



Fachbeiträge des LUGV

Heft Nr. 147

**Durchführung einer Bioindikation auf
Pflanzenschutzmittelrückstände
mittels Luftgüte-Rindenmonitoring,
Passivsammlern und
Vegetationsproben**

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg

Redaktion:

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV)

Abt. T14, R. Vögel (rudolf.voegel@lugv.brandenburg.de)

PF 60 10 61

14410 Potsdam

Tel.: 033201 / 442-0

Fax: 033201 / 442-662

E-Mail: infoline@lugv.brandenburg.de

www.lugv.brandenburg.de

Autoren:

Dipl.-Biol. Frieder Hofmann, Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen

Dieser Fachbericht basiert auf dem vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz 2014 beauftragten Thema an das Büro TIEM integrierte Umweltüberwachung GbR. Darin ist eine bereits 2013 erstellte Literaturübersicht und Fallrecherche enthalten, an der Durchführung der praktischen Arbeiten 2014 wirkte der Pflanzenschutzdienst des Landesamtes für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF-PSD) mit, die Rückstandsuntersuchungen an Kulturfrüchten wurden durch das Landeslabor Berlin-Brandenburg (LLBB) durchgeführt.

Potsdam, im Dezember 2015

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg die Veröffentlichung dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Der Bericht einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Satz:

LGB (Landesvermessung und Geoabasisinformation Brandenburg)

Vorwort

Moderner Pflanzenschutz besitzt eine Schlüsselfunktion in der konventionellen Landwirtschaft zur Sicherung von Ertrag und Qualität. Im Rahmen der Zulassung und Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln sollen Hersteller und europäische wie nationale Aufsichtsbehörden sowohl den Anwenderschutz wie auch deren Umweltverträglichkeit gewährleisten.

Eine unbeabsichtigte weite Verbreitung ausgebrachter Wirkstoffe sowie die Kontamination von Feld- und Gartenkulturen sollten so weitgehend ausgeschlossen sein.

Die hier vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der weiten Verdriftung einiger Wirkstoffe, die in großflächig ohne PSM-Anwendung bewirtschafteten Agrarräumen des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin in mehreren Jahren nachweisbar waren und die Marktfähigkeit ökologisch erzeugter Produkte erheblich einschränkten.

Diese in 2014 dazu durchgeführte Untersuchung möchte einen Beitrag zur Aufklärung von Belastungspfaden und zur Identifizierung besonders problembehafteter Präparate und Wirkstoffe geben und Bundesbehörden wie Hersteller zur Überprüfung der Zulassungsbedingungen von leicht flüchtigen Pflanzenschutzmitteln und zu Änderungen mit dem Ziel auffordern, diese Belastungen künftig zu vermeiden.

Immissionsmessungen

**Durchführung einer Bioindikation auf
Pflanzenschutzmittelrückstände mittels
Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern
und Vegetationsproben**

von

***TIEM* Integrierte Umweltüberwachung GbR**

**Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen**

Projektleitung: Dipl.-Biol. Frieder Hofmann

Auftraggeber:

**LUGV Brandenburg
Betreuer: Dipl.-Agr. Ing. Rudolf Vögel**

30. November 2014
aktualisiert und ergänzt 20.10.2015

1.	Einleitung und Aufgabenstellung.....	8
2.	Vorgehensweise.....	11
2.1	Untersuchungsgebiet und Standortübersicht.....	11
2.2	Luftgüte-Rindenmonitoring	15
2.2.1	Beschreibung des Verfahrens.....	15
2.2.2	Untersuchungsstandorte und Proben	16
2.2.3	Probenahme	28
2.2.4	Analytik	28
2.2.4.1	Wirkstoff-Analytik	28
2.2.4.2	Element-Analytik.....	29
2.2.4.3	Ermittlung der Immissions-Konzentration	29
2.3	Passivsammler (PAS)	30
2.3.1	Verfahren	30
2.3.2	Messstandorte und Messumfang.....	32
2.4	Vegetations-Monitoring (Körnerfenchel, Grünkohl).....	35
2.5	Ergänzende Erfassung und Datenerhebung bei landwirtschaftlichen Unternehmen im weiteren Umkreis mit entsprechender PSM-Anwendung.....	40
3.	Ergebnisse mit Diskussion.....	41
3.1	Passivsammler	41
3.1.1	Absolutmassen	41
3.1.2	Luftkonzentration	41
3.2	Luftgüte-Rindenmonitoring	42
3.2.1	Konzentration Rinde	42
3.2.2	Luftkonzentration	43
3.2.2.1	Pendimethalin	43
3.2.2.2	Prosulfocarb.....	44
3.3	Vegetationsuntersuchung – Ertebeprobung	45
4.	Bewertung der Immissionsbelastung.....	46
5.	Literaturverzeichnis.....	51
6.	Anhang	54
6.1	Wirkstoffliste	54

