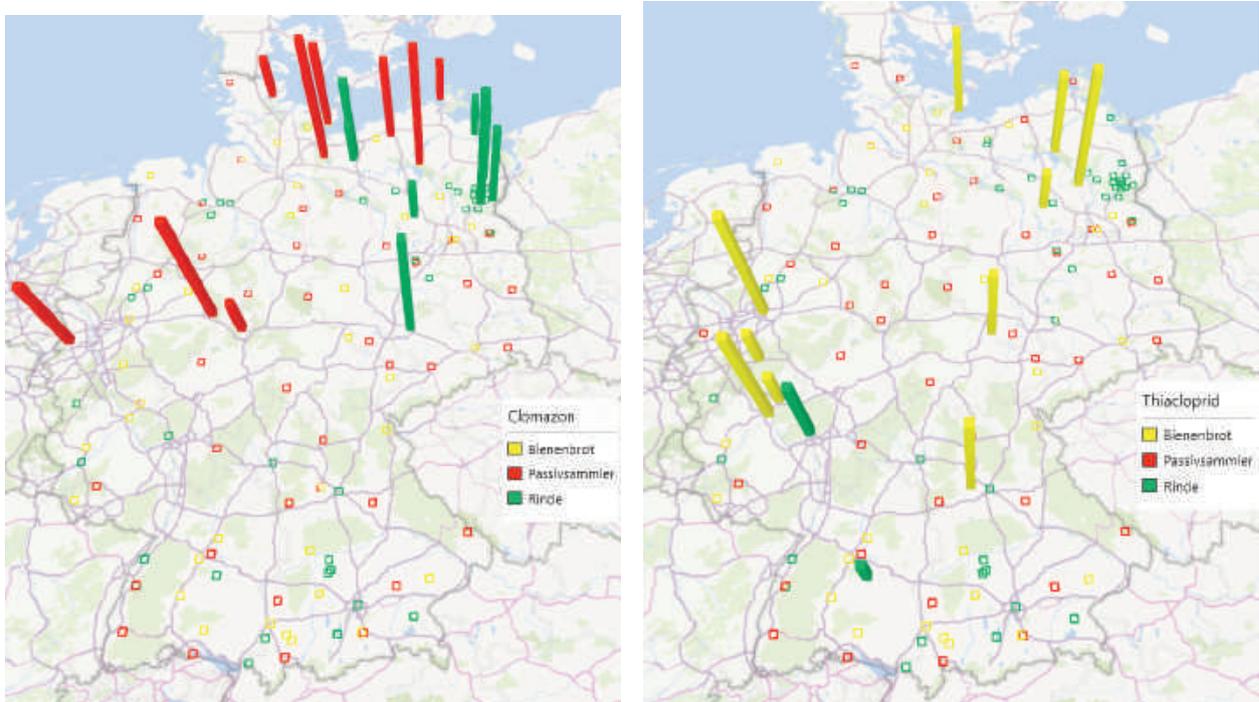


Abb. 58: Belastung der Standorte mit Clomazon und Thiacloprid in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün).

Die Höhe der Balken geben für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3.

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

Das Insektizid Chlorpyrifos konnte in 12 Passivsammler-Proben nachgewiesen werden (Abb. 59). Beide im Umlauf befindlichen Formen des Pestizids (Chlorpyrifos-ethyl und Chlorpyrifos-methyl) kommen räumlich getrennt vor. Bis auf ein deutliches Vorkommen in Brandenburg (210 ng/Probe) schwanken die Werte um 20 ng/Probe und liegen damit deutlich über der Bestimmungsgrenze. Chlorpyrifos ist in Deutschland bereits seit 2009 verboten, wird aber im Zitrusfrüchte-Anbau in Südeuropa weiträumig eingesetzt. Auch im schwedischen Pestizid-Monitoring-Programm (Kreuger und Lindström 2019) kann mit großer Regelmäßigkeit in fast allen PUF-Proben Chlorpyrifos nachgewiesen werden, obwohl auch dort der Einsatz nicht zugelassen ist.

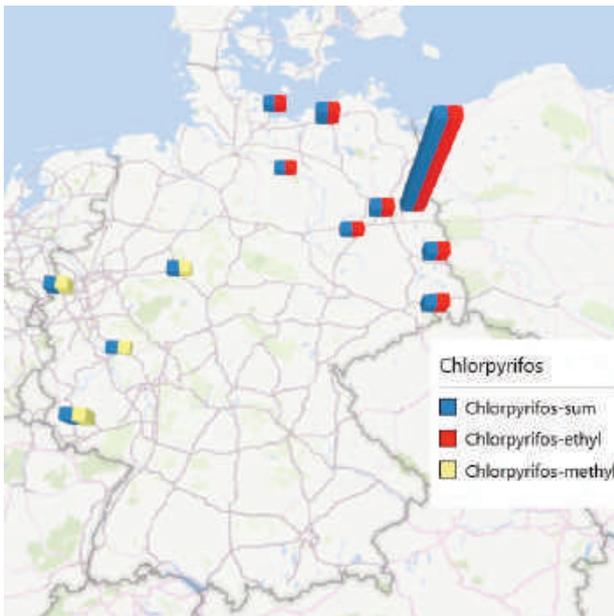


Abb. 59:
Belastung der Standorte mit Passivsammlern mit Chlorpyrifos; angegeben ist die Menge an Chlorpyrifos-ethyl (rot) und Chlorpyrifos-methyl (gelb) sowie die Summe aus beiden Stoffen als Chlorpyrifos-Sum (blau). Die Höhe der Balken repräsentiert den Wert am Standort in ng/Probe.
Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

5.7.4 Die Altstoffe

Bereits die Ergebnisse des Rindenmonitorings aus dem Jahr 2018 konnten die weite Verbreitung der Altstoffe DDT und HCH-gamma (Lindan) aufzeigen. Die persistenten Wirkstoffe wurden auch in vielen anderen Studien wie den United Nations Environment Programme (UNEP)*, der Stockholmer Convention oder im Pure Alps Projekt (Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) und dem Umweltbundesamt Österreich (UBA 2019) untersucht.

Daher möchten wir abschließend eine Betrachtung der Ergebnisse dieser Altstoffe anfügen (Abb. 63).

In der ehemaligen DDR wurden DDT und Lindan als einfach zu synthetisierende Insektizide noch bis kurz vor 1990 zum Teil in großen Mengen eingesetzt (Heinisch und Wenzel-Klein 1993). Diese Tatsache zeigt sich deutlich im Vorkommen von DDT (Summe der Isomere und Nebenprodukte) in Ostdeutschland. Es wird hauptsächlich in Passivsammlern und Baumrinden nachgewiesen, aber auch einmal in den Filtermatten und einmal im Bienenbrot.

Lindan (HCH-gamma) wird deutschlandweit von Passivsammlern und Rinden angezeigt. Auch im Süden Deutschlands sind hohe Werte vorhanden.

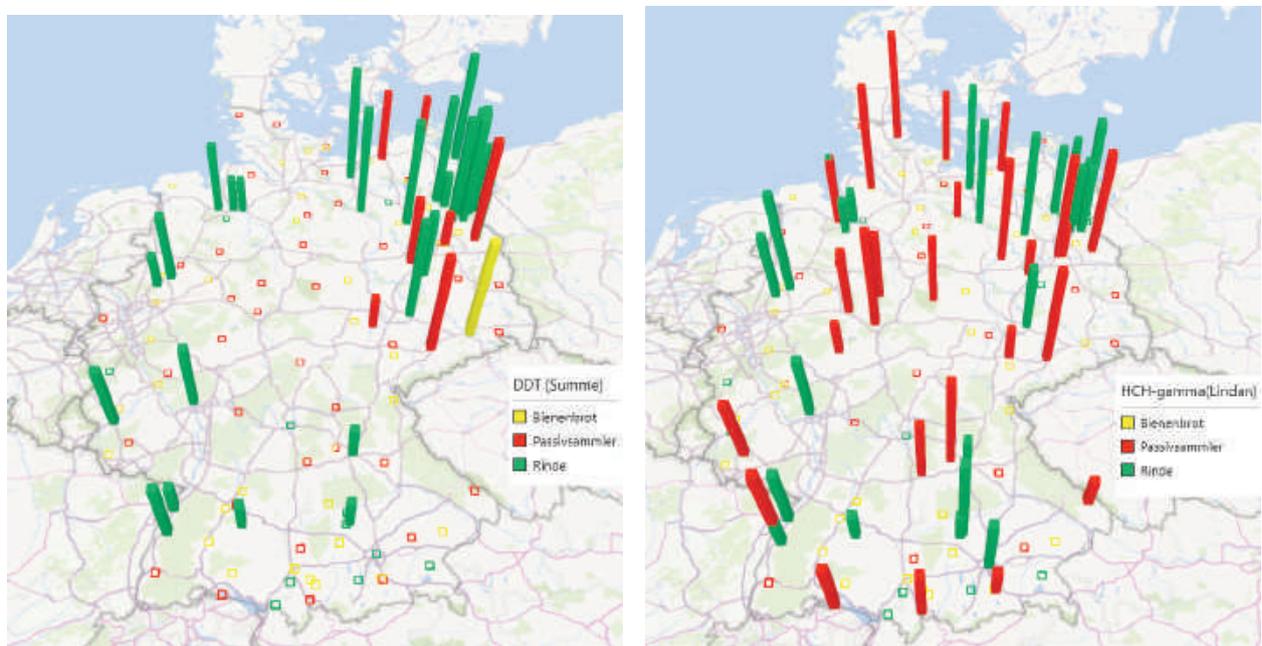


Abb. 60: Belastung der Standorte mit der Summe der DDT (links) sowie Lindan (rechts) in Passivsammlern (rot), Bienenbrot (gelb) und Rinden (grün).

DDT Summie ergibt sich aus den nachgewiesenen Mengen an DDT-pp und seinen Isomeren und Nebenprodukten bzw. Metaboliten DDD-op, DDD-pp, DDE-pp und DDT-op.

Die Höhe der Balken gibt für jede Probe den Wert 0, 1, 2 oder 3 an. Alle Werte über Null wurden aufgrund der gemessenen Wirkstoff-Konzentration am Standort in drei Kategorien zu je 33,3 Prozent aufgeteilt, wobei die niedrigen Werte durch 1 ersetzt wurden, die mittleren Werte durch 2 und die hohen Werte mit 3.

Datenbasis nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27)

* United Nations Environment Programme (2020 ODB): Stockholm Convention. »Monitoring reports.« <http://chm.pops.int/Implementation/GlobalMonitoringPlan/MonitoringReports/tabid/525/Default.aspx>

6 Auswertung der Ergebnisse

Vier untersuchte Sammelmedien und 163 untersuchte Standorte bilden eine komplexe Datenbasis. 116 Standorte entfallen dabei auf die Untersuchungen im Jahr 2019. Werden die Daten aus dem Rindenmonitoring 2014 bis 2018 eingerechnet, so ergeben sich 163 Standorte. Ob Unterschiede in den Daten als rein zufällige Streuung anzusehen sind oder mit Merkmalen an den Standorten in Beziehung stehen, wird durch die statistischen Berechnungen analysiert. Die nachstehende Auswertung der Ergebnisse beruht auf diesen Daten. Wie in Abschnitt 5.1.1 ausführlich erläutert, handelt es sich hierbei um alle Messwerte nach ASU L 00.00-115 (Tab. 27). Die verschiedenen Standortfaktoren wurden in Tab. 1 und 36 dargestellt. Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in Tab. 3, 5 und 6 dargestellt sowie umfassend in Tab. 36 wiedergegeben.

In der Einleitung zu dieser Studie wurden Fragen formuliert, die mit den vorhandenen Daten beantwortet werden sollen.

1. Lassen sich die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 auch mit anderen Medien wiederholen?
2. Welche Wirkstoffe kommen am häufigsten vor?
3. Welche Faktoren beeinflussen das Vorkommen der Wirkstoffe?
4. Welche Wirkstoffe kennzeichnen unterschiedliche Wirtschaftsräume?

6.1 Lassen sich die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring auch mit anderen Medien wiederholen?

Die vorliegende Studie konnte die Ergebnisse des Rindenmonitorings (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) in wesentlichen Punkten erweitern. Belastungen in verschiedenen Bereichen der Umwelt wurden jeweils über zwei technische und ein weiteres biologisches Sammelmedium über einen festgelegten Zeitraum dokumentiert.

Insgesamt wurde das Spektrum der nachgewiesenen Wirkstoffe durch die neue Studie von 106 auf jetzt 152 Wirkstoffe erweitert. Die Medien tragen unterschiedliche Wirkstoffe zur Gesamtanzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe bei. Ihre Sammeleffektivität variiert. Die Passivsammler akkumulieren eher volatile Wirkstoffe und können hohe Pestizidmengen nachweisen. Die Filtermatten von Be- und Entlüftungsanlagen, die für eine Filtration von Staub ausgelegt sind, weisen andere Substanzen nach als die Passivsammler. Die Pestizidbelastung in den Bienenbrot-Proben war deutlich niedriger als in den technischen Medien. Insektizide wie Thiacloprid wurden hier jedoch besonders gut erfasst. In Baumrinden lässt sich das größte Spektrum von Wirkstoffen nachweisen.

In sämtlichen untersuchten Medien konnten Wirkstoffe nachgewiesen werden. Insgesamt wurden 138 Wirkstoffe aus hauptsächlich landwirtschaftlichen Quellen sowie 6 PCB und 8 Wirkstoffe aus nicht-landwirtschaftlichen Quellen nachgewiesen.

Die Sensitivität der Medien für die Messung war jedoch sehr unterschiedlich. Die Anzahl der im Bienenbrot nachgewiesenen Wirkstoffe (0–12 Wirkstoffe je Standort) ist deutlich geringer als von den anderen Medien (Passivsammler 6–33 Wirkstoffe je Standort; Filtermatten 1–36 Wirkstoffe je Standort).

Auch die Zusammensetzung der Wirkstoffe war je nach Matrix sehr unterschiedlich. Nur 12 von insgesamt 146 nachgewiesenen Wirkstoffen und 6 PCB kommen gemeinsam in allen Matrices vor.

Dabei sollte die Ausgangslage, wie sie in Abb. 1 einleitend dargestellt wurde, nochmals in Erinnerung gerufen werden. Man unterscheidet flüchtige Wirkstoffe, die gasförmig in der Luft vorkommen, und partikulär gebundene Wirkstoffe. Ein Wirkstoff beschränkt sich nicht nur auf eine Form, wie Kreuger und Lindström zeigen konnten (Kreuger und Lindström, 2019), sondern kann zu unterschiedlichen Anteilen gasförmig und partikulär auftreten.

Die Passivsammler sammeln effizient und differenziert. Die PUF-Matrix nimmt hauptsächlich volatile Wirkstoffe auf. Dabei können auch größere Mengen eines Stoffs aufgenommen (z. B. Folpet mit einem Wert von 7600 ng/Probe) und nachgewiesen werden. Der Erfassung von Glyphosat über die PEF-Matrix erwies sich durch den Nachweis in allen Proben als sehr effizient.

Die Filtermatten sind für die Filtration von Stäuben aus der Luft ausgelegt. Als Pestizidsammler sind sie sehr vielseitig. Viele Wirkstoffe werden nur in diesem Medium nachgewiesen. Es ist anzunehmen, dass hauptsächlich Wirkstoffe, die an Bodenpartikeln haften, hier nachgewiesen werden können, da sie in den gesammelten Stäuben der Filtermatten akkumulieren.

Ein weiterer Einsatz von Filtermatten als Pestizidsammler setzt jedoch eine Standardisierung des eingesetzten Materials und des Geräts voraus.

Im Bienenbrot können volatile Wirkstoffe und Insektizide nachgewiesen werden.

In der Baumrinde lässt sich das größte Spektrum an Wirkstoffen nachweisen. Die Ergebnisse lassen sich nicht klar einem Zeitraum zuordnen.

Die vorliegenden Ergebnisse haben die Untersuchungen von 2018 nicht nur bestätigt, sie haben sie in wesentlichen Punkten erweitert. Zum einen wurde das Spektrum der nachgewiesenen Wirkstoffe vergrößert (von 105 auf 152 Wirkstoffe). Die unterschiedlichen Methoden verdeutlichen außerdem, dass sich Wirkstoffe in der Umwelt auf unterschiedliche Weise bewegen und ablagern.

6.2 Welche Wirkstoffe kommen am häufigsten vor?

Glyphosat wurde an allen Standorten der Passivsammler und der Filtermatten nachgewiesen. In allen Matrices und an vielen Standorten kommen Chlorthalonil, Pendimethalin, Terbutylazin, Flufenacet und Tebuconazol vor. Diese Wirkstoffe sind bis auf Chlorthalonil, für das die Aufbrauchfrist im Mai 2020 endete, alle zugelassen. Auch der Altstoff DDT, der in der Bundesrepublik seit 1972 verboten ist, aber in der ehemaligen DDR bis zur Wende eingesetzt wurde, wird ebenfalls in jeder Matrix vorgefunden.

Welcher Wirkstoff an einem Standort festgestellt wurde, ist von der Methode der Erfassung abhängig (s. o).

Glyphosat ist ein Pestizid-Wirkstoff, der in dieser Studie von besonderem Interesse war. In den Passivsammlern und den Filtermatten wurde es zu 100 Prozent nachgewiesen (Tab. 32 und 33). Die Ergebnisse übertreffen damit die Werte aus dem Rindenmonitoring (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) von 55 Prozent deutlich.

Im Bienenbrot konnte kein Glyphosat nachgewiesen werden (Tab. 34).

Der Metabolit AMPA folgt Glyphosat mit geringem Abstand bei den Matrices, in denen es nachgewiesen wurde (Tab. 32, 33 und 35).

Pendimethalin kommt sowohl in den Rindenergebnissen von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) als auch in den Ergebnissen der Passivsammler und des Bienenbrots prominent vor. Es kann auch in den Filtermatten nachgewiesen werden, ist hier jedoch nur an 25 Prozent der Standorte zu finden. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass es in Filtermatten in partikulärer Form detektiert wird (Tab. 32, 33, 34 und 35).

Die hohen Werte für Chlorthalonil in den Passivsammlern, dessen Nachweis in nur 2 Proben fehlt (95,9 Prozent der Standorte) waren im Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) nicht aufgefallen (an 29. Stelle mit 8,5 Prozent) (Tab. 32 und 35). Im Bienenbrot kommt es an 3 Standorten (7,3 Prozent) vor, in den Filtermatten an 5 (25 Prozent). Es ist ausgespro-

chen flüchtig und wird daher von der PUF-Matrix gut aufgenommen. Im November 2019 wurde ihm die Zulassung entzogen, Reste durften bis Mai 2020 aufgebraucht werden (BVL 2019a). Zukünftige Messungen müssten einen Rückgang deutlich belegen können.

Weitere Pestsizid-Wirkstoffe, die sich häufig und in allen Matrices nachweisen lassen und zu den zugelassenen Pestsizid-Wirkstoffen gehören, sind Terbutylazin, Flufenacet und Tebuconazol. Auch der Altstoff DDT kann oft nachgewiesen werden (Tab. 32, 33, 34 und 35).

Die zugelassenen Wirkstoffe mit den Haupteinsatzgebieten im Obst- und Weinanbau, Folpet und Boscalid, kommen ebenfalls in allen Medien vor. Boscalid wird jedoch auch im Ackerbau eingesetzt. Folpet, das im Weinbau verwendet wird, konnte auch an vielen Standorten fern der entsprechenden Gebiete nachgewiesen werden.

Prosulfocarb, ein weiteres Pestsizid, das in dieser Studie von Interesse ist, zeigt in der Erfassung durch die verschiedenen Medien ein ähnliches Verhalten wie Pendimethalin. Es ist etwas weniger bedeutend, und die Werte für Konzentrationen und Vorkommen sind generell etwas niedriger. Es wird lediglich in den Filtermatten nicht erfasst. Auch Metolachlor wird nicht in den Filtermatten erfasst, ist aber in den Passivsammlern auf fast allen Standorten und in hohen Mengen nachzuweisen. Es kommt auch an vielen Rindenstandorten und in geringerem Umfang im Bienenbrot vor (Tab. 32, 34 und 35).

Auch Altstoffe wie Lindan und PCB lassen sich vielfach finden.

Die Verbreitung der häufigsten Wirkstoffe wurde für die einzelnen Matrices (siehe Abb. 28, 29, 31, 32, 34 und 35) und auch für alle Daten grafisch dargestellt (siehe Abb. 41, 42 und 43).