Bei der Qualitätsbeprobung von Gewürzdrogenpartien in einem Landwirtschaftsbetrieb bei Angermünde, Brandenburg (BIOLAND-Erzeugung, Körnerfenchel) wurde in aufeinanderfolgenden Jahren seit 2012 eine erhebliche Kontamination mit zugelassenen, im konventionellen Getreidebau häufig applizierten Wirkstoffen (Pendimethalin, Prosulfocarb) festgestellt (Anzeige v. 9.3.13 durch den Gesellschafter des Gutes Wilmersdorf, Herrn Palme, Verweis Aktennotiz v. 5.4.13, Hr. Morgenstern, Ref. 31, LELF - PSD). Bei der Untersuchung des am 8.11.12 geernteten Körnerfenchels wurden 0,035 mg/kg Pendimethalin und 0,031 mg/kg Prosulfocarb nachgewiesen (Labor SGS Berlin). In einer weiteren Untersuchung wurden die Belastungen bestätigt (0,036 mg/kg Pendimethalin, 0,073 mg/kg Prosulfocarb, Labor Friedle in Tegernheim). Für den Landwirt bedeutete dies, dass er den Biofenchel nicht mehr wie geplant vermarkten konnte.

Nächstgelegene, als Ursache mögliche Behandlungsflächen lagen mehr als 1 km entfernt. Weitere potentielle lokale Quellen als auch Kontamination im Betrieb wurden durch Ermittlungen des Pflanzenschutzdienstes des brandenburger Landesamts für Ernährung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF-PSD) ausgeschlossen.

Die Anbaufläche liegt im bundesweit größten, geschlossenen Bioanbaugebiet, überwiegend Teil des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin.

Durchgeführte Literatursichtungen (Hofmann 2013) sowie Fachgespräche des Auftraggebers (AG) mit Mitarbeitern des Umweltbundesamts (UBA) und des LELF-PSD ergaben Hinweise dass es sich um eine nicht vorgesehene, weiträumige Verbreitung der beiden Herbizide über den Luftpfad handeln könnte. So wurden für Pendimethalin bereits in der Vergangenheit erhöhte Gehalte in Grünkohl in

Norddeutschland gemessen, die zu Vermarktungseinschränkungen führten (MKULNV NRW 2013; LAVES NDS 2012; BLV Fachbeirat 2009). Diese wurde zwischenzeitlich zwar juristisch über eine Nachzulassung des Herstellers für Grünkohl¹ bereinigt, ohne dass jedoch die Gehalte in der Umwelt noch in den Produkten minimiert wurden. Das niedersächsische Landesamt (LAVES NDS, 2012) berichtet ebenfalls über Pestizidbefunde in Grünkohlproben, wobei die beiden Wirkstoffe Pendimethalin und Prosulfocarb als die beiden mit den häufigsten Überschreitungen (>5 ng/g) auftraten. Von den deutschen Grünkohlproben wiesen 35 % der Chargen Höchstgehaltsüberschreitungen auf. Pendimethalin wurde als Wirkstoff mit den höchsten Überschreitungen im Bericht zur Lebensmittelsicherheit 2012 (BVL 2012) aufgeführt, Prosulfocarb trat hierbei auffällig bei Kräutern als Belastung hervor. Sowohl Pendimethalin als auch Prosulfocarb wurden in Regenwasserproben in Dänemark, Schweden und Niederlande, u. a. in Städten weitab von Anwendungsgebieten gemessen, ebenso traten sie in weiteren immissionsökologischen Studien zur Belastung von Waldökosystemen hervor (van Maanen et al. 2001; Kreuger & Kylin 2006; Asman et al. 2005; Bernhardt 2004; Bernhardt et al. 2002, Fleischer 2013). Ab 2003 wurden in Deutschland systematische, raumrepräsentative Immissionsmessung für Pestizide an den Luftmessstationen des Bundes und Landes eingestellt und auf die Erfassung von persistenten organischen Schadstoffen (POP – persistent organic pollutants) an einigen wenigen Messstellen reduziert. Damit sind seither keine fundierten Aussagen über die räumliche Verteilung der beiden Herbizide in den Immissionen mehr möglich.

¹ Eine Zulassung für das Präparat Stomp Aqua nach §18, PflSchG zur Anwendung an Grünkohl u.a. wurde durch das BVL auf Herstellerantrag erteilt (Bundesanzeiger v. 13.11.2012)

Die vorliegenden Belastungen und Erkenntnisse ließen ein besonderes Risiko für den Bioqualitätsanbau aber auch für allgemeine Schutzgüter in der Region, hier insbesondere auch das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, erkennen. Über ein Screening der Immissionsbelastung sollte geklärt werden, inwieweit die Herbizid-Belastung über den lokalen Anbauort hinaus als regionale oder gar überregionale Belastung vorkommt und damit von einem unkontrollierten Emissionsrisiko mit unerwünschtem weiträumigen Verbreitungspotenzial der o.g. indizierten PSM-Wirkstoffe auszugehen ist. Die Erkenntnisse sollen in Zusammenarbeit mit den Fachbehörden zu einer Neubewertung des Ökotox-Risikos bei anstehender Zulassungsbewertung der herbiziden Wirkstoffe beitragen. Eine Lösungsmöglichkeit könnten Änderungen der Formulierung des Wirkstoffes sein, mit dem Ziel damit wirksam den hohen Dampfdruck und das damit verbundene atmosphärische Verbreitungspotential zu reduzieren.

Als Untersuchungsmethode wurde das Biomonitoring-Verfahren „Luftgüte-Rindenmonitoring“ (Hofmann 2001, Hofmann et al. 2001, 1998) als effizientes Verfahren zur Ergebniserbringung eingesetzt. Klassische Alternativen wie technische Sammler stehen sowohl im landeseigenen Luftgütemessnetz wie auch bei anderen Betreibern (UBA) nach Vorrecherchen in Zusammenarbeit mit dem AG nicht zur Verfügung. Da die Baumrinde bereits vorhanden und den Luftschadstoffen über längere Zeit ausgesetzt ist, lassen sich mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring (LGRM) auch Immissionsbelastungen aus der Vergangenheit erfassen. Das Verfahren wurde in mehreren Forschungsvorhaben validiert (Hofmann 2001; Hofmann et al. 2001, Spangenberg et al. 2002, Giesemann et al. 2005, Birke et al. 2009 + 2011; Guegen et al. 2011a+b, 2012). Die äußere Rinde ist ein hervorragender Ak-

kumulator, ebenso wirken sich die längeren Integrationszeiten positiv auf die Stoffkonzentrationen in Bezug auf eine analytische Nachweisbarkeit aus. Die nachgewiesene Stoffpalette umfasst über 55 Elemente, Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Dioxine und Furane (PCDD/F), Polychlorierte Biphenyle (PCB), einige Pestizide und mehrere Isotope und geht damit weit über die Routineerfassung direkter Luftmessungen mit den TA-Luftverfahren² hinaus (Hofmann 2010). Für die beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb liegen bis dato keine Messungen aus dem Luftgüterindenmonitoring vor.

Während für Pendimethalin vor allem die Herbstapplikation als Vor- und Nachlaufherbizid hier im Fokus steht, wird Prosulfocarb vor allem im Frühjahr bis Sommer appliziert, sodass eine unmittelbare Erfassung über Luftmessungen nicht zu erwarten ist. Über das Screening der Immissionsbelastung mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring sollte mit geprüft werden, inwieweit von dem Verfahren auch Pestizidanwendungen aus der Vergangenheit in Rückschau erfasst werden können.

Als weitere Möglichkeit stand ein aktives Biomonitoring mit Grünkohl, das nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3 (VDI 3957-3 2000) standardisiert ist, zur Verfügung. Hierbei werden im Gewächshaus vorgezogene Grünkohlpflanzen im September in Pflanztöpfen aktiv ausgebracht und nach 8 Wochen Exposition beprobt und analysiert, sodass akkumulierbare Immissionen im Expositionszeitraum auf standardisierte Weise nachweisbar sind. Diese Methode wird unter anderem zur Beweissicherung der Immissionslage in Zusammenhang mit dem Flughafenprojekt

² Hiermit sind die nach BImSchG in der TA-Luft erwähnten Verfahren z. B. nach VDI, DIN etc. gemeint

BER eingesetzt (FFB 2012; Wäber 2013). Allerdings war der zeitliche Vorlauf für eine Anzucht zu kurz. Daher wurde ergänzend ein passives Grünkohl-Monitoring durchgeführt, bei dem vorhandene Grünkohlpflanzen in der Region nach Ende der Herbstapplikationen beprobt und durch den LELF-PSD analysiert wurden.

Die betroffene Körnerfenchelkultur sollte in dem Vorhaben zur üblichen Reifezeit (Ende Okt.-Anfang Nov.) beprobt und die Proben auf die Herbizide vom LELF-PSD analysiert werden. Der Landwirt hat zur Vermeidung von potentiellen Herbizid-Kontaminationen in diesem Jahr den Hauptteil des Körnerfenchelbestandes vor der physiologischen Erntereife bereits Mitte September geerntet. Diese Charge wurde ebenfalls vom LELF-PSD untersucht.

Ergänzt werden sollte das Biomonitoring mit technischen Passivsammlern (PAS) des Typs Tische Environmental mit dem Sammelmedium SIP, die in einem internationalen Programm zur Immissionsmessung von POPs (GAPS 2014) verwendet, und mittlerweile für eine Reihe an volatilen und semivolatilen Luftschadstoffen über Vergleichsmessungen mit volumetrischen Luftsammlern kalibriert wurden, u.a. einige Pestizide, hierunter auch Pendimethalin (Genualdi et al. 2010, Koblizkova et al. 2012, Mai 2012). Über bekannte Koeffizienten lässt sich aus der Anreicherung in den Passivsammlern auf die integrierte Immissionsbelastung rückschließen und darüber ist dann bei paralleler Beprobung das Luftgüte-Rindenmonitoring zu kalibrieren. Die beiden PAS sollten an zwei Standorten, dem Fenchelfeld und einem Referenzstandort mit bekannter Pendimethalin-Applikation in der Region, über die Ausbringzeit von voraussichtlich Mitte September bis Ende Oktober exponiert werden.