6.3 Welche Faktoren beeinflussen das Vorkommen der Wirkstoffe?

In der statistischen Analyse wurden die Faktoren Naturraum (s. Abb. 61), biogeografische Region (BioGeo), Winderosionsfaktor am Standort (Erosion₃), Lage in einem Schutzgebiet (SchutzGebJN), landwirtschaftliche Intensität (LwintK), Distanz zur Quelle (DistanzE) und für die Passivsammler der Faktor Bio-Anbau (BioJN) auf ihre Bedeutung für die Anzahl der gemessenen Wirkstoffe und die gemessenen Wirkstoff-Konzentrationen untersucht. Die Faktoren an den Standorten sind auch in Tab. 36 angegeben.

Der Ort des Probenstandort (Naturraum), aber auch die Intensität der Landwirtschaft sind generell für alle untersuchten Medien die bedeutendsten Faktoren (Tab. 3, 5 und 6).

Dennoch ergibt das Zusammenspiel von sechs Faktoren und drei unterschiedlichen Matrices nicht immer klar umrissene Antworten. Die Ergebnisse bilden ein multifaktorielles, komplexes Netz unterschiedlichster Wirkungen. Grundsätzlich ist die Bedeutung der verschiedenen Faktoren Pestsizid-spezifisch. In dieser Zusammenfassung sind nur die bedeutendsten Zusammenhänge aufgeführt.

Die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe am Standort als Maß für die Standortbelastung wurde gesondert betrachtet. In den Passivsammlern ist die Belastung eindeutig mit der landwirtschaftlichen Intensität am Standort verknüpft. Bei hoher Intensität finden wir eine hohe Anzahl an Wirkstoffen vor, bei geringer Aktivität wenige. Im Bienenbrot ist die Anzahl der Wirkstoffe in allen Regionen außer dem Alpenvorland deutlich erhöht, wenn sich die potenzielle Quelle auf weniger als 100 bis 1000 m nähert und niedriger, wenn die Quelle mehr als 1000 m entfernt ist. Die Luft über biologisch bewirtschafteten Flächen unterscheidet sich in ihrer Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe nicht von anderen Standorten.

Betrachtet man einzelne Wirkstoffe, so ist eine erhöhte landwirtschaftliche Aktivität oft, aber nicht immer, bei entsprechenden Wirkstoffen, wie Glyphosat, Chlorthalonil und Terbutylazin, mit hohen Werten verknüpft. Die vorgefundene Konzentration von Pendimethalin ist, ebenso wie die von Metolachlor und Prothioconazol-desthio, unabhängig vom landwirtschaftlichen Umfeld.

Für Glyphosat und seinen Metaboliten AMPA hat die Winderosion der umgebenden Böden deutlich weniger Einfluss, als im Rindenmonitoring von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al.

2019a) vermutet. Bei Werten über der Klasse 1,0 (s. Tab. 1) steigen die gemessenen Glyphosatkonzentrationen in den Passivsammlern dennoch deutlich an.

In den meisten Fällen weisen Schutzgebiete keine geringeren Konzentrationen auf als nicht geschützte Gebiete. Unter bestimmten Bedingungen können für Pendimethalin und Prothioconazol-desthio hier niedrigere Konzentrationen nachgewiesen werden.

Das Vorkommen von Pestizid-Wirkstoffen wie Terbutylazin, AMPA und Prosulfocarb ist nicht abhängig davon, wie weit die nächste potenzielle Quelle entfernt ist. Für Pendimethalin lässt sich in der Analyse ein Ferntransport des Wirkstoffs nachweisen. Im Norddeutschen Tiefland (Ost und West) ist die Konzentration des Pestizid-Wirkstoffs auch dann hoch, wenn die potenzielle Quelle mehr als einen Kilometer entfernt liegt. Über die statistische Analyse hinaus zeigen Standorte, die entfernt von potenziellen Quellen liegen, wie der Nationalpark Bayerischer Wald und der Nationalpark Harz, immer noch eine Pestizid-Belastung der Luft mit 6 (bereinigt 5, s. Tab. 32) bzw. 13 (bereinigt 12, s. Tab. 32) nachgewiesenen Substanzen.

Ob ein Standort biologisch bewirtschaftet wird oder nicht, hat sowohl auf die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe als auch auf die gemessenen Wirkstoff-Konzentrationen sehr wenig Einfluss. Lediglich Metolachlor ist hier eine Ausnahme. Seine Werte sind deutlich niedriger an Bio-Standorten.

Im Vorfeld der Studie wurden eine Reihe von möglichen Einflussfaktoren definiert (s. Abschnitt 3.1 und Kapitel 4 sowie Tab. 31), deren Bedeutung für die Studienergebnisse in der statistischen Analyse (s. Tab. 1) geprüft wurde. Die statistische Analyse ermöglicht es, zufällige Varianzen in den Daten von systematischen Varianzen zu unterscheiden. Damit ist sie ein sehr wirkungsvolles und aussagekräftiges Instrument der Analyse, das für jeden untersuchten Wirkstoff ein genaues Bild der beeinflussenden Faktoren erlaubt. Diese Aussage wird spezifisch für jedes untersuchte Element getroffen. Im folgenden Abschnitt sollen die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst werden.

Die Faktoren Naturraum (Naturraum, Abb. 61), biogeografische Region (BioGeo), Winderosionsfaktor am Standort (Erosion₃), Lage in einem Schutzgebiet (SchutzGeb_{JN}), landwirtschaftliche Intensität (Lwint_K) und Distanz zur Quelle (Distanz_E) wurden an allen Standorten erfasst. In Klammern sind die Bezeichnungen der Faktoren in der statistischen Analyse (s. Tab. 1) angegeben. Bei der Analyse der Ergebnisse muss beachtet werden, dass Faktoren wie Naturraum, landwirtschaftliche Intensität und Winderosionsfaktor nicht immer völlig unabhängig voneinander sind.

Bei den Passivsammlern konnte ein Faktor Bio-Anbau Ja-oder-Nein (Bio_{JN}, s. Tab. 1) eingefügt werden. Hier gab es 8 Standorte auf Biobetrieben sowie 2 Standorte in Nationalparks, in denen davon auszugehen war, dass dort keine chemisch-synthetischen Pestizide ausgebracht wurden. Damit konnten 10 von 49 Standorten dieser Kategorie zugeordnet werden.

Die Übersicht über die Ergebnisse der statistischen Analyse geben für die jeweiligen Matrices die Tab. 3, 5 und 6. Angegeben ist hier der Anteil an der Gesamtvarianz (100 Prozent), der durch einen der Faktoren erklärbar ist. Je größer der Anteil an der Gesamtvarianz ist, umso bedeutender ist der Faktor für die gemessenen Werte.

Für die Passivsammler und die Matrix Bienenbrot wurde eine Analyse mit Hilfe von Regressionsbäumen durchgeführt (s. Tab. 36, Abb.2.1–2.9 und Abb. 5.1–5.7). Hier ist zu erkennen, in welcher Art und Weise sich die Faktoren auf die Werte auswirken.

Weiterhin wurden für alle Berechnungen Balkendiagramme erstellt. Diese erläutern, unter welchen Bedingungen welche Werte zu finden sind (s. Tab. 36, Abb. 3, 4, 6 und 7). Standorte mit biologischer Produktion sind dabei hellgrün gekennzeichnet. Die im folgenden diskutierten Ergebnisse greifen auf die dort angegebenen Daten zurück (s. Tab. 1, 3, 5 und 6 sowie Tab. 36).

Wie bereits im Probenvergleich angedeutet, tragen auch in der statistischen Analyse die Passivsammler die aussagekräftigsten Ergebnisse bei (s. Tab. 3). Der Anteil der Varianz, der anhand der untersuchten Faktoren erklärt werden konnte, lag hier mit 30,2 bis 55,8 Prozent relativ hoch. Der Naturraum des Standorts und die Intensität der Landwirtschaft sind generell als wichtige Faktoren für

die gemessenen Werte ausgewiesen. Die Distanz zur nächsten potenziellen Quelle hat jedoch wenig Auswirkungen auf die gefundenen Werte. Auch die Ausrichtung eines Standorts auf biologische Bewirtschaftung wirkt sich kaum aus. Lediglich für Metolachlor können hier bedeutend niedrigere Werte festgestellt werden. Die Daten sind komplex verknüpft und müssen für jeden untersuchten Stoff gesondert betrachtet werden.

Da bei den Filtermatten nur wenige Werte zur Verfügung standen, wurde hier eine Varianzanalyse durchgeführt, die zum Teil sehr gute Ergebnisse zeigte (z. B. für die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe – 65,7 Prozent; Tab. 5). Für Fenpropidin konnte allerdings kein Faktor als relevant identifiziert werden (Bestimmungsmaß = 0 Prozent). Auch hier sind der Naturraum des Standorts und die Intensität der Landwirtschaft die bedeutendsten Faktoren, die die gemessenen Werte vor Ort bestimmen.

Im Bienenbrot (s. Tab. 6) können die untersuchten Standortfaktoren einen sehr viel kleineren Anteil der Varianz vorhersagen. Den höchsten Wert erreicht der Parameter »Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe« mit 35,1 Prozent. Das bedeutet, dass die Höhe und die Anzahl der Wirkstoffe im Bienenbrot durch Faktoren gesteuert werden, die wie im oben genannten Fall zu 64,9 Prozent ausschlaggebend sind, ohne dass wir sie benennen können. Wieder ist der Naturraum des Standorts ein signifikanter Faktor. Die Intensität der Landwirtschaft beeinflusst die gemessenen Werte im Bienenbrot sehr viel weniger signifikant als in den anderen Medien.

In welche Richtung die untersuchten Faktoren wirken, ist in den Regressionsbäumen für die Passivsammler und das Bienenbrot wiedergegeben. Auch die Balkendiagramme helfen beim Verständnis der Zusammenhänge (s. Tab. 36). Einfache Beschreibungen der Form »Die Ausprägung X von Faktor Y ist immer mit einer Erhöhung der Konzentration um Z Prozent verbunden« sind nicht möglich.

Alle Berechnungen zeigen die komplexen und nicht immer linearen Auswirkungen der untersuchten Faktoren. Die gemessenen Wirkstoff-Konzentrationen werden von einem Netz unterschiedlicher Kombinationen beeinflusst. Es ergibt sich kein einheitliches Bild für alle Wirkstoffe. Jeder Stoff muss gesondert betrachtet werden (s. Tab. 3, 5 und 6 sowie Tab. 36).

6.3.1 Wirkung der Faktoren auf die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe

Eine hohe bzw. niedrige landwirtschaftliche Intensität resultiert in den Passivsammlern in einer hohen bzw. niedrigen Belastung mit verschiedenen Wirkstoffen. Auch in den Filtermatten, nicht aber im Bienenbrot, kann das beobachtet werden. In allen untersuchten Matrices war die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe davon abhängig, wo in Deutschland der Sammler stand. Das Ergebnis für die Passivsammler ist sehr komplex. Auch an Standorten innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten kommen sowohl hohe als auch niedrige Werte vor. Das gilt hier auch für die Distanz zur nächsten potenziellen Quelle. Für das Bienenbrot ergibt sich für diesen Faktor eine klare Zuordnung. In allen Naturräumen außer dem Alpenvorland finden sich mehr nachgewiesene Wirkstoffe, wenn die potenzielle Quelle innerhalb von 1000 m lokalisiert war.

Biologisch bewirtschaftete Flächen, auf denen keine Wirkstoffe ausgebracht wurden, sind in der Regel durch die Luft eingetragenen Wirkstoffen genauso ausgesetzt wie alle weiteren Standorte.

Die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe stellt ein Gesamtmaß der Belastung eines Standorts dar. Daher soll dieses Ergebnis separat von den gemessenen Konzentrationen der Wirkstoffe diskutiert werden. Auch hier werden wieder die Ergebnisse der statistischen Analyse herangezogen (s. Tab. 1, 3, 5, 6 und 31 sowie Kapitel 4 und Tab. 36).

Für die Passivsammler werden die Daten durch die landwirtschaftliche Intensität des Standorts eingeteilt (Tab. 36, Abb. 2.1). Eine geringe landwirtschaftliche Intensität bedeutet auch, dass weniger Wirkstoffe nachgewiesen werden (11,0 bzw. 14,1 Wirkstoffe gegenüber 16,7 Wirkstoffen im Gesamtmedian).

Für eine mittlere und hohe landwirtschaftliche Aktivität und eine Distanz von 100 bis 1000 m zur nächsten potenziellen Quelle werden im Alpenvorland (a), dem Nordostdeutschen Tiefland (b),

dem Nordwestdeutschen Tiefland (c) und dem Östlichen Mittelgebirge (d) deutlich höhere Werte von 22,4 Wirkstoffen nachgewiesen. Im Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) oder dem Westlichen Mittelgebirge (f) liegen die Werte mit 16,8 Wirkstoffen deutlich niedriger (Tab. 36, Abb. 2,1).

Wenn die Distanz zur potenziellen Quelle gering oder aber hoch ist und kein Schutzgebiet vorliegt, wurden im Nordostdeutschen Tiefland über 20 Wirkstoffe gemessen (20,5 Wirkstoffe gegenüber 18,1 Wirkstoffen in allen Standorten mit mittlerer und hoher landwirtschaftlicher Aktivität) (Tab. 36, Abb. 2.1). Innerhalb eines Schutzgebiets können sogar noch höhere Pestizidaufkommen auftreten (23,8 Wirkstoffe in den Regionen Alpenvorland (a), Nordwestdeutsches Tiefland (c), Östliche Mittelgebirge (d) oder Westliches Mittelgebirge (f)). Schon die grafische Darstellung der Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in Abb. 19 und 20 hatte angedeutet, dass Schutzgebiete nicht unbedingt durch weniger Wirkstoffe belastet sind.

Die Anzahl der Wirkstoffe (Tab. 36, Abb. 2.1) wird nicht deutlich von der Distanz zur nächsten Quelle beeinflusst. Obwohl hier eine klare Signifikanz vorliegt, weisen die folgenden Kategorien sowohl bei einer Distanz von weniger als 100 m und einer Distanz von mehr als 1000 m hohe Pestizidbelastungen auf. Auch bei einer Distanz zwischen 100 und 1000 m finden wir ähnliche Werte.

Die Distanz zur nächsten Quelle beeinflusst in allen drei Matrices die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe (Tab. 3, 5 und 6). Das wird im Bienenbrot besonders deutlich (Tab. 36, Abb. 5.1). Hier ist die Anzahl der Wirkstoffe in allen Naturräumen außer dem Alpenvorland deutlich höher, wenn die potenzielle Quelle im nahen oder mittleren Bereich liegt (Median: alle Proben 1,8 Wirkstoffe; Standorte mit Quellen innerhalb eines Kilometers 4,2 Wirkstoffe). In den Passivsammlern ist das Bild sehr viel komplexer, wie oben ausgeführt.

Biologisch bewirtschaftete Flächen sind der Anzahl der durch die Luft eingetragenen Wirkstoffe genauso ausgesetzt wie alle weiteren Standorte (Tab. 4).

6.3.2 Die Wirkung der Faktoren auf einzelne Wirkstoffe

6.3.2.1 *Landwirtschaftliche Intensität, naturräumliche Gliederung und biogeografische Region*

Die Lage innerhalb Deutschlands (naturräumliche Gliederung) und die landwirtschaftliche Intensität sind die wichtigsten Faktoren, von denen die nachgewiesene Wirkstoff-Menge abhängt. Die verschiedenen Naturräume sind sehr komplex mit den Daten verknüpft. Wo erhöhte Konzentrationen nachgewiesen werden, ist Wirkstoff-spezifisch. Eine hohe bis mittlere landwirtschaftliche Aktivität in der Region ist bei den entsprechenden Wirkstoffen oft, aber nicht immer, mit höheren Werten verknüpft. Für Pendimethalin sind die nachgewiesenen Werte von der landwirtschaftlichen Intensität unabhängig. Metolachlor, Terbutylazin und Prosulfocarb können hohe Werte im Nordwestdeutschen Tiefland zugeordnet werden.

Die geografisch unterschiedlichen Regionen Deutschlands werden in der naturräumlichen Gliederung (s. Abb. 61) erfasst. Die naturräumliche Gliederung (Faktor Naturraum – Tab. 3, 5 und 6) wird in allen drei Tabellen als relevanter Faktor erkannt. Lediglich die Verteilung der Wirkstoffe Fenpropidin, Tebuconazol, Azoxystrobin und Folpet in den Filtermatten ist nicht vom Naturraum der Messung abhängig.

Für viele Wirkstoffe konnte nachgewiesen werden, was die grafische Betrachtung schon angedeutet hatte: Das Vorkommen ist über Deutschland hinweg nicht gleich verteilt. Dies gilt für die meisten untersuchten Wirkstoffe in den Passivsammlern.

Bei den Filtermatten sind Glyphosat, AMPA, Boscalid und Ametoctradin vermehrt in bestimmten Naturräumen zu finden. Das Bestimmungsmaß dafür ist hoch. Bei den Bienenbrot-Proben kann für alle untersuchten Wirkstoffe dieser Zusammenhang ebenfalls bestätigt werden (Pendimethalin, Thiacloprid, Tau-Fluvalinat, Terbutylazin, Prosulfocarb, Icaridin). Das Bestimmtheitsmaß ist zum Teil nicht so deutlich wie bei den Filtermatten.

Die landwirtschaftliche Intensität ist der zweite Faktor, der in allen beobachteten Matrices einen großen Anteil an der Gesamtvarianz erklären kann. In den Regressionsbäumen der Passivsammler für die Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe Glyphosat, Chlorthalonil, Terbuthylazin, AMPA und Prosulfocarb ist es der erste bestimmende Faktor (Tab. 3 sowie Tab. 36, Abb. 2.1, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 und 2.9). Eine höhere landwirtschaftliche Aktivität bedingt dabei meist höhere Messungen. Abhängig von anderen Faktoren muss das nicht zwangsläufig immer der Fall sein. Für Glyphosat (Tab. 36, Abb. 2.2). beobachten wir in den Naturräumen Alpenvorland (a), Östliche Mittelgebirge (d) und Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) deutlich niedrigere Konzentrationen, auch wenn die landwirtschaftliche Intensität hoch ist. Bei Chlorthalonil (Tab. 36, Abb. 2.3). ist die Konzentration in den Proben bei mittlerer bis hoher landwirtschaftlicher Intensität deutlich erhöht, es sei denn, der Standort liegt im Nordwestdeutschen Tiefland (c).

Die nachgewiesenen Mengen von Pendimethalin, Metolachlor und Prothioconazol-desthio in den Passivsammlern sind nicht von der landwirtschaftlichen Aktivität abhängig (Tab. 3). Für Pendimethalin und Terbuthylazin gilt das auch im Bienenbrot (Tab. 6).

Die vom atlantischen Klima geprägte biogeografische Region ist deckungsgleich mit dem Naturraum Nordwestdeutsches Tiefland (b) (Abb. 61). Soweit ein Effekt nur im Nordwestdeutschen Tiefland auftritt, kann das in der statistischen Auswertung als Effekt der biogeografischen Region »atlantisch« erscheinen, wie auch als besonders hoher oder tiefer Koeffizient der Ausprägung »Nordwestdeutsches Tiefland« des Faktors Naturraum. Für die Wirkstoffe Metolachlor (1,9 Prozent), Terbuthylazin (5,2 Prozent) und Prosulfocarb (1,7 Prozent) in den Passivsammlern (Tab. 3) werden Anteile an der Gesamtvarianz erklärt. Für diese Wirkstoffe können deutlich erhöhte Werte im Nordwestdeutschen Tiefland festgestellt werden (Tab. 36, Abb. 2.4, 2.6 und 2.9). Im Bienenbrot gilt das auch für Pendimethalin (11,8 Prozent) (Tab. 6 sowie Tab. 36, Abb 5.2).

6.3.2.2 Winderosionsfaktor

Wie bereits in der Untersuchung von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) zeigt sich auch in diesen Ergebnissen, dass die Verbreitung von Glyphosat vom Winderosionsfaktor abhängt. Die Bedeutung der Winderosion fällt in der vorliegenden Studie jedoch deutlich geringer aus als im Rindenmonitoring von 2018. Dies gilt ebenso für seinen Metaboliten AMPA. Weiteren Einfluss hat die Winderosion auf die Wirkstoffe Tebuconazol in den Filtermatten und Thiacloprid und Prosulfocarb im Bienenbrot.

In den Untersuchungen des Rindenmonitorings von 2014 bis 2018 war die Bedeutung der Winderosion für die gemessenen Glyphosatkonzentrationen festgestellt worden. Auch in dieser Studie ist der gemessene Wert für Glyphosat in den Passivsammlern höher, wenn die Winderosion den geringsten Wert ($a = 0,5$) überschreitet (Tab. 3 sowie Tab. 36, Abb. 2.2; Glyphosat bei Winderosionsfaktor $a - 205,5$ ng/Probe; Glyphosat bei Winderosionsfaktor b bis $d - 453,7$ ng/Probe). Das gilt für Gebiete mit hoher landwirtschaftlicher Aktivität in den Naturräumen Nordostdeutsches Tiefland (b), Nordwestdeutsches Tiefland (c) und Östliche Mittelgebirge (d). In den Filtermatten, die selbständig Luft einziehen, konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

Für Prothioconazol-desthio (Tab. 36, Abb. 2.7) wird die Winderosion nur bedeutend, wenn die nächste Quelle über 1000 Meter entfernt liegt. Dann finden wir erhöhte Werte, jedoch noch unterhalb des Medians für alle Proben, wenn die Winderosionsklasse b (1,5–2,0) und d (3,5–5,0) erreicht wird (Gesamtmedian 10,5 ng/Probe; Median Erosionsklasse b und d , bei einer 1000 m entfernten Quelle – 6,8 ng/Probe).

In den Filtermatten ist nur Tebuconazol (Tab. 36, Abb. 4 – Tebuconazol) deutlich von der Winderosion des Bodens beeinflusst.

Im Bienenbrot ist für Thiacloprid und Prosulfocarb (Tab. 36, Abb. 5.3 und 5.6) ein hoher Anteil der Gesamtvarianz durch die Winderosion abgedeckt. Bei Thiacloprid ist die beobachtete Konzentration in der Winderosionsklasse von 2,5 bis 3,0 erhöht, wenn sich der Standort in den Naturräumen

Nordwestdeutsches Tiefland (c), Östliche Mittelgebirge (d) oder Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) befindet (3,5 µg/kg Gesamtmedian; 5,3 µg/kg in Naturraum c, d und e).

Ähnlich ist das Ergebnis für Prosulfocarb im Bienenbrot. Hier finden wir bei einem erhöhten Winderosionsfaktor von 1,5 bis 3,0 einen Median von von 8,4 µg/kg gegenüber dem Gesamtmedian von 5,9 µg/kg..

6.3.2.3 Lage in einem Schutzgebiet

Schutzgebiete werden nur in wenigen Fällen signifikant vor hohen Wirkstoff-Konzentrationen geschützt. Für Glyphosat, Chlorthalonil, Metolachlor und Terbuthylazin in den Passivsammlern, Glyphosat, AMPA, Fenpropidin, Azoxystrobin, Folpet und Ametoctradin in den Filtermatten und alle statistisch untersuchten Wirkstoffe im Bienenbrot kann kein Unterschied zwischen den Konzentrationen innerhalb und außerhalb von Schutzgebieten nachgewiesen werden. Für Pendimethalin und Prothioconazol-desthio ist unter bestimmten Bedingungen eine geringere Konzentration in Schutzgebieten zu finden, für AMPA und Prosulfocarb kann sie dort auch höher sein.

In den Daten von 2018 war auch die Lage in einem Schutzgebiet als Faktor berücksichtigt worden. Dabei wurden alle Schutzkategorien (LSG – Landschaftsschutzgebiet, VSG – Vogelschutzgebiet, NLP – Nationalpark, NP – Naturpark, FFH – Flora-Fauna-Habitat-Schutzgebiete, BR – Biosphärenreservat, NSG – Naturschutzgebiet, hier keine Standorte vorhanden; s. Tab. 31) herangezogen. Für die Schutzgebiete muss bedacht werden, dass eine landwirtschaftliche Nutzung durch den Schutzstatus nicht ausgeschlossen ist. Dies gilt nur für ausgewiesene Gebiete innerhalb von Nationalparks.

Die Lage in einem Schutzgebiet hat bei einem großen Teil der untersuchten Wirkstoffe keinen Einfluss auf die Konzentration. Das bedeutet, ihre Konzentration ist innerhalb von Schutzgebieten genauso hoch wie außerhalb. In den Passivsammlern gilt das für Glyphosat, Chlorthalonil, Metolachlor und Terbuthylazin (Tab. 3), in den Filtermatten für Glyphosat, AMPA, Fenpropidin, Azoxystrobin, Folpet und Ametoctradin (Tab. 5), im Bienenbrot für alle statistisch untersuchten Wirkstoffe (Tab. 6).

Eine Auswirkung hat das Schutzgebiet für Pendimethalin in den Passivsammlern (Tab. 36, Abb. 2.5), wenn eine potenzielle Quelle innerhalb von 1000 m zum Standort und im Alpenvorland (a) oder dem Nordostdeutschen Tiefland (b) liegt. Hier ist der Median innerhalb des Schutzgebiets deutlich niedriger (11,6 ng/Probe) als außerhalb (80,3 ng/Probe). Für Prothioconazol-desthio (Tab. 36, Abb. 2.7) gilt das für die Räume Nordostdeutsches Tiefland (b) und Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) mit jeweils 22,1 ng/Probe außerhalb und 4,8 ng/Probe innerhalb eines Schutzgebiets. Bei AMPA und Prosulfocarb sind höhere Konzentrationen innerhalb von Schutzgebieten als außerhalb zu finden (Tab. 36, Abb. 2.8 und 2.9).

6.3.2.4 Distanz zur nächsten potenziellen Quelle

Insgesamt ist die statistische Relevanz der Distanz (bis 100 m; 100 bis 1000 m; über 1000 m) für die beobachteten Werte weniger bedeutend, als es der Faktor vermuten lässt. Die statistische Analyse zeigt, dass die gemessenen Werte in den Passivsammlern Terbuthylazin, AMPA und Prosulfocarb nicht von der Distanz zur nächsten potenziellen Quelle beeinflusst werden. Für Glyphosat und Chlorthalonil ist die Distanz nur dann bedeutend, wenn der Standort keine hohe landwirtschaftliche Intensität aufweist. Lediglich Metolachlor weist hohe Werte auf, wenn die potenzielle Quelle nicht mehr als 1000 m entfernt ist. Eine klare Abhängigkeit von der Distanz weist Pendimethalin auf. Die statistische Analyse belegt, dass hohe Konzentrationen in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen des Nordostdeutschen Tieflands (b) und des Nordwestdeutschen Tieflands (c) auch erhöht sind, wenn die potenzielle Quelle mehr als einen Kilometer entfernt ist.

Über die statistische Analyse hinaus zeigen die Ergebnisse der Messungen besonders bei Standorten, deren potenzielle Quellen entfernt liegen, dass auch dort Wirkstoffe nachgewiesen werden. Als Beispiele sollen hier der Nationalpark Bayerischer Wald und der Nationalpark Brocken dienen, in

denen jeweils 6 (bereinigt 5, s. Tab. 32) bzw. 13 (bereinigt 12, s. Tab. 32) Wirkstoffe in den Passivsammlern nachgewiesen werden konnten.

Die Distanz zur nächsten potenziellen Quelle (bis 100 m; 100 bis 1000 m; über 1000 m) ist für die beobachteten Werte weniger bedeutend, als es der Faktor vermuten lässt. Ein Zusammenhang lässt sich in den Passivsammlern, den Filtermatten und dem Bienenbrot nicht bei allen statistisch untersuchten Wirkstoffen nachweisen (Tab. 3, 5 und 6 sowie Tab. 36).

In den Passivsammlern trägt er, wenn signifikant, meist nur einstellig zur beobachteten Varianz bei. Für Prothioconazol-desthio, einem Metaboliten des Pestizids Prothioconazol, (Tab. 36, Abb. 2.7) ist es im Regressionsbaum der erste signifikante Faktor mit größerem Beitrag (17,5 Prozent). Bei Beobachtungen in den Naturräumen Alpenvorland (a), Nordwestdeutsches Tiefland (c), Östliches Mittelgebirge (d) und Westliches Mittelgebirge (f) ist die gemessene Konzentration (63,6 ng/Probe) dabei deutlich über dem Gesamtmedian (10,5 ng/Probe), wenn die potenzielle Quelle zwischen 100 und 1000 m entfernt liegt. Ist sie im Nahbereich angesiedelt, liegt der Median nur bei 22,9 ng/Probe.

Für Glyphosat wird die Distanz im Nahbereich (> 100 m) bedeutend, wenn die landwirtschaftliche Intensität im geringen oder mittleren Bereich liegt. Sie liegt dort leicht über dem Gesamtmedian von 123,9 ng/Probe bei 131,0 ng/Probe. (Tab. 36, Abb. 2.2)

Bei geringer und mittlerer landwirtschaftlicher Intensität findet sich sehr viel mehr Chlorthalonil im Naturraum Nordwestdeutsches Tiefland (c), wenn die potenzielle Quelle mehr als 100 m entfernt liegt (206,1 ng/Probe; Gesamtmedian 129,4 ng/Probe) (Tab. 36, Abb. 2.3).

Eine potenzielle Quelle in einer Distanz von bis zu 1000 m wirkt sich auf deutlich erhöhte Werte bei Metolachlor aus (Tab. 36, Abb. 2.4). In der biogeografischen Region mit atlantischem Klima (= Nordwestdeutsches Tiefland) liegt Metolachlor (204,0 ng/Probe) deutlich über dem Median der Gesamtprobe (30,3 ng/Probe), wenn die nächste Quelle weniger als einen Kilometer entfernt ist.

Auch für Pendimethalin wird nach Distanz zur nächsten Quelle als erstem Faktor unterschieden (Tab. 36, Abb. 2.5). Das heißt jedoch nicht, dass die Werte bei einer Distanz von mehr als 1000 m kleiner werden. In den Regionen Nordostdeutsches Tiefland (b) und Nordwestdeutsches Tiefland (c) finden sich Konzentrationen mit einem Median von 251,8 ng/Probe. Er liegt damit höher als der Median in den Räumen Nordwestdeutsches Tiefland (c), Östliches Mittelgebirge (d) oder Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) und Westliches Mittelgebirge (f) bei einer Distanz von unter 100 bis 1000 m (Median hier 206,2 ng/Probe; Gesamtmedian 64,7 ng/Probe). Damit kann in der statistischen Analyse die Neigung von Pendimethalin zu einem Transport über 1000 m hinaus dokumentiert werden.

In den Filtermatten ist die Distanz zur nächsten Quelle für Tebuconazol und Folpet der wichtigste Faktor der erklärten Varianz (Tab. 5). Die vorgefundenen Konzentrationen fallen monoton mit zunehmender Distanz.

Auch die Werte für Thiachlopid, Terbutylazin und Icaridin im Bienenbrot sind von der Distanz zur Quelle beeinflusst (Tab. 6). Ihr Einfluss auf den ermittelten Median ist jedoch nicht gravierend (Thiachlopid: 3,3 bzw. 3,8 µg/kg je nach Distanz – Gesamtmedian 3,6 µg/kg; Terbutylazin: 6,7 µg/kg bei naher und ferner Distanz – Gesamtmedian 5,7 µg/kg; Icaridin: Distanz zwischen 100 und 1000 m 4,8 µg/kg – Gesamtmedian 6,4 µg/kg) (Tab. 36, Abb. 5.3, 5.5 und 5.7).

Um die Bedeutung der Distanz zur nächsten Quelle abschließend zu beurteilen, sollen auch Daten herangezogen werden, die von der statistischen Analyse nicht erfasst werden.

Die Analyseergebnisse der Passivsammler zeigen, dass in großer Distanz von einer Quelle Wirkstoffe zu finden sind (Tab. 32). So weist der Passivsammler im Nationalpark Bayerischer Wald trotz der großen Distanz von einer Quelle zwar den geringsten belasteten Standort in allen untersuchten Proben auf, jedoch waren immer noch 6 Wirkstoffe zu finden (Proben-Nr. 748/1007: Glyphosat (26,1 ng/Probe); Chlorpropham (49,45 ng/Probe), Chlorthalonil (62,8 ng/Probe); Dimethenamid (209,2 ng/Probe); HCB (37,8 ng/Probe); HCH-gamma (49,5 ng/Probe). Auf dem exponierten Brocken im Nationalpark Harz (Proben-Nr. 740/1000) finden sich 13 (bereinigt 12, s. Tab. 32) Wirkstoffe, einige

in erheblichen Mengen, wie Glyphosat (99,2 ng/Probe), Chlorthalonil (1494,7 ng/Probe), Terbutylazin (49,3 ng/Probe) und Prothioconazol-desthio (58,7 ng/Probe).

Die erhaltenen Ergebnisse belegen daher, dass der Transport der Wirkstoffe vom Abstand zur Quelle in vielen Fällen abhängig ist, aber der Transport auch über sehr weite Strecken stattfindet, wobei die Überlagerung der Quellen sicherlich auch eine Rolle spielen kann.

Ein weiteres deutliches Beispiel von Ferntransport gibt auch der Nachweis des Wirkstoffs Chlorpyrifos. Der Wirkstoff ist seit 2009 in Deutschland nicht mehr zugelassen. In den Passivsammlern konnte es an 11 Standorten nachgewiesen werden (Abb. 59, Tab. 32). Auch in Schweden kommt es in vielen Proben des Pestizid-Monitorings vor (Kreuger und Lindström 2019).

6.3.2.5 Bio-Anbau

Die Tatsache, ob ein Standort biologisch bewirtschaftet wird oder nicht, hat sehr wenig Einfluss auf die in der Luft nachgewiesenen Wirkstoffe. Lediglich für Metolachlor finden sich deutlich niedrigere Konzentrationen auf biologisch bewirtschafteten Flächen. Unter bestimmten Bedingungen werden für Chlorthalonil und AMPA höhere Konzentrationen auf biologisch bewirtschafteten Böden gemessen.

Für die Analyse der Daten der Passivsammler war die Einführung eines Faktors Bio-Anbau (ja oder nein) möglich, da sich 10 Standorte auf dem Gelände eines biologisch geführten Betriebs befanden und zwei Standorte in Nationalparks keinen Einsatz chemisch-synthetischer Wirkstoffe erlauben. Damit kann die Frage beantwortet werden, ob biologisch wirtschaftende Betriebe vor Pestizid-Immissionen geschützt sind. Die Größe der biologisch bewirtschafteten Fläche spielte bei der Auswertung keine Rolle.

Die Tatsache, ob ein Standort biologisch bewirtschaftet wird oder nicht, hat sehr wenig Einfluss auf die in der Luft nachgewiesenen Wirkstoffe (Tab. 3). Bedeutend ist jedoch der Einfluss der Bio-Wirtschaft für Metolachlor (Tab. 36, Abb. 2.4). In Bio-Betrieben liegt der gemessene Wert bei einem Median von 1,9 ng/Probe deutlich unter dem Gesamtmedian von 30,3 ng/Probe.

Chlorthalonil wird in den Passivsammlern auf Standorten mit mittlerer bis hoher landwirtschaftlicher Intensität auf Bio-Flächen in deutlich höheren Konzentrationen gemessen (539,3 ng/Probe) als an sonstigen Standorten (234,4 ng/Probe). Standorte mit mittlerer bis hoher landwirtschaftlicher Intensität weisen zum Vergleich einen Median von 218,1 ng/Probe auf (vgl. Tab. 36, Abb. 2.3).

Bei AMPA wird eine Signifikanz in den Regionen Alpenvorland (a), Östliches Mittelgebirge (d), Südwestdeutsches Mittelgebirge/Stufenland (e) und Westliches Mittelgebirge (f), die mit AMPA generell weniger belastet sind, ausgewiesen (Tab. 36, Abb. 2.8). Betrachtet man eine mittlere landwirtschaftliche Intensität, finden sich hier vermehrt hohe Konzentrationen des Metaboliten (37,5 ng/Probe, Median in der Gruppe Naturraum a, d, e, f – 1,223 ng/Probe).

In den Balkendiagrammen des statistischen Supplements (s. Tab. 36, Abb. 3) sind die Standorte mit biologischer Produktion hellgrün gekennzeichnet. Die Verteilung der Werte innerhalb der Ergebnisse kann dort abgelesen werden.

6.4 Welche Wirkstoffe kennzeichnen unterschiedliche Natur- und Wirtschaftsräume?

Der große Teil der untersuchten Standorte war durch Ackerbau geprägt (Tab. 31). Die Wirkstoffe, die in den untersuchten Matrices gefunden wurden, reflektieren diese Standortwahl. Dennoch ist, wie bereits ausgeführt, die Zusammensetzung der Wirkstoffe deutlich vom untersuchten Medium geprägt.

Die Herbizide Glyphosat, Metolachlor, Pendimethalin, Terbutylazin und Prosulfocarb sowie das Fungizid Chlorthalonil und Prothioconazol-desthio (Metabolit des Fungizids Prothioconazols) werden im Ackerbau genutzt und sind in den Messergebnissen in großem Ausmaß zu finden.

Doch auch Wirkstoffe, die nicht auf Ackerbau zurückzuführen sind, können in den Proben nachgewiesen werden. So finden wir Folpet (Anwendung meist im Weinbau) an vielen Standorten in unterschiedlichen Matrices (s. Abb. 57). Lediglich zwei Probestandorte waren als Regionen mit Obstbau ausgewiesen, für Weinbau waren es drei. Auf dem Brocken im Nationalpark Harz (Proben-Nr. 740/1000) zum Beispiel finden wir noch 23,5 ng/Probe Folpet.

7 Diskussion

Die Ergebnisse des Rindenmonitorings von 2014 bis 2018 (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) waren die ersten Untersuchungen, die die Belastung der Luft mit Pestizid-Wirkstoffen zu erfassen versuchten. Die jetzt vorliegenden Ergebnisse haben diesen Ansatz noch einmal deutlich erweitert. Primäres Ziel der Studie war es, entsprechende Wirkstoffe in der Luft zu erfassen.

Die Resultate deuten an, dass es auf dem Gebiet der Bundesrepublik kaum einen Ort geben dürfte, an dem sich keine Wirkstoffe in der Luft finden. Für Altstoffe wie DDT, PCB und Lindan war das bereits lange bekannt. Zugelassene und im Gebrauch befindliche Wirkstoffe wurden hier zum ersten Mal untersucht. Eine Datenbasis lag nicht vor.

Dies gilt ganz besonders für Glyphosat. Es ist davon auszugehen, dass ein Passivsammler oder eine untersuchte Filtermatte auf dem Gebiet der Bundesrepublik grundsätzlich Glyphosat nachweisen wird, da es in diesen Medien zu 100 Prozent nachgewiesen wurde. Ein Resultat ohne das Pestizid ist nur unter Ausnahmebedingungen vorstellbar. Für Glyphosat, aber auch für viele andere Wirkstoffe wurde ein Transport über die Luft bislang ausgeschlossen.

Dabei ziehen die relevanten EU-Verordnungen (European Union (EU) 2008; European Commission 2020) die Möglichkeit, dass Wirkstoffe über die Luft vertragen werden, durchaus in Betracht. Allerdings empfiehlt die EFSA bei Wirkstoffen mit geringer und mittlerer Flüchtigkeit eine auf Standardwerten beruhende Expositionsabschätzung. Die Überlegung dabei ist, dass bei diesen Substanzen eine Verdriftung über den Nahbereich hinaus keine Rolle spielt.

Der große Teil der nachgewiesenen Wirkstoffe fällt unter diese Klassifizierung. Daher widersprechen unsere Ergebnisse der EFSA-Annahme, dass ein Ferntransport bei nicht-flüchtigen Wirkstoffen bedeutungslos sei.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sind einer Privatinitiative zu verdanken. Aufgrund der Annahmen der EFSA gab es für Behörden keinen Grund, Pestizid-Wirkstoffe in der Luft zu überwachen.

Doch Pestizid-Wirkstoffe in der Luft sind eine Belastung, der sich niemand entziehen kann. Ein regelmäßiges Monitoring dieser Wirkstoffe in der Luft ist eine Aufgabe, die in den Bereich des Immissionschutzes gehört und zu den Vorsorgepflichten des Staates zählen sollte. Mit Hilfe von Aktivsammlern nach schwedischem Vorbild wären auch quantifizierbare Aussagen möglich.

Was bedeuten die Ergebnisse der vorliegenden Studie für die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung? Eine toxikologische Begutachtung dieser Frage war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Doch Peter Clausing (Clausing 2020) untersuchte die potenziellen toxikologischen Wirkungen der Wirkstoffe, die in der Rindenmonitoring-Studie (Hofmann, Schlechtriemen et al. 2019a) gefunden wurden. Die Wirkstoff-Zusammensetzung ist in weiten Teilen deckungsgleich mit den Ergebnissen dieser Studie.