Vorgesehener Untersuchungsumfang im Einzelnen:

- Erfassung der Immissionsbelastung mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring an mindestens 8 Standorten: einer aus dem Nahbereich des Fenchel-Feldes (Standortmischprobe), drei aus der näheren Umgebung der mitwirkenden Betriebe, 3 Standorte in weiterer Umgebung und einer in Umgebung von Referenzflächen mit bekannter Herbizid-Applikation für Pendimethalin und Prosulfocarb.
- Ergänzende Erfassung und Absicherung durch Passivsammler (PAS mit SIP) an 2 Standorten.
- Fachliche Vorgaben und Referenzen des LUGV wurden beachtet, eine Abstimmung der Probenahmestandorte mit vorhandenen Messnetzen (ggf. LUGV, UBA) wurde vorgenommen.
- Parallele Untersuchung einer Mischprobe des Körnerfenchels vor der zu erwartenden Herbizid-Applikation bei der vorgezogenen Ernte im September 2014 als auch danach zur üblichen Erntezeit (Ende September-Anfang November) seitens des AG³.
- Ergänzende Untersuchung von Vegetationsproben in der Region mit vergleichbar guten Akzeptor-Eigenschaften unter fachlicher Zuhilfenahme des LELF-Pflanzenschutzdienstes. Hierzu wurden in Abstimmung mit dem AG Standorte für ein passives Grünkohl-Monitoring ausgewählt.

Durch den AN sollte eine Einschätzung und Bewertung der Ergebnisse vorgenommen werden. Hierbei sollten vorliegende Erkenntnisse zu Belastungen der beiden Herbizide aus anderen Bundesländern mit berücksichtigt werden.

3 Die analytischen Untersuchungen erfolgten durch das Landeslabor Berlin-Brandenburg (LLBB).

2.1 Untersuchungsgebiet und Standortübersicht

Das betroffene Fenchelfeld liegt in der Gemarkung Wilmersdorf bei Angermünde in Brandenburg ca. 50 km nördlich von Berlin im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, einem Gebiet mit hochwertigen Naturschutzflächen von europäischem Rang. Das Gebiet gehört zur typischen, glazial geprägten Brandenburgischen Endmoränenlandschaft, das Gelände ist leicht hügelig, reich gegliedert mit zahlreichen Seen, großen zusammenhängenden Waldflächen und landwirtschaftlichen Flächen mit einem sehr hohen Anteil an extensiv bewirtschafteten Flächen und Biobetrieben.

Charakterisierend sind stark wechselnde Bodenarten von Braunerden, über Fahlerden bis hin zu hydromorphen Böden unterschiedlicher Güte mit sandig-lehmigen bis lehmigen Substraten. Als Bereiche mit hohem Naturschutzwert finden sich auf Kuppen mit erodierten Böden Trockenrasen und in den abflusslosen Senken Moore und Kleingewässer, sogenannte Sölle.

Das Klima ist leicht kontinental geprägt mit im Durchschnitt wenig mehr als 500 mm Jahresniederschlag. Eine bemannte DWD-Wetterstation liegt in der Nähe bei Angermünde.

Im näheren Umfeld des Fenchelfeldes befinden sich laut LELF-PSD keine konventionellen Betriebe (siehe Abb. 29, 30 und Abb. 31, Darstellung der ökologisch sowie konventionell bewirtschafteten Agrarflächen), sodass Nahbereichseinflüsse aus Herbizidanwendungen für Pendimethalin und Prosulfocarb ausgeschlossen werden können.

Als Referenzstandorte mit positiver Herbizid-Applikation wurde in ca. 10 km Entfernung südlich bei Altkünkendorf ein Betrieb ermittelt, der im Herbst Pendimethalin auf Winterge-

treideflächen einsetzte. Prosulfocarb-Anwendungen sind in der Region laut LELF-PSD nicht bekannt. Als Referenzstandort mit Prosulfocarb-Anwendung wurde ein Standort im Fläming südlich von Berlin ausgewählt, der das Herbizid im Frühling bei Kartoffelanbau anwendete.

Das Haupt-Untersuchungsgebiet umfasst die das Fenchelfeld und die erste Referenzfläche umgebende Region Angermünde - Schorfheide-Chorin. Im Kartenausschnitt der Abb. 1 sind diese Probenahmestandorte und ebenfalls der zweite Referenzstandort im Fläming verzeichnet.