Er kommt zu dem Schluss, dass die Risikobewertung einer Exposition gegenüber Pestizid-Wirkstoffen über die Atemluft derzeit nur aus einer stark eingeschränkten Sichtweise erfolgt. Die Studien, die die maximal zulässigen Rückstandsmengen festlegen, basieren auf nur einem Wirkstoff und nur einem Expositionsweg, nämlich der Aufnahme über den Magen-Darm-Trakt. Clausing (Clausing 2020) weist darauf hin, dass der Mensch oftmals mehr als einem einzigen Wirkstoff gleichzeitig ausgesetzt ist. Außerdem können Pestizid-Wirkstoffe nicht nur über die Nahrung, sondern auch über die Atemluft und – von geringerer Bedeutung – über die Haut in den Körper gelangen. Es liegen aber keine Daten zur Auswirkung von über die Lunge aufgenommenen Pestizid-Wirkstoffen vor. Auch Aussagen zu Kumulations- und Synergieeffekten, die durch die Aufnahme von mehr als einem Wirkstoff zu erwarten sind, liegen nicht vor, da der Gesetzgeber in der Pestizidzulassung dazu keine systematische Untersuchung vorschreibt.

Eine Aussage über die gesundheitlichen Konsequenzen von aus der Luft aufgenommenen Pestizid-Wirkstoffen ist daher auch nicht ansatzweise möglich.

Neben potenziellen Auswirkungen auf die Gesundheit hat die Wirkstoff-Konzentration in der Luft auch deutliche wirtschaftliche Konsequenzen. Die biologische Landwirtschaft, deren Wirtschaftsweise und damit der Verzicht auf chemisch-synthetische Hilfsstoffe, wie Pestizid-Wirkstoffe, streng kontrolliert wird, beruft sich auf die Koexistenz der Anbauformen, die in der EG-Öko-Basisverordnung (European Union (EU) 2018) verankert wurde.

Gegen Verunreinigungen aus der Luft können sich die Betriebe nicht schützen. Insbesondere der Einsatz von Pendimethalin und Prosulfocarb sorgt für vermehrte Konflikte zwischen den Anbauformen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Pendimethalin in den landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen im Norden auch bei entfernt liegenden Quellen in hohen gemessenen Konzentrationen vor Ort vorliegen kann. Weiterhin ist auch die Anzahl der vor Ort nachgewiesenen Wirkstoffe an Standorten mit Bio-Anbau nicht niedriger als dort, wo nicht explizit auf chemisch-synthetische Pestizide verzichtet wird.

Initiativen zur Reduktion des Pestizideinsatzes in der konventionellen Landwirtschaft können hier ein erster, wichtiger Schritt sein. Für Pendimethalin, das einen großen Teil der beobachteten Probleme verantwortet, wäre eine Suche nach Alternativen wünschenswert.

Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen 110 Mitwirkenden und Spendern, ohne die diese Ergebnisse nie möglich gewesen wären.

Des Weiteren bedanken wir uns bei allen, die uns unbürokratisch ihre Unterstützung gegeben haben, insbesondere bei:

- Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau:
Jürgen Heß, Lukas Tiedemann, Anke Mindermann, Helmut Saucke
- Soroptimist International, Deutschland
- Tanja Barbian, BÖLW, Referentin Recht
- Annette Battefeld, Landwirtin
- Güde Boysen, Landwirtin
- Markus von Eyb, Landwirt
- Martin Gahbauer, Nationalpark Bayerischer Wald
- Marlene Hansen
- Elisabeth Hass, Betreuung Passivsammler – Niedersächsische Elbtalaue
- Dr. Gunther Karste, Nationalpark Harz
- Werner von der Ohe, LAVES, Institut für Bienenkunde, Celle
- Andrea Press, Gerd Godt-Grell Stiftung
- Johannes Prüter, Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue
- Thomas Radetzki, Aurelia Stiftung
- Marc Schüller, Imkerfachberatung
- Helmut Tietz, Imkermeister
- Dipl.-Agr.-Ing. Rudolf Vögel, Landesamt für Umwelt (LfU), Eberswalde, Brandenburg

Weiterhin haben an der Berichterstellung mitgewirkt:

- Dipl.-Biologin Ulrike Kuhn, Gewässer-Vegetation, Bremen, TIEM-Partnerin
- Dr. Günter Lach, Lach & Bruns Partnerschaft, Hamburg
- Dipl.-Biologin MAS (GIS) Ragna Mißkampff, GIS-Services, Bremen, TIEM-Partnerin für GIS
- Dr. Hanne Peters; Chemikerin; Klein Sarau, TIEM-Partnerin
- Lukas Plaß, studentische Hilfskraft, Umwelt-, Hygiene- und Sicherheitsingenieurwesen, THM Gießen
- Dr. Karla Pozo, Masaryk University | MUNI Research Centre for Toxic Compounds in the Environment (RECETOX), TIEM-Partnerin aus dem GAPS Programm
- Dr. Peter Stolz, KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH, TIEM-Partnerlabor

8 Literatur

ODB nach der Jahreszahl kennzeichnet Online Datenbanken. In diesem Fall gibt die Jahreszahl das Jahr des letzten Aufrufs an.

Bayerisches Landesamt für Umwelt und Umweltbundesamt Österreich (2019): PureAlps 2016 – 2020: Monitoring von Schadstoffen in den Alpen.

Bayerisches Landesamt für Verbrauchersicherheit und Lebensmittel (LGL) (2018): Bewertung von erhöhten Lindan-Konzentrationen in der Raumluft. Abrufbar unter: https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/arbeitsplatz_umwelt/chemische_umweltfaktoren/lindan_raumluft.htm, zuletzt abgerufen: 20.04.20.

Buijs, J., Samwel-Mantingh, M., Berendse, F., van Mansvelt, J. D., van der Berg, M., Ragas, A.M.J., Oomen, G. und Dicke, M. (2019): Een onderzoek naar mogelijke relaties tussen de afname van weidevogels en de aanwezigheid van bestrijdingsmiddelen op veehouderijbedrijven: onderzoeksrapport. Bennekom: Buijs Agro-Services.

Bundesamt für Naturschutz (BfN), GeoBasis-DE/BKG, EuroGeographics und Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie (BSH) (2020 ODB): BfN-Geodienste: Schutzgebiete in Deutschland. Abrufbar unter: <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2020a): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_uebersichtsliste.pdf?__blob=publicationFile&v=10. zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2020b ODB): Online-Datenbank Pflanzenschutzmittel. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/01_Online-Datenbank/psm_onlineDB_node.html, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2020c ODB): Naturhaushalt. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/03_Antragsteller/04_Zulassungsverfahren/08_Naturhaushalt/psm_naturhaush_node.html, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BLV) (2019a): Widerruf der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln mit dem Wirkstoff Chlorthalonil zum 31. Oktober 2019. In: Fachmeldungen aus dem Arbeitsbereich »Pflanzenschutz«. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2019/2019_06_19_Fa_Widerruf_Chlorthalonil.html, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2019b): EU-Genehmigung des Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffs Chlorpropham nicht erneuert. .In: Fachmeldungen aus dem Arbeitsbereich »Pflanzenschutz«. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/04_pflanzenschutzmittel/2019/2019_06_21_Fa_Nichtgenehmigung_Chlorpropham.html, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2018): Untersuchung von Lebensmitteln - Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC-MS und LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE in pflanzlichen Lebensmitteln - Modulares QuEChERS-Verfahren. (Neufassung der Methode L 00.00-115 durch die Arbeitsgruppe „Pestizide“ nach § 64 LFGB). Beuth Verlag.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2017): Routineuntersuchungen zur Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen nach ASU L 00.00-115 für sonstige

- Materialien aus Landwirtschaft und Gartenbau mit geringem Fettgehalt (niedrige BG). Beuth Verlag.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2010): Berichte zu Pflanzenschutzmitteln 2009. In: Peter Brandt (Hg.): BVL-Reporte, 5 (1). Basel: Springer Basel. Abrufbar unter: https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/bericht_WirkstoffelnPSM_2009.pdf?__blob=publicationFile&v=3. zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2009): Funde in Grünkohl: Abdrift/Verflüchtigung von Pendimethalin. TOP 6, Protokoll der 24. Sitzung des Fachbeirat Naturhaushalt am 23./24.9.2009 im BVL Braunschweig, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2015): Potentielle Erosionsgefährdung der Ackerböden durch Wind in Deutschland. Bereitgestellt von: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Abrufbar unter: <https://www.geoportal.de/portal/main/>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Clausing, P. (2020): Baumrinden-Monitoring der Pestizid-Belastung über die Luft: Eine toxikologische Bewertung. Bündnis für eine enkeltaugliche Landwirtschaft e.V. (Hg.). Abrufbar unter: https://www.enkeltauglich.bio/?page_id=721, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Clausing, P., Robinson, C. und Burtscher-Schaden, H. (2018): Pesticides and public health: An analysis of the regulatory approach to assessing the carcinogenicity of glyphosate in the European Union. In: *Journal of Epidemiology and Community Health*, 72 (8): 668–672.
- Cortes, S., Pozo, K., Llanos, Y., Martinez, N., Foerster, C., Leiva, C., Ustáriz, J., Přibylková, P., Klánová, J. und Jorquera H. (2020): First measurement of human exposure to current use pesticides (CUPs) in the atmosphere of central Chile: The case study of Mauco cohort. In: *Atmospheric Pollution Research*, 11 (4): 776–784.
- DIN CEN/TS 16817-1 (2016): Außenluft – Monitoring der Wirkungen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) – Pollenmonitoring – Teil 1: Technische Pollensammlung mit Pollenmassefilter (PMF) und Sigma-2-Sammler; Deutsche Fassung CEN/TS 16817-1:2015. DIN CEN/TS 16817-1*DIN SPEC 33971. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN ISO 13528 (2020): Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2015, korrigierte Fassung 2016-10-15). Berlin: Beuth Verlag.
- DIN 32645 (2008): Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung. Berlin: Beuth Verlag.
- Eisler, R. (1994): *Famphur Hazards to Fish, Wildlife, and Invertebrates: A Synoptic Review*. U.S. Department of the Interior, National Biological Survey (Hg.): *Contaminant Hazard Reviews*, 27: Biological Report 20. Abrufbar unter: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/5200103>, zuletzt abgerufen: 26.04.2020.
- European Chemicals Agency (ECHA) (2020 ODB): Informationen über Chemikalien: Registrierte Stoffe. Abrufbar unter: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances>, zuletzt abgerufen: 21.04.2020.
- European Commission (2020): Commission Implementing Regulation (EU) 2020/23 of 13 January 2020 concerning the non-renewal of the approval of the active substance thiacloprid, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011. In: *Amtsblatt der Europäischen Union* 8, 8–11.
- European Food Safety Authority (2015a): Conclusion on pesticide peer review – Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance glyphosate. In: *EFSA Journal*, 13 (11): 4302.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2015b): Final addendum to the Renewal Assessment Report – public version. Risk assessment provided by the rapporteur Member State Germany and

- co-rapporteur Member State Slovakia for the active substance GLYPHOSATE according to the procedure for the renewal of the inclusion of a second group of active substances. Annex I to Council Directive 91/414/EEC. in laid down in Commission Regulation (EU) No. 1141/2010. Abrufbar unter: https://corporateeurope.org/sites/default/files/attachments/4302add_public.pdf, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- European Food Safety Authority (EFSA) (2014): Guidance on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products. In: EFSA Journal, 12 (10): 3874.
- European Union (EU) (2018): Verordnung (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates. Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32018R0848>. ELL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2018/848/oj>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- European Union (EU) (2009): Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates. Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=celex%3A32009R1107>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- European Union (EU) (2008): Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (Text von Bedeutung für den EWR). Abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32008R1272>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Farenhorst, A., Andronak, L. A. und McQueen, R. D. A. (2015): Bulk Deposition of Pesticides in a Canadian City: Part 1. Glyphosate and Other Agricultural Pesticides. In: Water Air and Soil Pollution, 226 (47).
- Goebel, R. und M. Schulz (2006). »Repellentien; Insekten erfolgreich abwehren.« Pharmazeutische Zeitung (PZ). Abrufbar unter: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=1640>, zuletzt abgerufen 07.07.2020.
- Gouin, T., Wania, F., Ruepert C. und Castillo, L. E. (2008): Field Testing Passive Air Samplers for Current Use Pesticides in a Tropical Environment. In: Environmental Science and Technology, 42 (17): 6625–6630.
- Hayward, S.J., Gouin, T. und Wania, F. (2010): Comparison of four active and passive sampling techniques for pesticides in air. In: Environmental Science and Technology, 44 (9): 3410–3416.
- Heinisch, E., Kettrup, A. und Wenzel-Klein, S. (1993): DDT/Lindan-Masseneinsätze in der DDR. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 5: 277–280.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) (1997): 6.17 Aniline. In: Bewertungen von Stoffen/Stoffgruppen. Abrufbar unter: https://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliessgewaesser/gewaesserbelastung/orientierende_messungen/6.17Aniline.pdf, zuletzt abgerufen: 12.05.20.
- Herkert, N.J., Spak, S., Smith, A., Schuster, J.K., Harner, T., Martinez, A., und Hornbuckle, K. C. (2018): Calibration and evaluation of PUF-PAS sampling rates across the Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) network. In: Environmental Science: Processes and Impacts, 20: 210–219.
- Hofmann, F. und Schleichriemen, U. (2017): Biomonitoring der Immissionsbelastung von Glyphosat, Glufosinat und AMPA sowie weiteren PSM-Wirkstoffen mittels Luftgüte-Rindenmonitoring-Ergebnisse Screening 2017. TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR (Hg.). Abrufbar unter: <http://tieminform.de/PUBLIKATIONEN/>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.

- Hofmann, F. und Schlechtriemen, U. (2016): Ökotoxikologische Expertise und Feldmessungen zur Verbreitung von PSM-Rückständen über den Luftpfad 2014/2016. TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR (Hg.). Abrufbar unter: <http://tieminfo.de/PUBLIKATIONEN/>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Hofmann, F. und Schlechtriemen, U. (2015): Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. In: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (Hg.): Fachbeiträge des LUGV, 147. Abrufbar unter: http://www.lfu.brandenburg.de/media_fast/4055/fb_lugv-147.pdf/, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Hofmann, F., Schlechtriemen, U., Kruse-Platz, M. und Wosniok, W. (2019a): Biomonitoring der Pestizid-Belastung der Luft mittels Luftgüte-Rindenmonitoring und Multi-Analytik auf >500 PSM-Wirkstoffe inklusive Glyphosat 2014–2018. TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR (Hg.). Abrufbar unter: <http://enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2019/02/Bericht-H18-Rinde-20190210-1518-1.pdf>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Hofmann, F., Schlechtriemen, U., Kruse-Platz, M. und Wosniok, W. (2019b): Pilot-Monitoring 2018 zur Evaluation geeigneter Passivsammler-Verfahren für ein Citizen-Science-Projekt im Jahr 2019 – Baumrinde, Petersilie, Passivsammler (PAS-PUF, PAS-XAD, PMF-XAD), Luftfilter. TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR (Hg.). Abrufbar unter: <http://tieminfo.de/PUBLIKATIONEN/>, zuletzt abgerufen: 20.04.2020.
- Hofmann, F., Schlechtriemen, U., Wosniok, W., Siemers, U., Bracke, G., Giesemann, G. und Duve, M. (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring - Ein neues Probenahmegerät und Verfahren zum Biomonitoring von Luftschadstoffen für akkumulierbare Substanzen mit der Möglichkeit des Fingerprintings von Immissionsquellen. Landsberg: ecomed-verlagsgesellschaft.
- Jensen, A. R., Spliid, N. H. und Svensmark, B. (2007): Determination of volatilization (dissipation) and secondary deposition of pesticides in a field study using passive dosimeters. In: International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 87 (13-14): 913–926.
- Koblizkova, M., Lee, S. C. und Harner, T. (2012): Sorbent impregnated polyurethane foam disk passive air samplers for investigating current-use pesticides at the global scale. In: Atmospheric Pollution Research, 3 (4): 456–462.
- Kreuger, J., Larsson, M. und Nanos, T. (2013): Atmospheric transport and deposition of pesticides in Sweden [PowerPoint Presentation]. York: Pesticide Behaviour in Soil, Water and Air, 2.–4. September 2013. Abrufbar unter: <https://www.york.ac.uk/conferences/yorkpesticides2013/pdfs/Tuesday%209-50.pdf>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Kreuger, J. und Lindström, B. (2019): Long-term monitoring of pesticides in air and atmospheric deposition in Sweden [PowerPoint Presentation]. Abrufbar unter: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ckb/publikationer/presentationer/presentation-luft_kreuger-iu-pac-2019.pdf, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Krüger, M., Lindner, A., und Heimrath, J. (2016): Nachweis von Glyphosat im Urin freiwilliger, selbstzahlender Studienteilnehmer – »Urinale 2015«. Abrufbar unter: <http://www.urinale.org/wp-content/uploads/2016/03/PK-Text-Handout.pdf>. (Tables and Graphs: <http://www.urinale.org/wp-content/uploads/2016/03/PK-Daten-Handout.pdf>), zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Kühne, S. und Friedrich, B. (2010): Pyrethrine. Julius-Kühn-Institut (JKI) (Hg.). Abrufbar unter: <https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/index.php?menuid=50>, zuletzt abgerufen: 20.04.20.
- Morshed, M. M., Omar, D., Mohamad, R. B., und Wahed, S. B. A. (2011): Determination of glyphosate through passive and active sampling methods in a treated field atmosphere. In: African Journal of Agricultural Research, 6 (17): 4010–4018.
- Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2013): Pflanzenschutzmittelrückstände in Grünkohl – Ergebnisse des 4. Quartal 2012. Abrufbar unter: http://www.laves.niedersachsen.de/download/75482/Pflanzenschutzmittelrueckstaende_in_Gruenkohl.pdf, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.

- Potrykus, A., Schöpel, M., Broneder, C., Kühnl, M., Burgstaller, M., Schlummer, M., Gruber, L. und Bauer, D. (2020): Untersuchung von Abfällen auf das Vorkommen nichttechnischer PCB Kongenere und DecaBDE. Umweltbundesamt (Hg.): Texte 111.
- Pozo, K., Harner, T., Wania, F., Muir, D. G. C., Jones K. C., und Barrie, L. A. (2006): Toward a Global Network for Persistent Organic Pollutants in Air: Results from the GAPS Study. In: *Environmental Science and Technology*, 40 (16): 4867–4873.
- Shoeib, M., Harner, T., Lee, S. C., Lane, D. und Zhu, J. (2008): Sorbent-Impregnated Polyurethane Foam Disk for Passive Air Sampling of Volatile Fluorinated Chemicals. In: *Analytical Chemistry*, 80 (3): 675–682.
- Speiser, B. (2014): Rückstände von o-Phenylphenol in Bioprodukten [Gutachten]. FiBL Schweiz/Suisse (Hg.).
- Sonnentor Kräuterhandels GmbH, Herbaria Kräuterparadies GmbH, Weleda AG, Völpel GmbH & Co. KG, Rosenhof Naturkost GbR, SALUS Haus Dr. med. Otto Greither Nachf. GmbH & Co. KG, Gut Wilmersdorf, Biokräuterhof Walter Sturm GmbH und Biolandhof Cordes an Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2016): Ferntransport bestimmter Pflanzenschutzmittel – Hier: dringender Handlungsbedarf [Offener Brief]. Abrufbar unter: <https://heidismist.files.wordpress.com/2016/06/offener-brief-bio-unternehmen-zum-ferntransport-von-pestiziden.pdf>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Statistisches Bundesamt (2020): Landwirtschaftliche Bodennutzung – Rebflächen 2019. In: *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3, Reihe 3.1.5*. Abrufbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wein/Publikationen/Downloads-Wein/rebflaechen-2030315197004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Tong, B. und Speiser, B. (2017): Rückstände von Anthrachinon in Lebensmitteln. FiBL Schweiz/ Suisse (Hg.).
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2017): Stockholm Convention on persistent organic pollutants. Second global monitoring report. UNEP/POPS/COP.8/INF/38. Abrufbar unter: <http://www.pops.int/Implementation/GlobalMonitoringPlan/MonitoringReports/tabid/525/Default.aspx>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Universität Hohenheim, Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) – Institut für Bienenkunde Celle, Friedrich-Loeffler-Institut – Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit – Nationales Referenzlabor für Bienenkrankheiten et al. (Hg.) (2018): Zwischenbericht 2018. Deutsches Bienenmonitoring – »DeBiMo«. Eingereicht bei: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Abrufbar unter https://bienenmonitoring.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/bienenmonitoring/Dokumente/Zwischenbericht_DeBiMo_2018.pdf, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- van Dijk, H. F. G. und Guicherit, R. (1999): Atmospheric Dispersion of Current-Use Pesticides: A Review of the Evidence from Monitoring Studies. In: *Water, Air & Soil Pollution*, 115: 21–70.
- von der Ohe, W. und Martens, D. (2011): Das Deutsche Bienenmonitoring – Pflanzenschutzmittel-Rückstände im Bienenbrot. In: *ADIZ/db/IF*, 10: 8–9.
- Wallner, K. (Powerpoint (o.J.)). Rückstandsproblematik in Bienenprodukten. Was sollte der Imker wissen?, Universität Hohenheim, Landesanstalt für Bienenkunde, August-von-Hartmann-Str. 13, 70593 Stuttgart. Abrufbar unter: https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/uploads/media/Meisterkurs_11_Wallner_Rueckstaende.pdf, zuletzt abgerufen 07.07.2020.
- Wania, F., Shen, L., Lei, Y. D., Teixeira, C. und Muir, D. C. G. (2003): Development and Calibration of a Resin-Based Passive Sampling System for Monitoring Persistent Organic Pollutants in the Atmosphere. In: *Environmental Science and Technology*, 37 (7): 1352 - 1359.