Aus Abb. 2 geht die Lage der Messstandorte im Hauptuntersuchungsgebiet hervor, wobei die einzelnen Verfahren kenntlich gemacht wurden. Die Standorte wurden so angeordnet, dass unterschiedliche Entfernungs- und Richtungsbereiche abgedeckt wurden. Die potentiell verfügbaren Standorte zum Vegetations-/Grünkohl-Monitoring waren hierbei limitiert und vorgegeben, sodass im Hinblick auf ein Gesamtbild die freier wählbaren Standorte zum Luftgüte-Rindenmonitoring entsprechend komplementär angeordnet wurden.

Tab. 1: Überblick über Untersuchungsstandorte und Messverfahren

Luftgüte-Rinden-Monitoring	Passiv-Sammler	Vegetations-Monitoring	Bemerkung
Region Angermünde – Schorfheide-Chorin			
L 61	P 01	Fe 31.1 Körnerfenchel 1. Probe 17.9.14 LELF Fe 31.2 Körnerfenchel 2. Probe 27.10.14	betreffende Körnerfenchelkultur bei Wilmersdorf
L 62	P 02	GK 42 Grünkohl	+Referenz mit Pendimethalin-Applikation bei Altkünkendorf
L 63			Peetzig Feldweg
		GK 43 Grünkohl	Steinhöfel, Garten
L 64			Meichow Feldweg
		GK 44 Grünkohl	Brodowin, Garten
L 65			Gerswalde, Feldweg
		GK 45 Grünkohl	Greiffenberg, Garten
L 66			Felchower See
		GK 46 Braunkohl	Lüdersdorf, Garten
L 67			Parlow Allee
		GK 47 Grünkohl	Schorfheide, Garten
L 68			Britz-Chorin Allee
Fläming			
L 69			+Referenz mit Prosulfocarb-Applikation bei Danna

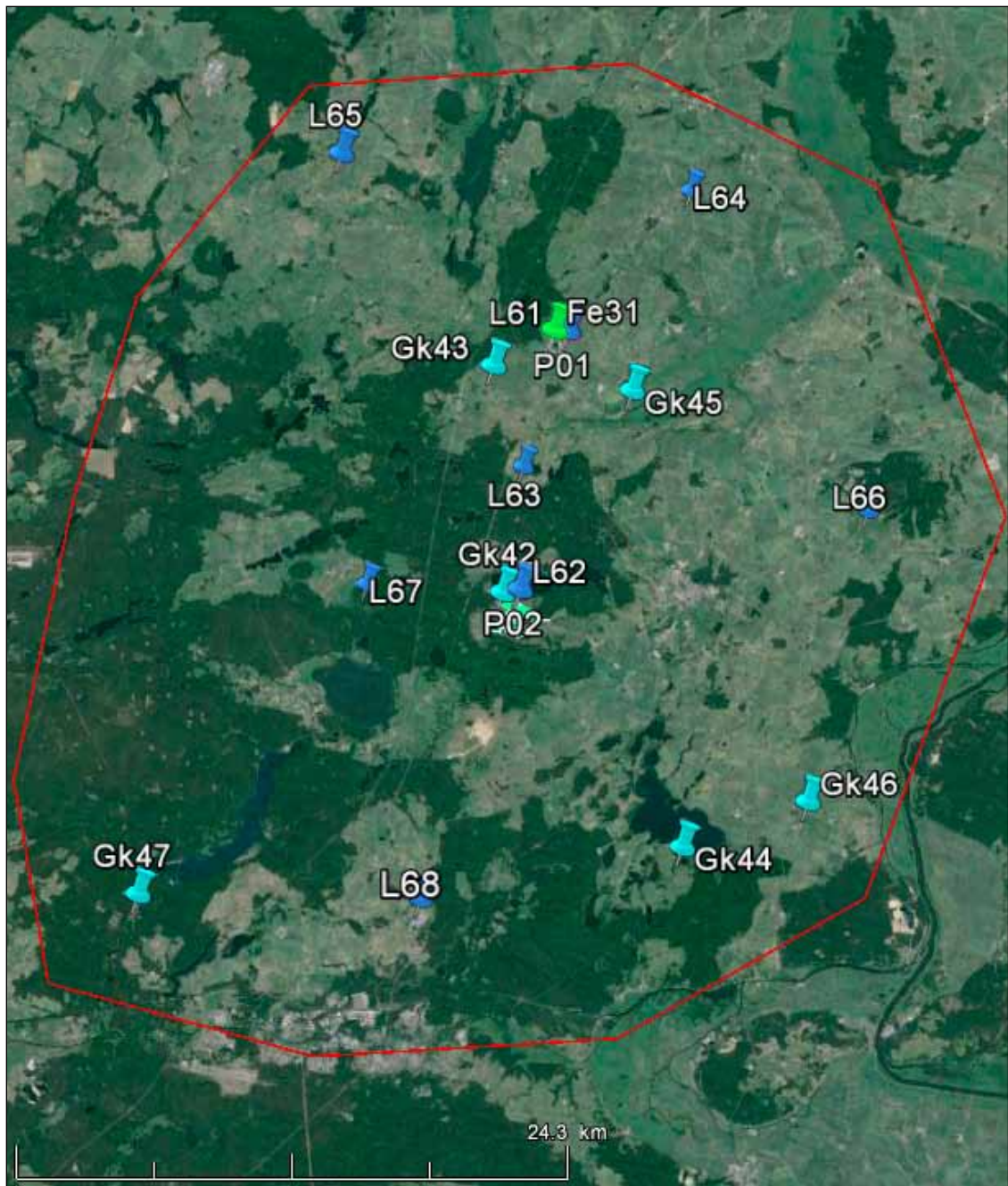


Abb. 2: Standortübersicht Region Angermünde – Schorfheide-Chorin, Uckermark

Fe	Körnerfenchelkultur	Fe31a-e, 5 Punkt-Stichprobe
L	Luftgüte-Rindenmonitoring	8 Standorte, L61-68
P	Passiv Aerosol-Sammler PAS	2 Standorte, P01-02
GK	Grünkohl	6 Standorte, GK42-47

2.2 Luftgüte-Rindenmonitoring

Für die Erfassung der standörtlich mittleren Immissionsbelastung wurde das Luftgüte-Rindenmonitoring eingesetzt. Die Arbeiten wurden vom Ökologiebüro in Bremen, Dipl.-Biol. F. Hofmann durchgeführt, der das Verfahren maßgeblich mit entwickelte und der über mehrjährige Erfahrung in der Anwendung verfügt.

2.2.1 Beschreibung des Verfahrens

Die äußere Rinde von Bäumen ist über längere Zeit den Luftschadstoffen ausgesetzt und akkumuliert diese. Dadurch ist es möglich, die Immissionsbelastung in integrierter Weise über mehrere Monate bis Jahre zu erfassen und mit nur einer Probenahme die Immissionsbelastung zu charakterisieren.

Gegenüber anderen Bioakkumulatoren, wie Blätter, Nadeln, Moose etc., zeichnet sich die äußere Rinde von Bäumen (Borke) dadurch aus, dass diese aus nicht mehr biologisch aktivem Abschlussgewebe besteht, d. h. keine Wachstums- und Stoffwechselvorgänge mehr aufweist, die das Ergebnis verfälschen können. Im Luftgüte-Rindenmonitoring erfolgt die Probenahme mit einem speziellen Rindenprobenehmer (Hofmann et al. 2001), der eine standardisierte Entnahme von Baumrinde in definierter Schichtdicke unter pro analysi Bedingungen erlaubt, sodass mit einer einzigen Beprobung die Bestimmung der mittleren Luftschadstoffbelastung für zahlreiche akkumulierbare und persistente Umweltschadstoffe auf vergleichbare Weise ermöglicht wird.

In zurückliegenden Projekten zeigte sich, dass das Verfahren ideal die TA-Luftverfahren zu ergänzen vermag, die ja erst implementiert und für sichere Aussagen dann noch über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden müssen, bevor solide Ergebnisse er-

wartet werden können (in der Regel werden 1 Jahr und mehr dazu benötigt). Das Luftgüte-Rindenmonitoring hingegen ermöglicht Ergebnisse nach einer Beprobung innerhalb kürzester Zeit. Das Verfahren bietet gegenüber den herkömmlichen TA-Luftverfahren eine ganze Reihe weiterer Vorteile. Das Verfahren ist vergleichsweise sehr kostengünstig und damit effizient durchzuführen, weil der Aufwand der wiederholt anfallenden Probenahme und Analytik entfällt und keine teuren Messsysteme und Installationen notwendig sind. Zudem liegen die Schadstoffe in der Rinde konzentrierter vor als in Luft- und Staubproben, was sich günstig auf die Nachweisgrenzen in der Analytik auswirkt. Während mit den TA-Luftverfahren in der Regel nur ein sehr eng begrenztes Schadstoffspektrum darstellbar ist, lässt sich mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring die Immissionsbelastung für eine erheblich umfangreichere Schadstoffpalette mit einer einzigen Beprobung ermitteln, in der Regel über 55 Elemente inkl. Schwermetalle, organische Schadstoffe wie polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), halogenierte Kohlenwasserstoffe wie Dioxine/Furane, PCB, Pestizide und weitere. Da das Verfahren kostengünstig ist, kann zudem eine größere Anzahl an Messpunkten einbezogen werden – praktisch überall dort, wo geeignete Bäume vorkommen.

Die Methode wurde in den 90er Jahren in mehreren F+E-Vorhaben entwickelt, validiert und in den letzten Jahren mehrfach erfolgreich angewendet. Das Luftgüte-Rindenmonitoring lässt sich mit Ausbreitungsrechnungen und anderen Verfahren kombinieren und zu einem Integrierten Monitoring zusammenfügen (Hofmann et al. 2010).