- Watts, M., Clausing, P., Lyssimachou, A., Schütte, G., Guadagnini, R. und Marquez, E. (2016): Glyphosate. PAN Pesticide Action Network International (Hg.). Abrufbar unter: <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Weiß, T. und Angerer, J. (2004): Belastung der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch nitroaromatischen Verbindungen – Der Einfluss von Ernährung und Bekleidung. Erlangen: Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Friedrich-Alexander-Universität.
- Wosniok, W. (2007): Technical note: On the treatment of values below the limit of detection. Abrufbar unter: <http://510132374.swh.strato-hosting.eu/PUBLIKATIONEN/>, zuletzt abgerufen: 15.03.2020.
- Zhang, X., Brown, T.N., Ansari, A., Yeun, B., Kitaoka, K., Kondo, A., Lei, Y.D. und Wania, F. (2013): Effect of Wind on the Chemical Uptake Kinetics of a Passive Air Sampler. In: *Environmental Science and Technology*, 47 (14): 7868–7875.
- Zhang, X., Tsurukawa, M., Nakano, T., Lei, Y.D., und Wania, F. (2011): Sampling medium side resistance to uptake of semivolatile organic compounds in passive air samplers. In: *Environmental Science and Technology*, 45 (24): 10509–10515.
- Zhang, X. und Wania, F. (2012): Modeling the Uptake of Semivolatile Organic Compounds by Passive Air Samplers: Importance of Mass Transfer Processes within the Porous Sampling Media. In: *Environmental Science and Technology*, 46 (17): 9563–9570.

9 Anhang

9.1 Analytik der Wirkstoffe

Tab. 25: Liste der in der ASU L 00.00-115 verzeichneten Wirkstoffe.
 (Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB; Untersuchung von Lebensmitteln; Neufassung der Multimethode zur Bestimmung von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln mittels GC-MS und/oder LC-MS/MS nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE (QuEChERS); Neufassung der Methode L 00.00–115 durch die Arbeitsgruppe »Pestizide« nach § 64 LFGB; Oktober 2018). Sie sind nach Wirkstoff, Wirkstoffklasse und Bestimmungsgrenze (mg/kg) aufgeführt.
 Glyphosat, Aminomethylphosphonsäure (AMPA) und Glufosinat sind nicht in der Liste enthalten, weil für sie eine gesonderte Analytik (LC-MS/MS und Quantifizierung über isotopenmarkierten Standard) erforderlich ist. GC = Gaschromatographie, LC = Flüssigchromatographie; Labor: KWALIS Qualitätsforschung Fulda GmbH.
 Abkürzungen für Wirkstoffklassen in Tab. 26 im Anschluss.

Wirkstoff	Wirkstoff-klasse	Nachweis-meth.	Bestimmungsgrenze				
				Benazolin	H	LC	0,010
				Bendiocarb	I	LC	0,005
				Benfluralin	H	GC	0,010
				Benfuracarb	I, N	LC	0,020
1-Naphthylacetamid (1-NAD)	W	LC	0,010	Benomyl	F	LC	0,010
2,4,5-T	H, W	LC	0,010	Bensulfuron-methyl	H	LC	0,010
2,4-D	H	LC	0,010	Bentazon	H	LC	0,010
2,4-D-1-butyl ester	H	GC	0,010	Benthiavalicarb-isopropyl	F	LC	0,010
2,4-D-2-ethylhexylester	H	GC	0,010	Bifenazat	I, A	LC	0,010
2,4-DB	H	LC	0,010	Bifenox	H	GC	0,010
2,4-D-butylglykolester	H	GC	0,010	Bifenthrin	I, A	GC	0,010
2-Phenylphenol	F	GC	0,010	Bitertanol	F	GC	0,010
3,4,5-Trimethacarb	I	LC	0,010	Bixafen	F	LC	0,010
3,4-Dichloranilin	Met	GC	0,010	Boscalid (Nicobifen)	F	LC	0,010
3,5-Dichloranilin	Met	GC	0,010	Bromacil	H	LC	0,010
3-Chloranilin	Met	GC	0,010	Bromfeninfos	I	LC	0,010
4,4-Dibrombenzophenon	Met	GC	0,010	Bromocyclen	I	GC	0,010
4,4-Dichlorbenzophenon	Met	GC	0,010	Bromophos-ethyl	I	GC	0,010
4-Chlorphenoxyessigsäure	H	LC	0,010	Bromophos-methyl	I	GC	0,010
4-Chlorphenylharnstoff	Met	LC	0,010	Bromoxynil	H	LC	0,010
Acetamidiprid	I, A	LC	0,010	Bromoxynil-octanoat	H	GC	0,010
Acetochlor	H	LC	0,010	Brompropylat	A	GC	0,010
Acibenzolar-S-methyl	F	GC	0,010	Bromuconazol	F	GC	0,010
Aclonifen	H	GC	0,010	Bupirimat	F	GC	0,010
Alachlor	H	LC	0,010	Buprofezin	A, I	LC	0,010
Aldicarb	I, A, N	LC	0,010	Butafenacil	H	LC	0,010
Aldicarb-sulfon (Aldoxycarb)	Met	LC	0,010	Butocarboxim	I	LC	0,010
Aldicarb-sulfoxid	Met	LC	0,010	Butocarboxim-sulfoxid	Met	LC	0,010
Aldrin	I	GC	0,010	Butoxycarboxim	I, A, Met	LC	0,010
Allethrin	I	LC	0,010	Cadusafos	I, N	LC	0,010
Ametoctradin	F	LC	0,010	Captafol	F	GC	0,010
Ametryn	H	LC	0,010	Captan	F	GC	0,005
Amidosulfuron	H	LC	0,010	Carbaryl	I, W	LC	0,010
Aminocarb	H	GC	0,010	Carbendazim	F	LC	0,010
Atrazin	H	LC	0,010	Carbofuran	I, N, A	LC	0,010
Atrazin-desethyl	Met	LC	0,010	Carbofuran-3-hydroxy	Met	LC	0,010
Atrazin-desisopropyl	Met	LC	0,010	Carbophenothion	I, A	GC	0,010
Azaconazol	I, F	GC	0,010	Carbophenothion-methyl	I	GC	0,020
Azamethiphos	I	LC	0,010	Carbosulfan	I, N	LC	0,010
Azinphos-ethyl	I, A	GC	0,010	Carboxin	F	LC	0,010
Azinphos-methyl	I, A	GC	0,010	Chinomethionat	A, F	GC	0,010
Aziprotryn	H	LC	0,010	Chlorantraniliprol	I, A	LC	0,010
Azoxystrobin	F	LC	0,005	Chlorbensid	A, I	GC	0,010
Beflubutamid	H	LC	0,010	Chlorbenzilat	A	GC	0,010
Benalaxyl (Summe der Isomeren einschl. Benalaxyl-M)	F	GC	0,010	Chlordan-cis	I	GC	0,010

Chlordan-trans	I	GC	0,010	Diclobutrazol	F	GC	0,010
Chlorfenapyr	I, A	GC	0,010	Dicloran	F	GC	0,010
Chlorfenprop-methyl	H	GC	0,010	Dicofol-op	Met	GC	0,010
Chlorfenson	I, A	GC	0,010	Dicofol-pp	A	GC	0,010
Chlorfenvinphos	I	LC	0,010	Dicrotophos	I, A	LC	0,010
Chlorflurenol	W	GC	0,010	Dieldrin	I, Met	GC	0,010
Chlorflurenol-methyl	H, W	GC	0,010	Diethofencarb	F	GC	0,010
Chloridazon	H	LC	0,010	Difenoconazol	F	LC	0,010
Chlormephos	I	GC	0,010	Difenoxuron	H	LC	0,010
Chloroneb	F	GC	0,010	Diffufenican	H	GC	0,010
Chloroxuron	H	LC	0,010	Dimethenamid	H	GC	0,010
Chlorpropham	K	GC	0,010	Dimethoat	I, A	LC	0,010
Chlorpropylat	A	GC	0,010	Dimethomorph	F	LC	0,005
Chlorpyrifos-ethyl	I, A	GC	0,005	Dimoxystrobin	F	LC	0,010
Chlorpyrifos-methyl	I, A	GC	0,010	Diniconazol	F	GC	0,010
Chlorsulfuron	H	LC	0,010	Dinoseb	H	LC	0,010
Chlorthal-dimethyl	H	GC	0,010	Dinotefuran	I	LC	0,010
Chlorthalonil	W	GC	0,010	Dioxacarb	I	LC	0,010
Chlorthion	I	GC	0,010	Dioxathion	I	LC	0,010
Chlorthiophos	I	GC	0,010	Diphenamid	H	GC	0,010
Chlortoluron	H	LC	0,010	Diphenylamin	W	GC/LC	0,010
Chlozolinat	F	GC	0,010	Dipropetryn	H	GC	0,010
Cinerin 1	I, A	GC	0,010	Disulfoton	I	LC	0,010
Cinerin 2	I, A	GC	0,010	Disulfoton-sulfon	Met	LC	0,010
Cinosulfuron	H	LC	0,010	Disulfoton-sulfoxid	Met, I, A	LC	0,010
Clethodim	H	LC	0,010	Ditalimfos (Plondrel)	F	LC	0,010
Climbazol	F	LC	0,010	Dithianon	F	LC	0,020
Clodinafop-propargyl	H	LC	0,010	Diuron	H	LC	0,010
Clofentezin	I, A	LC	0,010	DMST	Met	LC	0,010
Clomazon	H	LC	0,010	Dodin	F	LC	0,010
Cloquintocet-1-methylhexylester	Safener	LC	0,010	Emamectin B1a	I	LC	0,010
Coumaphos	I	LC	0,010	Emamectin B1b	I	LC	0,010
Crimidin	R	LC	0,010	Endosulfan-alpha	I, A	GC	0,010
Cyanazin	H	LC	0,010	Endosulfan-beta	I, A	GC	0,010
Cyanophenphos	I	GC	0,010	Endosulfansulfat	I, A	GC	0,010
Cyanophos	I	GC	0,010	Endrin	I, R	GC	0,010
Cyazofamid	F	GC	0,010	EPN	I, A	GC	0,010
Cycloat	H	GC	0,010	Epoxiconazol	F	LC	0,010
Cycloxydim	H	LC	0,010	EPTC	H	GC	0,010
Cyflufenamid	F	LC	0,010	Etaconazol	F	GC	0,010
Cyfluthrin	I, A	GC	0,010	Ethiofencarb	I	LC	0,010
Cyhexatin	A	LC	0,010	Ethiofencarb-sulfon	Met	LC	0,010
Cymoxanil	F	LC	0,010	Ethiofencarb-sulfoxid	Met	LC	0,010
Cypermethrin	I, A	GC	0,010	Ethion	I, A	GC	0,010
Cyprazin	H	LC	0,010	Ethirimol	F	LC	0,010
Cyproconazol	F	GC	0,010	Ethofumesat	H	GC/LC	0,010
Cyprodinil	F	LC	0,005	Ethofumesat-2-keton	Met, H	GC	0,010
Cyromazin	I	LC	0,030	Ethoprophos	N, I	LC	0,010
Dazomet	N, F, H	LC	0,020	Ethoxyquin	W	GC	0,010
DDD-op	I, Met	GC	0,005	Etoxazol	I	LC	0,010
DDD-pp	I, Met	GC	0,005	Etridiazol	F	GC	0,010
DDE-op	Met	GC	0,005	Etrimfos	I, A	LC	0,010
DDE-pp	Met	GC	0,005	Famophos (Famphur)	I	GC	0,010
DDT-op	I, Met	GC	0,005	Famoxadon	F	LC	0,010
DDT-pp	I	GC	0,005	Fenamidon	F	LC	0,010
DEET (Diethyltoluamid)	I, P	LC	0,010	Fenamiphos	N	LC	0,010
DEF	W	GC	0,010	Fenamiphos-sulfon	Met	LC	0,010
Deltamethrin	I, A	GC	0,010	Fenamiphos-sulfoxid	Met	LC	0,010
Demeton (S/O)	I, A	LC	0,010	Fenarimol	F	GC	0,005
Demeton-S-methyl	I, A	LC	0,010	Fenazaquin	I, A	LC	0,010
Demeton-S-methylsulfon	I, Met	LC	0,010	Fenbuconazol	F	GC	0,010
Desmetryn	H	LC	0,010	Fenbutatinoxid	A	LC	0,010
Dialifos	I, A	LC	0,010	Fenchlorazol-ethyl	Safener	LC	0,010
Diallat	H	GC	0,010	Fenchlorphos	I	GC	0,010
Diazinon	I, A	LC	0,010	Fenfluthrin	I	GC	0,010
Dicamba	H	LC	0,010	Fenhexamid	F	LC	0,010
Dichlobenil	H	GC	0,020	Fenitrothion	I, A	GC	0,010
Dichlofenthion	I	GC	0,010	Fenobucarb	I	LC	0,010
Dichlofluanid	F	GC	0,010	Fenoprop (2,4,5-TP)	W, H	LC	0,010
Dichlorprop	H	LC	0,010	Fenoxaprop-P	H	LC	0,010
Dichlorvos	I, A	GC	0,010	Fenoxycarb	I, A	LC	0,010

Fenpiclonil	F	GC/LC	0,010	Heptachlorepid-trans	Met	GC	0,010
Fenpropathrin	I, A	GC	0,010	Heptenphos	I	LC	0,010
Fenpropidin	F	LC	0,010	Hexaflumuron	I	LC	0,010
Fenpropimorph	F	LC	0,005	Hexazinon	H	LC	0,010
Fenpyroximat	I, A	LC	0,005	Hexythiazox	I, A	LC	0,010
Fenson	A	GC	0,010	Icaridin	I, P	LC	0,010
Fensulfothion	I, N	LC	0,010	Imazalil	F	LC	0,005
Fensulfothion-oxon	Met	LC	0,010	Imibenconazol	F	LC	0,010
Fensulfothion-oxon-sulfon	Met	LC	0,010	Imidacloprid	I, A	LC	0,005
Fensulfothion-sulfon	Met	GC	0,010	Indoxacarb	I, A	LC	0,010
Fenthion	I	LC	0,020	Iodosulfuron-methyl	H	LC	0,010
Fenthion-oxon	Met	LC	0,010	loxynil	H	LC	0,010
Fenthion-oxon-sulfon	Met	LC	0,010	loxynil-octanoat	H	GC	0,010
Fenthion-oxon-sulfoxid	Met	LC	0,010	Iprobenfos	F	LC	0,005
Fenthion-sulfon	Met	GC	0,010	Iprodion	F	GC	0,010
Fenthion-sulfoxid	Met	LC	0,010	Iprovalicarb	F	LC	0,005
Fentin	F	LC	0,010	Isazofos	I	LC	0,010
Fenvalerat (jedes Verhältnis der Isomerbestandteile (RR, SS, RS & SR) einschließlich Esfenvalerat)	I, A	GC	0,010	Isocarbofos	A, I	LC	0,010
Fipronil	I	LC	0,005	Isodrin	I	GC	0,010
Fipronil-sulfon	Met	GC	0,010	Isofenphos	I	LC	0,010
Fipronil-desulfinyl	Met	GC	0,010	Isofenphos-methyl	I	GC	0,010
Flazasulfuron	H	LC	0,010	Isofenphos-oxon	I, Met	LC	0,010
Flonicamid	I, A	GC	0,010	Isomethiozin	H	LC	0,010
Florasulam	H	LC	0,010	Isoprocab	I	LC	0,010
Fluazifop (freie Säure)	H	LC	0,010	Isopropalin	H	GC	0,010
Fluazifop-P-butyl	H	LC	0,010	Isoprothiolan	F	LC	0,010
Fluazinam	F	LC	0,010	Isoproturon	H	LC	0,010
Flubendiamid	I	LC	0,010	Isopyrazam	F	LC	0,010
Flubenzimin	A	GC	0,010	Isoxaben	H	LC	0,010
Fluchloralin	H	GC	0,010	Isxadifen-ethyl	Safener	LC	0,010
Flucythrinat	I	GC	0,010	Isoxaflutol	H	LC	0,010
Fludioxonil	F	GC	0,010	Isoxathion	I	LC	0,010
Flufenacet	H	LC	0,010	Jasmolin 1	I	GC	0,010
Flufenoxuron	I	LC	0,010	Jasmolin 2	I	GC	0,010
Flumetralin	W	GC	0,010	Jodfenphos	I	GC	0,010
Flumioxazin	H	GC	0,010	Kresoxim-methyl	F	GC	0,010
Fluometuron	H	LC	0,010	lambda-Cyhalothrin	I, A	GC	0,010
Fluopicolid	F	GC	0,010	Lenacil	H	LC	0,010
Fluopyram	F	LC	0,010	Leptophos	I	GC	0,010
Fluotrimazol	F	GC	0,010	Linuron	H	LC	0,010
Fluoxastrobin	F	LC	0,010	Lufenuron	I	LC	0,010
Fluroxypyr	H	LC	0,010	Malaoxon	Met	LC	0,010
Flurprimidol	W	LC	0,010	Malathion	I, A	GC	0,005
Flusilazol	F	GC	0,010	MCPA	H	LC	0,010
Fluthiacet-methyl	H	LC	0,010	MCPB	H	LC	0,010
Flutolanil	F	LC	0,010	Mecarbam	I, A	LC	0,010
Flutriafol	F	LC	0,010	Mecoprop-P	H	LC	0,010
Fluvalinat-tau	I, A	GC	0,010	Mefenpyr-diethyl	Safener	GC	0,010
Folpet	F	GC	0,010	Mepanipirim	F	GC	0,010
Fonofos	I	GC	0,010	Mepanipirim-2-hydroxypropyl	Met	LC	0,010
Forchlorfenuron	W	LC	0,010	Mephosfolan	I	LC	0,010
Formetanat Hydrochlorid	I, A	LC	0,010	Mepronil	F	LC	0,010
Fosthiazat	N	LC	0,010	Metaflumizon	I, A	LC	0,010
Fuberidazol	F	LC	0,010	Metalaxyl (Summe der Isomeren einschl. Metalaxyl-M)	F	LC	0,010
Furalaxyl	F	LC	0,010	Metamitron	H	LC	0,010
Furathiocarb	I	LC	0,010	Metazachlor	H	LC	0,010
Genite	A	GC	0,010	Metconazol	W	LC	0,010
Halfenprox	A	GC	0,010	Methabenzthiazuron	H	LC	0,010
Haloxyfop (freie Säure)	H	LC	0,010	Methacrifos	I	LC	0,010
Haloxyfop-2-ethoxyethyl	H	LC	0,010	Methamidophos	I, A	LC	0,010
Haloxyfop-methyl	H	LC	0,010	Methidathion	I, A	LC	0,010
HCB (Hexachlorbenzol)	F	GC	0,010	Methiocarb (Mercaptodimethur)	M	LC	0,010
HCH-alpha	I	GC	0,010	Methiocarb-sulfon	Met	LC	0,010
HCH-beta	I	GC	0,010	Methiocarb-sulfoxid	Met	LC	0,010
HCH-delta	I	GC	0,010	Methomyl	I	LC	0,010
HCH-gamma (Lindan)	I, R	GC	0,010	Methoprotryn	H	LC	0,010
Heptachlor	I	GC	0,010	Methoxychlor	I	GC	0,010
HeptachloPoxid-cis	Met	GC	0,010	Methoxyfenozid	I, A	LC	0,005
				Metobromuron	H	LC	0,010
				Metolachlor	H	GC	0,010

Metolcarb	I	LC	0,010	Prochloraz	F	LC	0,005
Metosulam	H	LC	0,010	Prochloraz M-95 (BTS 44595)	Met	LC	0,010
Metoxuron	H	LC	0,010	Prochloraz M-96 (BTS 44596)	Met	LC	0,010
Metrafenon	F	GC	0,010	Procymidon	F	GC	0,010
Metribuzin	H	GC	0,010	Profenophos	I	LC	0,010
Metsulfuron-methyl	H	LC	0,010	Profluralin	H	GC	0,010
Mevinphos	I, A	GC	0,010	Profoxydim (Clefoxydim)	H	LC	0,010
Mirex	I	GC	0,010	Promecarb	I	LC	0,010
Molinat	H	LC	0,010	Prometryn	H	GC	0,010
Monocrotophos	A, I	LC	0,010	Propachlor	H	LC	0,010
Monolinuron	H	LC	0,010	Propachlor-2-hydroxy	Met	LC	0,010
Myclobutanil	F	LC	0,010	Propamocarb	F	LC	0,010
Napropamid	H	LC	0,010	Propanil	H	GC	0,010
Neburon	H	LC	0,010	Propaquizafop	H	LC	0,010
Nitenpyram	I	LC	0,010	Propargit	A	GC/LC	0,010
Nitralin	H	GC	0,010	Propazin	H	LC	0,010
Nitrapyrin	B	GC	0,010	Propetamphos	I	LC	0,010
Nitrofen	H	GC	0,010	Propham	H, W	GC	0,010
Nitrothal-isopropyl	F	GC	0,010	Propiconazol	F	LC	0,010
Norflurazon	H	LC	0,010	Propoxur	I	LC	0,010
Novaluron	I	LC	0,010	Propyzamid	H	LC	0,010
Nuarimol	F	GC	0,010	Proquinazid	F	LC	0,010
Ofurace	F	GC	0,010	Prosulfocarb	H	LC	0,005
Omethoat	I, A	LC	0,010	Prosulfuron	H	LC	0,010
Oxadiazon	H	GC	0,010	Prothioconazol-desthio	F	LC	0,010
Oxadixyl	F	GC	0,010	Prothiofos	I	GC	0,010
Oxamyl	I, N	LC	0,010	Pyraclostrobin	F	LC	0,010
Oxamyl-oxim	Met	LC	0,010	Pyraflufen-ethyl	H	LC	0,010
Oxyfluorfen	H	GC	0,010	Pyrazophos	F	LC	0,010
Paclobutrazol	F	GC	0,010	Pyrethrin 1	I, A	GC	0,010
Paraoxon-ethyl	I, Met	LC	0,010	Pyrethrin 2	I, A	GC	0,010
Paraoxon-methyl	Met	GC	0,010	Pyridaben	A, I	LC	0,010
Parathion-ethyl	I, A	GC	0,010	Pyridalyl	I	LC	0,010
Parathion-methyl	I, P	GC	0,010	Pyridaphenthion	I, A	LC	0,010
PCB 028	Hilf	GC	0,010	Pyridat	H	LC	0,010
PCB 052	Hilf	GC	0,010	Pyridat XX (Pyridafol)	H, Met	LC	0,010
PCB 101	Hilf	GC	0,010	Pyrifenoxy	F	GC	0,010
PCB 138	Hilf	GC	0,010	Pyrimethanil	F	LC	0,005
PCB 153	Hilf	GC	0,010	Pyriproxyfen	I	GC	0,010
PCB 180	Hilf	GC	0,010	Quinalphos	I	GC	0,010
Pebulat	H	GC/LC	0,010	Quinoxyfen	F	GC	0,010
Penconazol	F	LC	0,010	Quintozen	F	GC	0,010
Pencycuron	F	LC	0,010	Quizalofop (freie Säure)	H	LC	0,010
Pendimethalin	H	LC/GC	0,005	Quizalofop-ethyl	H	LC	0,010
Pentachloranilin	Met	GC	0,010	Rimsulfuron	H	LC	0,010
Pentachloranisol	Met	GC	0,010	Rotenon	I	LC	0,010
Pentachlorbenzol	Met	GC	0,010	S 421	Syn	GC	0,010
Pentachlorphenol	H	GC	0,010	Sethoxydim	H	LC	0,010
Permethrin	I	GC	0,020	Silafluofen	I	GC	0,010
Phenkapton	I, A	GC	0,010	Silthiofam	F	LC	0,010
Phenthoat	I	GC	0,010	Simazin	H	LC	0,015
Phorat	I	LC	0,010	Spinetoram-J	I	LC	0,010
Phorat-oxon-sulfoxid	Met	LC	0,010	Spinetoram-L	I	LC	0,010
Phorat-oxon-sulfon	Met	LC	0,010	Spinosyn A	I	LC	0,010
Phorat-sulfon	Met	LC	0,010	Spinosyn D	I	LC	0,010
Phorat-sulfoxid	Met	GC	0,010	Spirodiclofen	I, A	GC	0,010
Phosalon	I, A	GC	0,010	Spiromesifen	A, I	GC	0,010
Phosfolan	I, A	LC	0,010	Spirotetramat	I, A	LC	0,010
Phosmet	I	GC	0,010	Spirotetramat-enol	Met	LC	0,010
Phosmet-oxon	Met	LC	0,015	Spirotetramat-enol-glucoSID	Met	LC	0,010
Phosphamidon	I, A	LC	0,010	Spirotetramat-keto-hydroxy	Met	LC	0,010
Phoxim	I	LC	0,010	Spirotetramat-mono-hydroxy	Met	LC	0,010
Picolinafen	H	LC	0,010	Spiroxamin	F	LC	0,010
Picoxystrobin	F	LC	0,010	Sulfentrazon	H	LC	0,010
Piperonylbutoxid	Syn	GC	0,005	Sulfotep	I, A	LC	0,010
Pirimicarb	I, A	LC	0,010	Sulprofos	I	GC	0,010
Pirimicarb-desmethyl	Met	LC	0,010	Tebuconazol	F	LC	0,010
Pirimicarb-desmethyl-formamido	Met	LC	0,010	Tebuflufenozid	I, A	LC	0,005
Pirimiphos-ethyl	I	LC	0,010	Tebufenpyrad	I, A	GC	0,010
Pirimiphos-methyl	I, A	GC	0,010	Tebutam	H	GC	0,010
Primisulfuron-methyl	H	LC	0,010	Tecnazen	F, W	GC	0,010

Teflubenzuron	I	LC	0,010
Tefluthrin	I, A	GC	0,010
Tepraloxydim	H	LC	0,010
Terbacil	H	GC	0,010
Terbufos	I	GC	0,010
Terbufos-sulfon	Met	LC	0,010
Terbufos-sulfoxid	Met	LC	0,010
Terbumeton	H	LC	0,010
Terbutryn	H	GC	0,010
Terbutylazin	H	LC	0,010
Terbutylazin-desethyl	Met	LC	0,010
Tetrachlorvinphos	I	GC	0,010
Tetraconazol	F	GC	0,010
Tetradifon	A, I	GC	0,010
Tetramethrin	I	GC	0,010
Tetrasul	A	GC	0,010
Thiabendazol	F	LC	0,010
Thiabendazol-5-hydroxy	Met	LC	0,010
Thiacloprid	I, A	LC	0,005
Thiametoxam	I, A	LC	0,010
Thiazafuron	H	LC	0,010
Thiocarbazon-methyl	H	LC	0,010
Thifensulfuron-methyl	H	LC	0,010
Thiobencarb	H	LC	0,010
Thiocyclam	I	LC	0,010
Thiodicarb	I	LC	0,010
Thiofanox	I	LC	0,010
Thiofanox-sulfon	Met	LC	0,010
Thiofanox-sulfoxid	Met	LC	0,010
Thiophanat-methyl	F	LC	0,005
Tolclophos-methyl	F	GC	0,005
Tolfenpyrad	I, F	LC	0,010
Tolyfluanid	F, A	GC	0,010
Tralkoxydim	H	LC	0,010
Transfluthrin	I	GC	0,010
Triadimefon	F	LC	0,010
Triadimenol	F	LC	0,010
Triallat	H	GC	0,010
Triamphos	F, A, P, B	LC	0,010
Triasulfuron	H	LC	0,010
Triazamat	I	LC	0,010
Triazophos	I, A	LC	0,010
Trichloronat	I	GC	0,010
Triclopyr	H	LC	0,010
Tricyclazol	F	LC	0,010
Tridemorph	F	LC	0,010
Trifloxystrobin	F	GC	0,005
Triflumizol	F	LC	0,010
Triflumizol-amino (FM-6-1)	Met	LC	0,010
Trifluralin	H	GC	0,005
Triforin	F, A	LC	0,010
Triticonazol	F	LC	0,010
Uniconazol	W	LC	0,010
Valifenalat	F	LC	0,010
Vamidothion	I, A	LC	0,010
Vinclozolin	F	GC	0,010
Zoxamid	F	LC	0,010

Tab. 26: Dekodierung der Wirkstoffgruppen nach BVL 2020 (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) und ASU L 00.00-115; Klassifizierung nach BVL (BVL 2020).

BVL-Code	Dekodierung
A	Akarizid
B	Bakterizid
C	Desinfektionsmittel
E	Pheromon
F	Fungizid
H	Herbizid
I	Insektizid
L	Leime, Wachse, Baumharze
M	Molluskizid
N	Nematizid
P	Repellent, Wildschadenverhütungsmittel
R	Rodentizid
V	Virizid
W	Wachstumsregler
X	Sonstige

Zusätzlich erfasste Stoffe nach ASU L 00.00-115

Code	Dekodierung
Hilf	Hilfsstoff
K	Keimhemmer
Met	Metabolit
Syn	Synergist
Safener	Safener

Bemerkung: Die nach ASU L 00.00-115 vorgesehene Kodierung der Wirkstoffklassen wurde z.T. durch die Dekodierung aus der Datenbank des BVL zu Pestizidzulassungen ersetzt, um die Wirkstoffklassen der Ergebnisse aus Tab. 30 vergleichbar zu machen. Einige der in der ASU L 00.00-115 aufgeführten Dekodierungen kommen bei den Pestizidzulassungen nicht vor und bleiben daher wie in der ASU L 00.00-115 vorgehen.

Tab. 27: Liste aller nach ASU L 00.00-115 nachgewiesenen Wirkstoffe. Diese Liste enthält auch Wirkstoffe, für die kein oder kein eindeutiger landwirtschaftlicher Ursprung angenommen werden kann; diese Wirkstoffe sind farbig markiert (vgl. Tab. 28, 29 und 30).

– WK – Wirkstoffklasse und BVL Kode aus (BVL 2020a); sowie BVL Datenservice, s. a. Tab. 34
 – EC / List no. – CAS no. – <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances> – letzter Aufruf 19.04.2020

	Wirkstoff	BVL Kode	WK	EC / List no.	CAS no.	Zulassung
1	2,4-D	0027	H	202-361-1	94-75-7	zugelassen
2	2-Phenylphenol	0305	F	201-993-5	90-43-7	nicht zugelassen
3	3,4-Dichloranilin		Met	202-448-4	95-76-1	
4	3-Chloranilin		Met	203-581-0	108-42-9	
5	Aclonifen	0656	H	277-704-1	74070-46-5	zugelassen
6	Ametoctradin	1152	F	688-188-6	865318-97-4	zugelassen
7	AMPA		Met	623-325-5	1066-51-9	
8	Anthrachinon	0123	P	201-549-0	84-65-1	nicht zugelassen
9	Azoxystrobin	0902	F	603-524-3	131860-33-8	zugelassen
10	Bifenthrin	0753	I, A	617-373-6	82657-04-3	nicht zugelassen
11	Biphenyl	0714	F	202-163-5	92-52-4	nicht zugelassen
12	Bitertanol	0613	F	259-513-5	55179-31-2	nicht zugelassen
13	Boscalid	1023	F	606-143-0	188425-85-6	zugelassen
14	Bromoxynil	0264	H	216-882-7	1689-84-5	zugelassen
15	Bromoxynil-octanoat	0264	H	216-885-3	1689-99-2	nicht zugelassen
16	Brompropylat	0538	A	216-882-7	1689-84-5	nicht zugelassen
17	Captan	0012	F	205-087-0	133-06-2	zugelassen
18	Carbendazim	0378	F	234-232-0	10605-21-7	nicht zugelassen
19	Chlorantraniliprole	1095	I, A	610-489-8	500008-45-7	zugelassen
20	Chlorfenson	0015	I, A	201-270-4	80-33-1	nicht zugelassen
21	Chlorflurenol	0275	H,W	219-800-8	2536-31-4	nicht zugelassen
22	Chlorpropham	0021 lief aus am 31.07.2019 ABF bis 08.10.2020	K	202-925-7	101-21-3	zugelassen
23	Chlorpyrifos-ethyl	0363	I	220-864-4	2921-88-2	nicht zugelassen
24	Chlorpyrifos-methyl	0545	I	227-011-5	5598-13-0	nicht zugelassen

25	Chlorthalonil	0276 lief aus am 31.10.2019 ABF bis 20.05.2020	F	217-588-1	1897-45-6	zugelassen
26	Clomazone	0864	H	617-258-0	81777-89-1	zugelassen
27	Cycloxydim	0811	H	405-230-9	101205-02-1	zugelassen
28	Cyflufenamid	1045	F	605-896-2	180409-60-3	zugelassen
29	Cyhalothrin-lambda	1051	I	618-753-4	91465-08-6	zugelassen
30	Cypermethrin	0498	I	257-842-9	52315-07-8	zugelassen
31	Cyproconazol	0825	F	619-020-1	113096-99-4	zugelassen
32	Cyprodinil	0907	F	601-785-8	121552-61-2	zugelassen
33	DCBP pp		Met	205-094-9	133-14-2	
34	DDD-op		Met	200-166-6	53-19-0	
35	DDD-pp		I, Met	200-783-0	72-54-8	nicht zugelassen
36	DDE-pp		Met	200-784-6	72-55-9	
37	DDT-op		I	212-332-5	789-02-6	nicht zugelassen
38	DDT-pp		I	200-024-3	50-29-3	nicht zugelassen
39	DEET		P	205-149-7	134-62-3	zugelassen
40	Desmedipham	0415	H	237-198-5	13684-56-5	zugelassen
41	Dichlofluamid	0203	F	214-118-7	1085-98-9	nicht zugelassen
42	Dicloran	0284	F	202-746-4	99-30-9	nicht zugelassen
43	Dieldrin	0039	I, Met	200-484-5	60-57-1	nicht zugelassen
44	Difenoconazol	0865	F	601-613-1	119446-68-3	zugelassen
45	Diflufenican	0698	H	617-446-2	83164-33-4	zugelassen
46	Dimethenamid-P	0988	H	618-045-5	87674-68-8	zugelassen
47	Dimethoat	0042 lief aus am 31.07.2019 ABF bis 30.06.2020	I, A	200-480-3	60-51-5	zugelassen
48	Dimethomorph	0841	F	404-200-2	110488-70-5	zugelassen
49	Dimoxystrobin	1028	F	604-712-8	149961-52-4	zugelassen
50	Dinoseb	0043	A, F, I, H	201-861-7	88-85-7	nicht zugelassen
51	Diphenamid	0563	H	213-482-4	957-51-7	nicht zugelassen
52	Diuron	0046	H	206-354-4	330-54-1	nicht zugelassen
53	Dodin	0048	F	219-459-5	03.10.2439	zugelassen
54	Endosulfan-alpha	0050	I, A	204-079-4	115-29-7	nicht zugelassen
55	Endosulfan-beta	0050	I, A	204-079-4	115-29-7	nicht zugelassen

56	Endosulfan-sulfat		Met	623-765-8	1031-07-8	
57	Epoxiconazol	0875	F	406-850-2	133855-98-8	zugelassen
58	Ethion	0053	A	209-242-3	563-12-2	nicht zugelassen
59	Ethofumesat	0383	H	247-525-3	26225-79-6	zugelassen
60	Ethofumesat-2-Keton		Met		26244-33-7	
61	Etofenprox	0829	I	407-980-2	80844-07-1	zugelassen
62	Famphur	-	I, A	200-154-0	52-85-7	nicht zugelassen
63	Fenhexamid	0956	F	603-167-3	126833-17-8	zugelassen
64	Fenpropidin	0881	F	614-049-6	67306-00-7	zugelassen
65	Fenpropimorph	0608 lief aus am 30.04.2019 ABF bis 30.10.2020	F	266-719-9	67564-91-4	zugelassen
66	Fenvalerat	0492	I, A	257-326-3	51630-58-1	nicht zugelassen
67	Fluazifop-P	0833	H	616-669-2	79241-46-6	zugelassen
68	Fluazinam	0849	F	616-712-5	79622-59-6	zugelassen
69	Fludioxonil	0887	F	603-476-3	131341-86-1	zugelassen
70	Flufenacet	0922	H	604-290-5	142459-58-3	zugelassen
71	Fluopicolide	1058	F	607-285-6	239110-15-7	zugelassen
72	Fluopyram	1134	F	619-797-7	658066-35-4	zugelassen
73	Fluxapyroxad	1164	F	620-041-3	907204-31-3	zugelassen
74	Folpet	0091	F	205-088-6	133-07-3	zugelassen
75	Glufosinat		Met	257-102-5	51276-47-2	
76	Glyphosat	0405	H	213-997-4	1071-83-6	zugelassen
77	Haloxyfop-P	0911	H	615-015-3	69806-34-4	zugelassen
78	HCB	0137	F		26601-64-9	nicht zugelassen
79	HCH-alpha	0511	I	206-270-8	319-84-6	nicht zugelassen
80	HCH-gamma	0070	I	200-401-2	58-89-9	nicht zugelassen
81	Icaridin		P	423-210-8	119515-38-7	zugelassen
82	Indoxacarb	0966	I, A	605-683-4	173584-44-6	zugelassen
83	Iprodion	0419	F	253-178-9	36734-19-7	zugelassen
84	Iprovalicarb	0968	F	604-209-3	140923-17-7	zugelassen
85	Isoproturon	0411	H	251-835-4	34123-59-6	nicht zugelassen
86	Isopyrazam	1156	F	632-619-2	881685-58-1	zugelassen
87	Kresoxim-methyl	0904	F	417-880-0	143390-89-0	zugelassen
88	Linuron	0071	H	206-356-5	330-55-2	nicht zugelassen
89	Mandipropamid	1085	F	609-434-0	374726-62-2	zugelassen
90	MCPA	0074	H	202-360-6	94-74-6	zugelassen

91	Metalaxyl	0517	F	260-979-7	57837-19-1	zugelassen
92	Metamitron	0456	H	255-349-3	41394-05-2	zugelassen
93	Metazachlor	0617	H	266-583-0	67129-08-2	zugelassen
94	Methabenzthiazuron	0245	H	242-505-0	18691-97-9	nicht zugelassen
95	Methoxychlor	0080	I	200-779-9	72-43-5	nicht zugelassen
96	Methoxyfenozid	1020	I	605-245-2	161050-58-4	nicht zugelassen
97	Metobromuron	0217	H	221-301-5	3060-89-7	zugelassen
98	Metolachlor	0963	H	257-060-8	51218-45-2	zugelassen
99	Metrafenone	1040	F	606-928-8	220899-03-6	zugelassen
100	Metribuzin	0337	H	244-209-7	21087-64-9	zugelassen
101	Myclobutanil	0776	F	618-198-8	88671-89-0	zugelassen
102	Nitralin	0368	H	225-219-0	4726-14-1	nicht zugelassen
103	Nitrapyrin	0580	F	217-682-2	1929-82-4	nicht zugelassen
104	Paraoxon-methyl		Met	625-061-6	950-35-6	
105	Parathion-ethyl	0087	I, A, N	200-271-7	56-38-2	nicht zugelassen
106	PCB 028		Hilf	230-293-2	7012-37-5	
107	PCB 052		Hilf	621-615-6	35693-99-3	
108	PCB 101		Hilf	621-393-0	37680-73-2	
109	PCB 138		Hilf	621-377-3	35065-28-2	
110	PCB 153		Hilf	215-648-1	1336-36-3	
111	PCB 180		Hilf		35065-29-3	
112	Penconazol	0655	F	266-275-6	66246-88-6	zugelassen
113	Pendimethalin	0404	H	254-938-2	40487-42-1	zugelassen
114	Phenmedipham	0233	H	237-199-0	13684-63-4	zugelassen
115	Phosmet	0334	I, A	211-987-4	732-11-6	nicht zugelassen
116	Picoxystrobin	0971	F	601-478-9	117428-22-5	zugelassen
117	Piperonylbutoxid (PBO)	0163	Hilf	200-076-7	51-03-6	zugelassen
118	Pirimicarb-demethyl-formamido		Met	634-777-8	27218-04-8	
119	Prochloraz	0631	F	266-994-5	67747-09-5	zugelassen
120	Propamocarb	0516	F	607-406-2	24579-73-5	zugelassen
121	Propiconazol	0624 lief aus am 19.06.2019 ABF bis 19.03.2020	F	262-104-4	60207-90-1	zugelassen
122	Propyzamid	0350	H	245-951-4	23950-58-5	zugelassen