Aus umfangreichen Untersuchungen in verschiedenen Regionen und Belastungsbereichen in Deutschland liegt eine umfassende Datengrundlage für Elemente, PAK und Isotope von Blei (Pb) und Schwefel (S) vor, die

eine statistische Bewertung der standörtlichen Belastung, basierend auf der Dichteverteilung in Deutschland, für jeden Stoff einzeln und integriert über einen Index erlaubt. Die entsprechenden Bewertungsgrundlagen sind in dem Bericht des Forschungsvorhabens (Hofmann et al. 2001) ausführlich dargelegt. In weiteren Vorhaben wurde das Verfahren auf Dioxine und Furane (PCDD/F) (Birke et al. 2009, 2011) Stickstoffverbindungen und Isotope von Pb, S und Stickstoff (N) zur weiteren Differenzierung verschiedener Herkünfte aus Industrie, Verkehr, Landwirtschaft etc. erweitert (Spangenberg et al. 2002, Giese- mann et al. 2005, Hofmann et al. 2010; Gue- gen et al. 2011, 2012a, b).

Für Pestizide wie Pendimethalin und Prosul- focarb lagen bisher noch keine Erhebungen vor. Die Ergebnisse charakterisieren eine integrierte standörtliche Immissionsbelastung und geben unmittelbar damit die relativen Unterschiede der standörtlichen Belastung wieder.

Über parallele Immissionsmessungen mit den Passivsammlern PAS an zwei Standor- ten erfolgte eine Kalibrierung mit Bezug zu Konzentrationsmessungen für die beiden Herbizide mit Rückschluss auf eine integrierte Immissionskonzentration an den Unters- suchungsstandorten. Hierbei ist zu beachten, dass beide Sammelverfahren eine über den jeweiligen Sammelzeitraum integrierte Mas- senbilanz (Integral über eine kontinuierliche Bilanz von Ein- und Austrägen) erfassen. Während der Passivsammler PAS aktiv über einen definierten Zeitraum von ca. 1 Monat exponiert wurde, ist die Rinde den Luftschad- stoffen erheblich länger ausgesetzt, sodass sich auch weiter zurückliegende Ereignisse erfassen lassen. Für volatile Stoffe wie den beiden Wirkstoffen gilt, dass die Repräsen- tanz abnimmt, je weiter das Ereignis zurück- liegt. Die Konzentrationsangaben für das Luftgüte-Rindenmonitoring beziehen sich da-

her auf den Passivsammler PAS und dessen Norm-Zeitraum von 3 Monaten und sind ent- sprechend als Äquivalent-Konzentration zu verstehen. Im Expositionszeitraum der Pas- sivsammler wurde an einem Standort aktiv Pendimethalin ausgebracht, sodass hier ein Plus-Referenzstandort mit ausreichend star- kem Signal für eine valide Kalibrierung zur Verfügung stand sowie stoffspezifische Daten zu den PAS-Sammelkoeffizienten vorhanden waren. Für Prosulfocarb, das vornehmlich im Frühjahr bis Sommer appliziert wurde, war im Zeitraum der Passivsammler-Exposition kein entsprechender Standort vorhanden und auch nur ein allgemeiner PAS-Sammel- koeffizient, sodass hier die für Pendimethalin ermittelte Beziehung übernommen wurde.

2.2.2 Untersuchungsstandorte und Proben

Für das Luftgüte-Rindenmonitoring wurden insgesamt 9 Standorte untersucht:

- 1 Standortmischprobe aus unmittelbarer Umgebung der zu beurteilenden Fenchel- kultur
- 6 Standortproben aus dem näheren bis weiteren Umfeld in der Region Angermün- de – Schorfheide-Chorin
- 1 Standortprobe aus einem Referenzbe- reich mit Pendimethalin-Anwendung in der Region
- 1 Standortprobe aus einem Referenzbe- reich mit Prosulfocarb-Anwendung im Flä- ming

Die Standorte und Proben sind übersichtlich in Tab. 2 zusammengefasst und mit ihrer Lage in den Abb. 4 bis Abb. 12 veranschau- licht.