123	Prosulfocarb	0763	H	634-871-9	52888-80-9	zugelassen
124	Prothioconazol	1035	F	605-841-2	178928-70-6	zugelassen
125	Prothioconazol- desthio		Met	691-449-7	120983-64-4	
126	Pyraclostrobin	1013	F, W	605-747-1	175013-18-0	zugelassen
127	Pyrimethanil	0900	F	414-220-3	53112-28-0	zugelassen
128	Quinoxifen	0915 lief aus am 30.04.2019 ABF bis 27.03.2020	F	602-997-3	124495-18-7	zugelassen
129	Quizalofop-P	0840	H	616-350-8	76578-12-6	zugelassen
130	Spirodiclofen	1031	I, A	604-636-5	148477-71-8	zugelassen
131	Spiromesifen	1036	I, A	608-196-5	283594-90-1	nicht zugelassen
132	Spiroxamine	0914	F	601-505-4	118134-30-8	zugelassen
133	tau-Fluvalinat	0894	I, A	600-363-0	102851-06-9	zugelassen
134	Tebuconazol	0784	F	403-640-2	107534-96-3	zugelassen
135	Tebufenozid	0905	I	412-850-3	112410-23-8	zugelassen
136	Tefluthrin	0778	I	616-699-6	79538-32-2	zugelassen
137	Terbacil	0417	H	227-595-1	5902-51-2	nicht zugelassen
138	Terbuthylazin	0316	H	227-637-9	5915-41-3	zugelassen
139	Terbuthylazin- desethyl		Met		30125-63-4	
140	Terbutryn	0246	H	212-950-5	886-50-0	nicht zugelassen
141	Tetraconazole	0941	F	407-760-6	112281-77-3	zugelassen
142	Thiabendazol	0256	F	205-725-8	148-79-8	zugelassen
143	Thiacloprid	0982	I	601-147-9	111988-49-9	zugelassen
144	Thiocyclam	0497	I	250-859-2	31895-22-4	nicht zugelassen
145	Thiophanat- methyl	0370	F	245-740-7	23564-05-8	zugelassen
146	THPI	-	Met	201-602-8	85-40-5	
147	Tolclofos-methyl	0621	F	260-515-3	57018-04-9	zugelassen
148	Tolyfluanid	0371	F, A	211-986-9	731-27-1	nicht zugelassen
149	Triadimefon	0425	F	256-103-8	43121-43-3	nicht zugelassen
150	Triadimenol	lief aus am 31.08.2019 ABF bis 28.02.2021	F	259-537-6	55219-65-3	zugelassen
151	Trifloxystrobin	0972	F	604-237-6	141517-21-7	zugelassen
152	Trinexapac	0893	W	680-302-2	95266-40-3	zugelassen

Tab. 28 Folgende Wirkstoffe aus Tab. 27 wurden im Gesamtergebnis nicht berücksichtigt, weil sie keinen oder keinen eindeutigen landwirtschaftlichen Ursprung haben:

Anthrachinon	Tong und Speiser 2017: https://orgprints.org/34122/1/tong-speiser-2017-Anthrachinon_Feb_2017.pdf . Dieses Pestizid ist in Deutschland seit 2009 nicht mehr zugelassen. Es entsteht natürlich, in Verbrennungsprozessen und wird in industriellen Prozessen in der Farbstoffsynthese und als Katalysator eingesetzt.
Brompropylat	Wallner (o.J.) https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/uploads/media/Meisterkurs_11_Wallner_Rueckstaende.pdf ; wird direkt in der Imkerei gegen die Varroa-Milbe eingesetzt.
DCBP-pp	Potrykus, Schöpe et al. 2020; https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_111-2020_endbericht_nt-pcb_decabde.pdf . Dichlorbenzoylperoxid; (2,4-Dichlorbenzoyl)peroxid wird als Radikalstarter bei der Herstellung von Silikongummi eingesetzt und ist somit eine Industriechemikalie.
DEET	Wallner (o.J.) https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/uploads/media/Meisterkurs_11_Wallner_Rueckstaende.pdf ; wird direkt in der Imkerei als Fabi-Spray zum Schutz des Imkers eingesetzt.
HCB	Laut UNEP (United Nations Environment Programme 2020 ODB) (http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx) wird HCB (Hexachlorbenzol) als Stoff mit landwirtschaftlichem Ursprung, als Stoff mit Einsatz in der Industrie, als nicht vorgesehenes Nebenprodukt und als Stoff aus industriellen und chemischen Prozessen geführt.
Icaridin	Goebel und Schulz (2006) https://www.pharmazeutische-zeitung.de/index.php?id=1640 ; wird direkt in der Imkerei zum Schutz der Imker eingesetzt.
PCB	Laut UNEP (United Nations Environment Programme (2020 ODB)) (http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx) haben alle PCB ihren Ursprung in der industriellen Produktion.
Piperonylbutoxid (PBO)	Kühne und Friedrich (o.J.) JKI: https://oekologischerlandbau.julius-kuehn.de/index.php?menuid=50&reporeid=42 . Der Gebrauch als Synergist zu natürlichen Pyrethrinen ist auch im ökologischen Landbau zulässig.
tau-Fluvalinat	Wallner (o.J.) https://bienenkunde.uni-hohenheim.de/uploads/media/Meisterkurs_11_Wallner_Rueckstaende.pdf ; wird direkt in der Imkerei gegen die Varroa-Milbe eingesetzt.

Tab. 29: Folgende Wirkstoffe aus Tab. 27 wurden in das Gesamtergebnis einbezogen, weil für sie ein hauptsächlich landwirtschaftlicher Ursprung anzunehmen ist:

3,4-Dichloranilin	Weiß und Angerer (2004); https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/28968-Belastung_der_Bev%C3%B6lkerung_der_Bundesrepublik_Deutschland_durch_nitroaromatische_Verbindungen_-_Der_E.pdf . Die Stoffgruppe der aromatischen Amine spielt eine wichtige Rolle in vielen chemisch-industriellen Prozessen, z. B. bei der Herstellung von Farbstoffen, Pharmazeutika (z.B. Paracetamol, Lidocain), Kunststoffen (Polyurethane), Gummiprodukten und Pflanzenschutzmitteln (z. B. Vinclozolin, Phenmedipham). Eine Vielzahl in Deutschland zugelassener und teilweise in großen Mengen angewandter Pflanzenschutzmittel (PSM) enthalten aromatische Amine als Strukturbestandteile. Trotz weiterer möglicher Quellen sind diese Substanzen daher berücksichtigt. Vgl. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLNG) 1997 (https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/fliessgewaesser/gewaesserbelastung/orientierende_messungen/6.17Aniline.pdf): Dichloraniline: Während 2,4- und 2,5-Dichloranilin ausschließlich Vorprodukte für die Farbstoff- und Pigmentsynthese darstellen, dient das mengenmäßig dominierende 3,4-DCA fast ausnahmslos als Zwischenprodukt für die Synthese von PSM und Bakteriziden.
DDT	wird in der Stockholmer Konvention der UNEP geführt und hat einen landwirtschaftlichen Ursprung.
Dieldrin	wird in der Stockholmer Konvention der UNEP geführt und hat einen landwirtschaftlichen Ursprung.
Endosulfan	wird in der Stockholmer Konvention der UNEP geführt und hat einen landwirtschaftlichen Ursprung.
Famphur oder Famophos	Eisler 1994: http://pubs.er.usgs.gov/publication/5200103 ; Buijs et al. 2019: https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/549924 ; wird als Mittel gegen Ektoparasiten bei Tieren eingesetzt, jedoch nicht im Ackerbau. Aufgrund der weiten Verbreitung dieses Mittels in der Milchwirtschaft und entsprechend auch in der Umwelt (s. Eisler et al. 1994; Buis et al. 2019) wurde der Wirkstoff in das Gesamtergebnis einbezogen.
HCH (alpha-, beta- und gamma-Hexachlorcyclohexan) (Lindan)	wird in der Stockholmer Konvention der UNEP geführt und hat einen landwirtschaftlichen Ursprung (UNEP United Nations Environment Programme 2020 ODB); (http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx); gelistet unter der Stockholmer Konvention; vgl. Bayerisches Landesamt für Gesundheit- und Lebensmittelsicherheit (LGL) 2018: https://www.lgl.bayern.de/gesundheits/Arbeitsplatz_Umwelt/chemische_Umweltfaktoren/lindan_raumluft.htm . Alpha- und beta-Hexachlorcyclohexan durften seit 1980 nicht mehr in der BRD verwendet werden, da sie toxischer und schwerer abbaubar waren als die gamma-Variante. In der DDR wurde es ab 1989 nicht mehr produziert. (Heinisch et al. 1993). Dort wurde es als Insektizid in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt, aber auch als Holzschutzmittel verwendet. Nach EU-Verordnung 850/2004 ist die Verwendung von Lindan (gamma-Hexachlorcyclohexan) in Europa seit Anfang 2008 verboten.

Tab. 30: Bereinigte Liste aller nachgewiesenen Wirkstoffe, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Nachgewiesene Substanzen, die keinem oder keinem eindeutigen Ursprung in der Landwirtschaft zugeordnet werden können, sind hier nicht aufgeführt..

- Wirkstoff Bezeichnung nach ASU L 00.00 115 (s. Tab. 25)
- Gesonderte Analytik auf Glyphosat, AMPA und Glufosinat
- WK – Wirkstoffklasse und BVL Kode aus (BVL 2020a); sowie BVL Datenservice, s. a. Tab. 26
- EC / List no – CAS no. – <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/registered-substances> – letzter Aufruf 19.04.2020
- Zulassungen (BVL 2020b ODB), BVL Online Datenbank Pflanzenschutzmittel: https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/01_OnlineDatenbank/psm_onlineDB_node.html – letzter Aufruf 19.04.2020
- ABF = Aufbrauchsfrist für Pestizide in Pflanzenschutzmitteln mit beendeter Zulassung
- Pestizide, die im Jahr der Messung noch aufgebraucht werden durften, werden hier als zugelassen geführt.
- Insbesondere Iprodion und Picoxystrobin waren nach 2018 nicht mehr zugelassen, sie kommen aber in den Rindenmessungen von 2014 bis 2018 vor.

	Wirkstoff	BVL Kode	WK	EC / List no.	CAS no.	Zulassung
1	2,4-D	0027	H	202-361-1	94-75-7	zugelassen
2	2-Phenylphenol	0305	F	201-993-5	90-43-7	nicht zugelassen
3	3,4-Dichloranilin		Met	202-448-4	95-76-1	
4	3-Chloranilin		Met	203-581-0	108-42-9	
5	Aclonifen	0656	H	277-704-1	74070-46-5	zugelassen
6	Ametoctradin	1152	F	688-188-6	865318-97-4	zugelassen
7	AMPA		Met	623-325-5	1066-51-9	
8	Azoxystrobin	0902	F	603-524-3	131860-33-8	zugelassen
9	Bifenthrin	0753	I, A	617-373-6	82657-04-3	nicht zugelassen
10	Biphenyl	0714	F	202-163-5	92-52-4	nicht zugelassen
11	Bitertanol	0613	F	259-513-5	55179-31-2	nicht zugelassen
12	Boscalid	1023	F	606-143-0	188425-85-6	zugelassen
13	Bromoxynil	0264	H	216-882-7	1689-84-5	zugelassen
14	Bromoxynil-octanoat	0264	H	216-885-3	1689-99-2	nicht zugelassen
15	Captan	0012	F	205-087-0	133-06-2	zugelassen
16	Carbendazim	0378	F	234-232-0	10605-21-7	nicht zugelassen
17	Chlorantraniliprole	1095	I, A	610-489-8	500008-45-7	zugelassen
18	Chlorfenoson	0015	I, A	201-270-4	80-33-1	nicht zugelassen
19	Chlorflurenol	0275	H,W	219-800-8	2536-31-4	nicht zugelassen

20	Chlorpropham	0021 lief aus am 31.07.2019 ABF bis 08.10.2020	K	202-925-7	101-21-3	zugelassen
21	Chlorpyrifos-ethyl	0363	I	220-864-4	2921-88-2	nicht zugelassen
22	Chlorpyrifos-methyl	0545	I	227-011-5	5598-13-0	nicht zugelassen
23	Chlorthalonil	0276 lief aus am 31.10.2019 ABF bis 20.05.2020	F	217-588-1	1897-45-6	zugelassen
24	Clomazone	0864	H	617-258-0	81777-89-1	zugelassen
25	Cycloxydim	0811	H	405-230-9	101205-02-1	zugelassen
26	Cyflufenamid	1045	F	605-896-2	180409-60-3	zugelassen
27	Cyhalothrin-lambda	1051	I	618-753-4	91465-08-6	zugelassen
28	Cypermethrin	0498	I	257-842-9	52315-07-8	zugelassen
29	Cyproconazol	0825	F	619-020-1	113096-99-4	zugelassen
30	Cyprodinil	0907	F	601-785-8	121552-61-2	zugelassen
31	DDD-op		Met	200-166-6	53-19-0	
32	DDD-pp		I, Met	200-783-0	72-54-8	nicht zugelassen
33	DDE-pp		Met	200-784-6	72-55-9	
34	DDT-op		I	212-332-5	789-02-6	nicht zugelassen
35	DDT-pp		I	200-024-3	50-29-3	nicht zugelassen
36	Desmedipham	0415	H	237-198-5	13684-56-5	zugelassen
37	Dichlofluanid	0203	F	214-118-7	1085-98-9	nicht zugelassen
38	Dicloran	0284	F	202-746-4	99-30-9	nicht zugelassen
39	Dieldrin	0039	I, Met	200-484-5	60-57-1	nicht zugelassen
40	Difenoconazol	0865	F	601-613-1	119446-68-3	zugelassen
41	Diflufenican	0698	H	617-446-2	83164-33-4	zugelassen
42	Dimethenamid-P	0988	H	618-045-5	87674-68-8	zugelassen
43	Dimethoat	0042 lief aus am 31.07.2019 ABF bis 30.06.2020	I, A	200-480-3	60-51-5	zugelassen
44	Dimethomorph	0841	F	404-200-2	110488-70-5	zugelassen
45	Dimoxystrobin	1028	F	604-712-8	149961-52-4	zugelassen

46	Dinoseb	0043	A, F, I, H	201-861-7	88-85-7	nicht zugelassen
47	Diphenamid	0563	H	213-482-4	957-51-7	nicht zugelassen
48	Diuron	0046	H	206-354-4	330-54-1	nicht zugelassen
49	Dodin	0048	F	219-459-5	03.10.2439	zugelassen
50	Endosulfan-alpha	0050	I, A	204-079-4	115-29-7	nicht zugelassen
51	Endosulfan-beta	0050	I, A	204-079-4	115-29-7	nicht zugelassen
52	Endosulfan-sulfat		Met	623-765-8	1031-07-8	
53	Epoxiconazol	0875	F	406-850-2	133855-98-8	zugelassen
54	Ethion	0053	A	209-242-3	563-12-2	nicht zugelassen
55	Ethofumesat	0383	H	247-525-3	26225-79-6	zugelassen
56	Ethofume- sat-2-Keton		Met		26244-33-7	
57	Etofenprox	0829	I	407-980-2	80844-07-1	zugelassen
58	Famphur	-	I, A	200-154-0	52-85-7	nicht zugelassen
59	Fenhexamid	0956	F	603-167-3	126833-17-8	zugelassen
60	Fenpropidin	0881	F	614-049-6	67306-00-7	zugelassen
61	Fenpropimorph	0608 lief aus am 30.04.2019 ABF bis 30.10.2020	F	266-719-9	67564-91-4	zugelassen
62	Fenvalerat	0492	I, A	257-326-3	51630-58-1	nicht zugelassen
63	Fluazifop-P	0833	H	616-669-2	79241-46-6	zugelassen
64	Fluazinam	0849	F	616-712-5	79622-59-6	zugelassen
65	Fludioxonil	0887	F	603-476-3	131341-86-1	zugelassen
66	Flufenacet	0922	H	604-290-5	142459-58-3	zugelassen
67	Fluopicolide	1058	F	607-285-6	239110-15-7	zugelassen
68	Fluopyram	1134	F	619-797-7	658066-35-4	zugelassen
69	Fluxapyroxad	1164	F	620-041-3	907204-31-3	zugelassen
70	Folpet	0091	F	205-088-6	133-07-3	zugelassen
71	Glufosinat		Met	257-102-5	51276-47-2	
72	Glyphosat	0405	H	213-997-4	1071-83-6	zugelassen
73	Haloxifop-P	0911	H	615-015-3	69806-34-4	zugelassen
74	HCH-alpha	0511	I	206-270-8	319-84-6	nicht zugelassen
75	HCH-gamma	0070	I	200-401-2	58-89-9	nicht zugelassen
76	Indoxacarb	0966	I, A	605-683-4	173584-44-6	zugelassen
77	Iprodion	0419	F	253-178-9	36734-19-7	zugelassen
78	Iprovalicarb	0968	F	604-209-3	140923-17-7	zugelassen
79	Isoproturon	0411	H	251-835-4	34123-59-6	nicht zugelassen

80	Isopyrazam	1156	F	632-619-2	881685-58-1	zugelassen
81	Kresoxim-methyl	0904	F	417-880-0	143390-89-0	zugelassen
82	Linuron	0071	H	206-356-5	330-55-2	nicht zugelassen
83	Mandipropamid	1085	F	609-434-0	374726-62-2	zugelassen
84	MCPA	0074	H	202-360-6	94-74-6	zugelassen
85	Metalaxyl	0517	F	260-979-7	57837-19-1	zugelassen
86	Metamitron	0456	H	255-349-3	41394-05-2	zugelassen
87	Metazachlor	0617	H	266-583-0	67129-08-2	zugelassen
88	Methabenzthiazuron	0245	H	242-505-0	18691-97-9	nicht zugelassen
89	Methoxychlor	0080	I	200-779-9	72-43-5	nicht zugelassen
90	Methoxyfenozid	1020	I	605-245-2	161050-58-4	nicht zugelassen
91	Metobromuron	0217	H	221-301-5	3060-89-7	zugelassen
92	Metolachlor	0963	H	257-060-8	51218-45-2	zugelassen
93	Metrafenone	1040	F	606-928-8	220899-03-6	zugelassen
94	Metribuzin	0337	H	244-209-7	21087-64-9	zugelassen
95	Myclobutanil	0776	F	618-198-8	88671-89-0	zugelassen
96	Nitralin	0368	H	225-219-0	4726-14-1	nicht zugelassen
97	Nitrapyrin	0580	F	217-682-2	1929-82-4	nicht zugelassen
98	Paraoxon-methyl		Met	625-061-6	950-35-6	
99	Parathion-ethyl	0087	I, A, N	200-271-7	56-38-2	nicht zugelassen
100	Penconazol	0655	F	266-275-6	66246-88-6	zugelassen
101	Pendimethalin	0404	H	254-938-2	40487-42-1	zugelassen
102	Phenmedipham	0233	H	237-199-0	13684-63-4	zugelassen
103	Phosmet	0334	I, A	211-987-4	732-11-6	nicht zugelassen
104	Picoxystrobin	0971	F	601-478-9	117428-22-5	zugelassen
105	Pirimicarb-demethyl-formamido		Met	634-777-8	27218-04-8	
106	Prochloraz	0631	F	266-994-5	67747-09-5	zugelassen
107	Propamocarb	0516	F	607-406-2	24579-73-5	zugelassen
108	Propiconazol	0624	F	262-104-4	60207-90-1	zugelassen
		lief aus am 19.06.2019 ABF bis 19.03.2020				
109	Propyzamid	0350	H	245-951-4	23950-58-5	zugelassen
110	Prosulfocarb	0763	H	634-871-9	52888-80-9	zugelassen
111	Prothioconazol	1035	F	605-841-2	178928-70-6	zugelassen

112	Prothioconazol-desthio		Met	691-449-7	120983-64-4	
113	Pyraclostrobin	1013	F, W	605-747-1	175013-18-0	zugelassen
114	Pyrimethanil	ß900	F	414-220-3	53112-28-0	zugelassen
115	Quinoxifen	0915 lief aus am 30.04.2019 ABF bis 27.03.2020	F	602-997-3	124495-18-7	zugelassen
116	Quizalofop-P	0840	H	616-350-8	76578-12-6	zugelassen
117	Spirodiclofen	1031	I, A	604-636-5	148477-71-8	zugelassen
118	Spiromesifen	1036	I, A	608-196-5	283594-90-1	nicht zugelassen
119	Spiroxamine	0914	F	601-505-4	118134-30-8	zugelassen
120	Tebuconazol	0784	F	403-640-2	107534-96-3	zugelassen
121	Tebufenozid	0905	I	412-850-3	112410-23-8	zugelassen
122	Tefluthrin	0778	I	616-699-6	79538-32-2	zugelassen
123	Terbacil	0417	H	227-595-1	5902-51-2	nicht zugelassen
124	Terbuthylazin	0316	H	227-637-9	5915-41-3	zugelassen
125	Terbuthylazin-desethyl		Met		30125-63-4	
126	Terbutryn	0246	H	212-950-5	886-50-0	nicht zugelassen
127	Tetraconazole	0941	F	407-760-6	112281-77-3	zugelassen
128	Thiabendazol	0256	F	205-725-8	148-79-8	zugelassen
129	Thiacloprid	0982	I	601-147-9	111988-49-9	zugelassen
130	Thiocyclam	0497	I	250-859-2	31895-22-4	nicht zugelassen
131	Thiophanat-methyl	0370	F	245-740-7	23564-05-8	zugelassen
132	THPI	-	Met	201-602-8	85-40-5	
133	Tolclofos-methyl	0621	F	260-515-3	57018-04-9	zugelassen
134	Tolylfluanid	0371	F, A	211-986-9	731-27-1	nicht zugelassen
135	Triadimefon	0425	F	256-103-8	43121-43-3	nicht zugelassen
136	Triadimenol	lief aus am 31.08.2019 ABF bis 28.02.2021	F	259-537-6	55219-65-3	zugelassen
137	Trifloxystrobin	0972	F	604-237-6	141517-21-7	zugelassen
138	Trinexapac	0893	W	680-302-2	95266-40-3	zugelassen

9.2 Standortklassifizierung

Tab. 31: Standortklassifizierung

Grundlagen der Einstufungen:

- *Naturräumliche Gliederung, Biogeogr. Region, Schutzgebiete, Nutzung: BfN-Geodienste: BfN, <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>*
- *Winderosionsgefährdung: Bundesanstalt für Geowissenschaften BGR, <http://geoportal.de>*
- *Umgebungsanalysen auf Basis von GIS-Kartengrundlagen und Satelliten- und Luftbildern (ArcGIS) sowie Vor-Ort-Aufnahmen*

Standortproben		Prüfkriterien/Gruppierungen / Cluster										
Nr.	Nr. Alt	Probenart	Naturräumliche Gliederung	Biogeographische Region	Schutzgebiet	Schutzgebiet	Schutzgebiet Einstufung	Landwirtschaftliche Nutzung	Transport	Winderosionsgefährdung	LW Intens Klass	Bio/Nicht Bio
702	707	Passivsammler	Östliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG	1	AB intensiv	mittel	1	3	1	
703	709	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	1	
704	710	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG	1	AB intensiv/extensiv	fern	2	2	1	
705	732	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB extensiv	mittel	3	1	1	
706	764	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental	NP	1	AB extensiv	mittel	1	1	1	
707	770	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG	1	AB intensiv/extensiv	nah	3	2	1	
708	775	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG, VSG	1	AB intensiv/extensiv	fern	3	2	1	
710	784	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	Stadt	fern	3,5	1	1	
711	786	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv/extensiv	mittel	3	2	1	
712	787	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental	LSG, NP	1	Bio	mittel	0	3	2	
713	803	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv	mittel	1	3	1	
714	806	Passivsammler	Alpenvorland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	1	
716	827	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	1	
717	831	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG	1	AB intensiv/extensiv	fern	2	2	1	
718	839	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	1	3	1	
719	850	Passivsammler	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	1	
720	851	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	fern	2	3	1	
721	854	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	LSG, VSG	1	AB intensiv	mittel	3	3	1	
722	859	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	1	

Standortproben		Prüfkriterien/Gruppierungen / Cluster									
Nr.	Nr. Alt	Probenart	Naturräumliche Gliederung	Biogeographische Region	Schutzgebiet	Schutzgebiet Einstufung	Landwirtschaftliche Nutzung	Transport	Winderosionsgefährdung	LW Intensitätsklass	Bio/Nicht Bio
723	869	Passivsammler	Östliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG, NP	1	Wein Bio	mittel	1	3	2
724	877	Passivsammler	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	1
725	878	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	nah	3	3	1
726	879	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	3	3	1
727	890	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	Stadt	fern	1	1	1
728	898	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	fern	1,5	1	1
729	900	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	fern	1	3	1
730	904	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv/extensiv	nah	1	2	1
731	918	Passivsammler	Alpenvorland	Kontinental		0	Bio	fern	1	2	2
732	940	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	1
733	942	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	Bio	nah	1	2	2
734	944	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	FFH, VSG, BR	1	AB intensiv/extensiv	nah	1	2	1
735	945	Passivsammler	Östliches Mittelgebirge	Kontinental		0	Bio	mittel	2	3	2
736	948	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental	NP	1	Wein	nah	1	2	1
737	960	Passivsammler	Alpenvorland	Kontinental	LSG	1	Obst	nah	1	3	1
738	865	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	2,5	3	1
740	1000	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG, NLP, NP, FFH, VSG	1	Wald	fern	1	1	2
741	1001	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	Bio	nah	2	3	2
742	1002	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	Bio	nah	1	3	2
743	1003	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	2	2	1
744	1004	Passivsammler	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	Bio	mittel	1	3	2
745	906	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	3	3	1
746	778	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	LSG, NP	1	AB intensiv	nah	1	3	1
747	1006	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	NP	1	AB intensiv	nah	1	3	1

Standortproben		Prüfkriterien/Gruppierungen / Cluster									
Nr.	Nr. Alt	Probenart	Naturräumliche Gliederung	Biogeographische Region	Schutzgebiet	Schutzgebiet Einstufung	Landwirtschaftliche Nutzung	Transport	Winderosionsgefährdung	LW Intensitätsklass	Bio/Nicht Bio
748	1007	Passivsammler	Östliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG, NLP, VSG, FFH	1	Wald	fern	0,5	1	2
749	1008	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG, NP, VSG	1	AB intensiv	mittel	3	3	1
750	1009	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv	nah	3	3	1
751	1010	Passivsammler	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	Stadt	fern	4	1	1
808	880	Passivsammler	Nordwestdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	1
809	886	Passivsammler	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	3	1	1
801	779	Filtermatte	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG	1	AB extensiv	fern	1,5	1	
802	799	Filtermatte	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	nah	1	2	
803	806	Filtermatte	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	
804	807	Filtermatte	Alpenvorland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	
805	824	Filtermatte	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	nah	3	3	
806	838	Filtermatte	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB extensiv	fern	3,5	1	
807	876	Filtermatte	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	2,5	3	
808	880	Filtermatte	Nordwestdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	
809	886	Filtermatte	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	nah	2	1	
810	924	Filtermatte	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	NP	1	AB intensiv/extensiv	mittel	5	2	
811	954	Filtermatte	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	LSG	1	AB intensiv	mittel	1	3	
812	963	Filtermatte	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	
814		Filtermatte	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	fern	3	1	
815		Filtermatte	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	0,5	2	
816		Filtermatte	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	
817		Filtermatte	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB extensiv	fern	1	1	
818		Filtermatte	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	AB extensiv	mittel	1	1	
819		Filtermatte	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB extensiv	fern	1	1	
820		Filtermatte	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	fern	3	3	

Standortproben		Prüfkriterien/Gruppierungen / Cluster									
Nr.	Nr. Alt	Probenart	Naturräumliche Gliederung	Biogeo-graphische Region	Schutzgebiet	Schutzgebiet Einstufung	Landwirtschaftliche Nutzung	Transport	Winderosionsgefährdung	LW Intensitätsklass	Bio/Nicht Bio
824		Filtermatte	Östliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	
900	705	Bienenbrot	Östliches Mittelgebirge	Kontinental	FFH, VSG	1	AB extensiv	mittel	1	1	
902	745	Bienenbrot	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB extensiv	fern	1	1	
903	752	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	2	1	
904	772	Bienenbrot	Östliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	
905	777	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental	NP	1	AB intensiv	mittel	1	3	
909	801	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	3	3	
910	804	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG, VSG	1	AB intensiv	mittel	1	3	
911	806	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	
912	807	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	
913	814	Bienenbrot	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	AB extensiv	fern	1	1	
914	819	Bienenbrot	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	
915	846	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	nah	3	2	
916	882	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv/extensiv	mittel	2	2	
918	915	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv/extensiv	mittel	3	2	
919	916	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	Stadt	fern	4	1	
920	925	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	Bio	mittel	3	3	
921	938	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB extensiv	fern	3	1	
922	946	Bienenbrot	Westliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	
923	0	Bienenbrot	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	Bio	nah	1	2	
925	770	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	LSG	1	AB intensiv	nah	3	3	
926	880	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	
927	886	Bienenbrot	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	3	1	
928		Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	Stadt	fern	3,5	1	
929	906	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	5	3	
930	859	Bienenbrot	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	

Standortproben		Prüfkriterien/Gruppierungen / Cluster									
Nr.	Nr. Alt	Probenart	Naturräumliche Gliederung	Biogeo-graphische Region	Schutzgebiet	Schutzgebiet Einstufung	Landwirtschaftliche Nutzung	Transport	Winderosionsgefährdung	LW Intens Klass	Bio/Nicht Bio
932	1101	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	nah	1	3	
935	1105	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv	mittel	3	3	
937	1107	Bienenbrot	Westliches Mittelgebirge	Kontinental		0	AB extensiv	mittel	1	1	
938	1109	Bienenbrot	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental	NP	1	AB intensiv/extensiv	mittel	1	2	
939	1111	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB intensiv	mittel	3	3	
940	1113	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	
941	1115	Bienenbrot	Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland	Kontinental		0	AB extensiv	fern	1	1	
942	1117	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv/extensiv	fern	1	2	
943	1119	Bienenbrot	Alpenvorland	Kontinental		0	AB intensiv	fern	1	3	
944	1120	Bienenbrot	Östliches Mittelgebirge	Kontinental	NP	1	AB extensiv	mittel	2	1	
945	1123	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch		0	AB extensiv	fern	3	1	
946	1124	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	NP, FFH	1	AB extensiv	mittel	4	1	
948	1126	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	
950	1133	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental	NP	1	AB intensiv/extensiv	mittel	3	2	
951	1128	Bienenbrot	Nordwestdeutsches Tiefland	Atlantisch	LSG	1	AB intensiv	mittel	3	3	
952	816	Bienenbrot	Nordostdeutsches Tiefland	Kontinental		0	AB intensiv	mittel	1	3	

LW Intens Klass =**Einstufung Landwirtschaftliche Intensität in einem 4 km² Umfeld des Standorts**

1 = gering (Anteil 0 - 20%)

2 = mittel (Anteil 20 - 50%)

3 = hoch (Anteil > 50%)

Bio/Nicht Bio

1 Kein Biobetrieb

2 Biobetrieb oder Nationalpark

Abkürzung Schutzgebiet

BR Biosphärenreservate

FFH Fauna-Flora-Habitat-Gebiet

LSG Landschaftsschutzgebiet

NP Naturpark

NLP Nationalpark

NSG Naturschutzgebiet

VSG Vogelschutzgebiet

Wert

0 keine

1 sehr gering

2 gering

3 mittel

4 hoch

5 sehr hoch

Winderosionsgefährdung**Schutzgebiet-Einstufung**

0 Kein Schutzgebiet

1 Schutzgebiet

9.3 Wertetabellen

Um die Daten eines Standorts einzusehen, ist es notwendig, die Probennummer zu kennen. Jeder Standort ist durch Probennummern gekennzeichnet. In den Abb. 6, 7, 10 und 11 ist die erste Probennummer des Standorts angegeben. In den Datentabellen steht diese erste Probennummer oben in der Tabelle. Für die Daten der Passivsammler, der Filtermatten und des Bienenbrots gibt es eine zweite Probennummer zur Festlegung des Standorts. Sie ist zum Auffinden der Daten nicht relevant, kommt aber in den Datentabellen vor.

Über den Link unter den Datentabellen können die Daten aufgerufen werden. Mit Hilfe der Standortnummer kann der gewünschte Ort identifiziert werden.

*Tab. 32: Nachgewiesene Wirkstoffe in den Passivsammlern mit Nachweishäufigkeit.
Angaben in ng/Probe; Wirkstoff; ID; Bestimmungsgrenze; Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in der letzten Zeile
Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze
Dokument: »PAS Ergebnisse 2019.xlsx«*

<https://www.enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2020/09/PAS-Ergebnisse-2019.xlsx>

*Tab. 33: Nachgewiesene Wirkstoffe in den Filtermatten mit Nachweishäufigkeit.
Angaben in µg/m²; Wirkstoff; ID; Bestimmungsgrenze; Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in der letzten Zeile
Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze
Dokument: »Filtermatte Ergebnisse 2019.xlsx«*

<https://www.enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2020/09/Filtermatte-Ergebnisse-2019.xlsx>

*Tab. 34: Nachgewiesene Wirkstoffe in Bienenbrot mit Nachweishäufigkeit.
Angaben in µg/kg; Wirkstoff; ID; Bestimmungsgrenze; Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in der letzten Zeile
Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze
Dokument: »Bienenbrot Ergebnisse 2019.xlsx«*

<https://www.enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2020/09/Bienenbrot-Ergebnisse-2019.xlsx>

*Tab. 35: Nachgewiesene Wirkstoffe in Rinde mit Nachweishäufigkeit.
Angaben in ng/g; Wirkstoff; ID; Bestimmungsgrenze; Anzahl der nachgewiesenen Wirkstoffe in der letzten Zeile
Leere Zellen markieren Werte unter der Nachweisgrenze
Dokument: »Rinden Ergebnisse 2014 – 2019.xlsx«*

<https://www.enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2020/09/Rinden-2014-2019.xlsx>

9.4 Supplement zur statistischen Analyse

Tab. 36: Supplement Statistik – unter diesem Link finden Sie Regressionsbäume zu den Tabellen 3 und 5 sowie Balkendiagramme für alle Medien:

<https://www.enkeltauglich.bio/wp-content/uploads/2020/09/Supplement-Statistik.pdf>

Tab. 37: Zusammenstellung aller vorkommenden Kombinationen von Standortfaktoren, alphabetisch sortiert. Jede Kombination ist in der Spalte »Bedingung« mit einer eindeutigen Nummer versehen. Diese Nummer wird in den Balkendarstellungen benutzt (Tab. 44, Abb. 3, 4, 6 und 7), um die Standortbedingungen zu benennen, die sich aus typografischen Gründen nicht ausführlich darstellen lassen. Sie verknüpft Standortnummern (Tab. 31) und die Nummer der Standortbedingung aus Tab. 1. Die Abkürzungen sind auch dort aufgeführt.

AVL – Alpenvorland

NOTL – Nordostdeutsches Tiefland

NWTL – Nordwestdeutsches Tiefland

OMG – Östliches Mittelgebirge

SWMGS – Südwestdeutsches Mittelgebirge / Stufenland

WMG – Westliches Mittelgebirge

A – Atlantisch

K – Kontinental

Nr. der Standort-Bedingung	Naturraum	Bio-geogr. Region	Wind-erosion	Schutzgebiet	Landwirtschaftliche Intensität	Distanz zur nächsten pot. Quelle	Bio-Anbau
1	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
2	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	1_nah	o_n
3	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	2_mittel	o_n
4	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	3_fern	o_n
5	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	3_fern	1_j
6	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	1_nah	o_n
7	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
8	AVL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	3_fern	o_n
9	AVL	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	1_nah	o_n
10	AVL	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
11	AVL	K	2.5 - 3.0	o_n	2_mittel	1_nah	o_n
12	AVL	K	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
13	NOTL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	1_nah	o_n
14	NOTL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
15	NOTL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	3_fern	o_n
16	NOTL	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	1_nah	o_n
17	NOTL	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
18	NOTL	K	1.5 - 2.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
19	NOTL	K	1.5 - 2.0	o_n	3_hoch	3_fern	o_n
20	NOTL	K	1.5 - 2.0	1_j	2_mittel	3_fern	o_n

21	NOTL	K	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
22	NOTL	K	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	2_mittel	1_j
23	NOTL	K	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	3_fern	o_n
24	NOTL	K	2.5 - 3.0	1_j	2_mittel	1_nah	o_n
25	NOTL	K	2.5 - 3.0	1_j	2_mittel	2_mittel	o_n
26	NOTL	K	2.5 - 3.0	1_j	2_mittel	3_fern	o_n
27	NOTL	K	2.5 - 3.0	1_j	3_hoch	1_nah	o_n
28	NOTL	K	2.5 - 3.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
29	NOTL	K	3.5 - 5.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
30	NOTL	K	3.5 - 5.0	1_j	1_gering	3_fern	o_n
31	NWTL	A	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
32	NWTL	A	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
33	NWTL	A	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	1_nah	o_n
34	NWTL	A	2.5 - 3.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
35	NWTL	A	2.5 - 3.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
36	NWTL	A	2.5 - 3.0	o_n	2_mittel	2_mittel	o_n
37	NWTL	A	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	1_nah	o_n
38	NWTL	A	2.5 - 3.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
39	NWTL	A	2.5 - 3.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
40	NWTL	A	3.5 - 5.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
41	NWTL	A	3.5 - 5.0	1_j	1_gering	2_mittel	o_n
42	NWTL	A	3.5 - 5.0	1_j	2_mittel	2_mittel	o_n
43	NWTL	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	1_nah	o_n
44	NWTL	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	1_nah	o_n
45	NWTL	K	1.5 - 2.0	1_j	2_mittel	2_mittel	o_n
46	OMG	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
47	OMG	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	2_mittel	o_n
48	OMG	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	2_mittel	o_n
49	OMG	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	3_fern	1_j
50	OMG	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
51	OMG	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	1_j
52	OMG	K	1.5 - 2.0	o_n	3_hoch	2_mittel	1_j
53	OMG	K	1.5 - 2.0	1_j	1_gering	2_mittel	o_n
54	SWMGS	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
55	SWMGS	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
56	SWMGS	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	1_nah	1_j
57	SWMGS	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	2_mittel	o_n
58	SWMGS	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	1_nah	o_n
59	SWMGS	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	2_mittel	o_n

60	SWMGS	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	1_nah	o_n
61	SWMGS	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	2_mittel	o_n
62	SWMGS	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	1_j
63	SWMGS	K	1.5 - 2.0	o_n	1_gering	1_nah	o_n
64	SWMGS	K	1.5 - 2.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
65	SWMGS	K	1.5 - 2.0	o_n	2_mittel	2_mittel	o_n
66	SWMGS	K	2.5 - 3.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
67	SWMGS	K	2.5 - 3.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
68	WMG	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	2_mittel	o_n
69	WMG	K	0.0 - 1.0	o_n	1_gering	3_fern	o_n
70	WMG	K	0.0 - 1.0	o_n	2_mittel	2_mittel	o_n
71	WMG	K	0.0 - 1.0	o_n	3_hoch	1_nah	1_j
72	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	2_mittel	o_n
73	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	3_fern	o_n
74	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	1_gering	3_fern	1_j
75	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	1_nah	1_j
76	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	2_mittel	2_mittel	o_n
77	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	o_n
78	WMG	K	0.0 - 1.0	1_j	3_hoch	2_mittel	1_j
79	WMG	K	1.5 - 2.0	o_n	3_hoch	1_nah	1_j
80	WMG	K	1.5 - 2.0	1_j	1_gering	3_fern	o_n
81	WMG	K	1.5 - 2.0	1_j	2_mittel	3_fern	o_n



Abb. 61:

Die naturräumliche Gliederung Deutschlands, wie sie in der statistischen Analyse verwendet wurde.

(BfN Kartendienst – BfN-Geodienste:

<https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>)