Tab. 2: Standortproben des Luftgüte-Rindenmonitoring

Probe	Baum a-z	Art	Umfang cm	Alter ca.	Exp 1-6	R NSWO	S/N A/I	Gew. g	B	L	Datum	Standort	Bemerkungen
L 61	a-c d e	Pop Que	310-350 290-360	100 150	4	R	A	59	53,109440 53,119075	13,917669 13,919489	27.10.14 12:00	Wilmersdorf Feldwege	Fenchelkultur Fe31; P1
L 62	a b-e	Acer Crat	80-120	40-60	4	R	A	64	53,009851	13,885310	28.10.14 11:00	Altkünkendorf Feldrain	+Referenz Pendimethalin Wintergetreide; P2; GK42
L 63	a-f	Pop	290-360	120	4	R	A	58	53,067818 53,068204	13,894072 13,891528	28.10.14 9:00	Peetzig Feldweg	
L 64	a-e	Pop	120-350	120	4	R	A	32	53,176355	14,004456	28.10.14 14:00	Meichow Feldweg	
L 65	a d b c	Pop Akaz	120 90-110	80	4	R	A	30	53,181760	13,768088	28.10.14 16:00	Gerswalde, Feldweg	
L 66	a-c	Salix	110-320	100	4	R	A	47	53,050191	14,119862	28.10.14 13:00	Felchower See	
L 67	a-d ef	Pop Que	100-250 100-150	100	4	R	A	55	53,021508	13,791553	29.10.14 9:00	Parlow Allee	
L 68	a-h i	Acer Que	150-240	100	4	R	A	51	52,897554	13,826754	29.10.14 11:00	Britz-Chorin Allee	
L 69	a-g,i-l h	Que Pop	70-190	40 -120	4	R	A	80	51,997900 51,993717	12,868301 12,857364	26.10.14 11:00	Danna AFB Agrar	+Referenz Prosulfocarb Kartoffelanbau

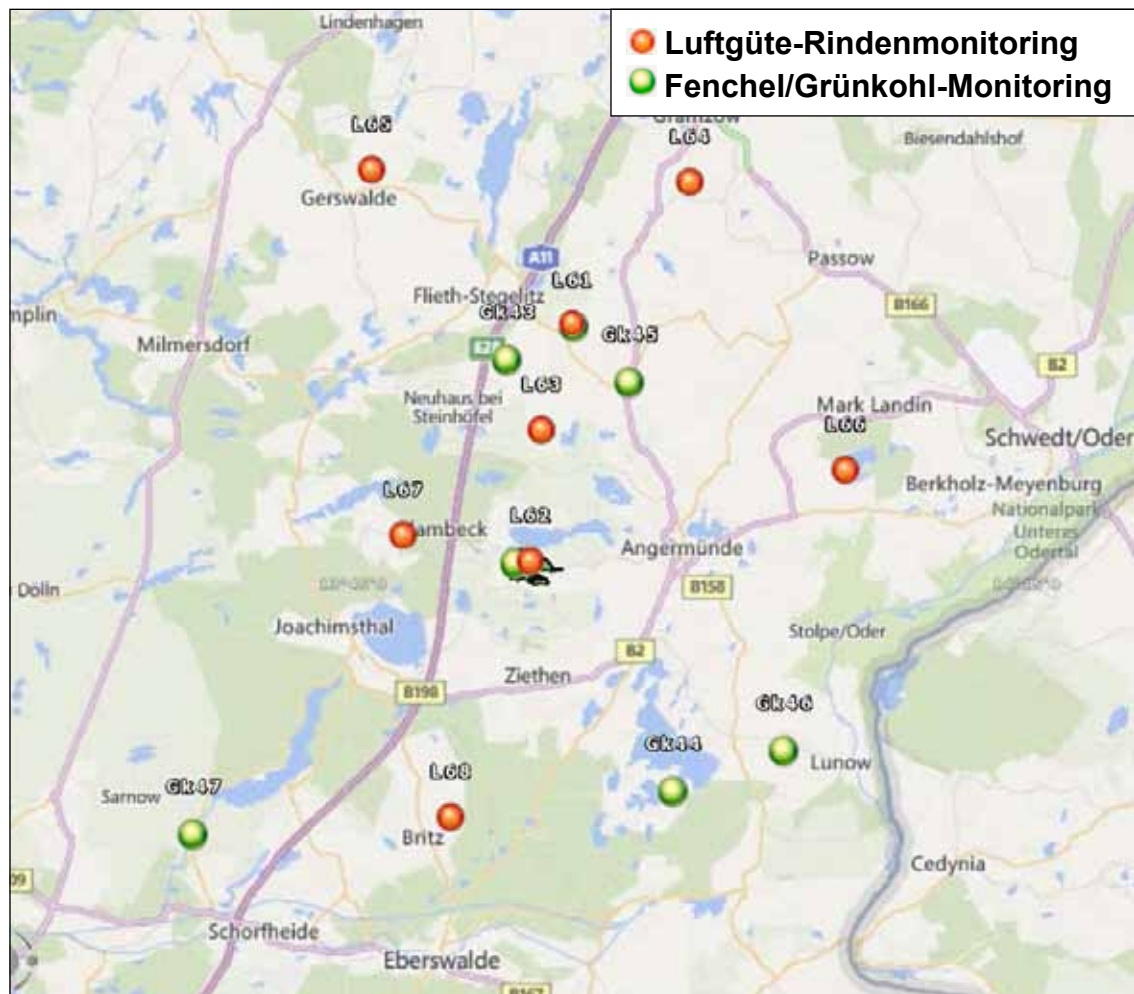
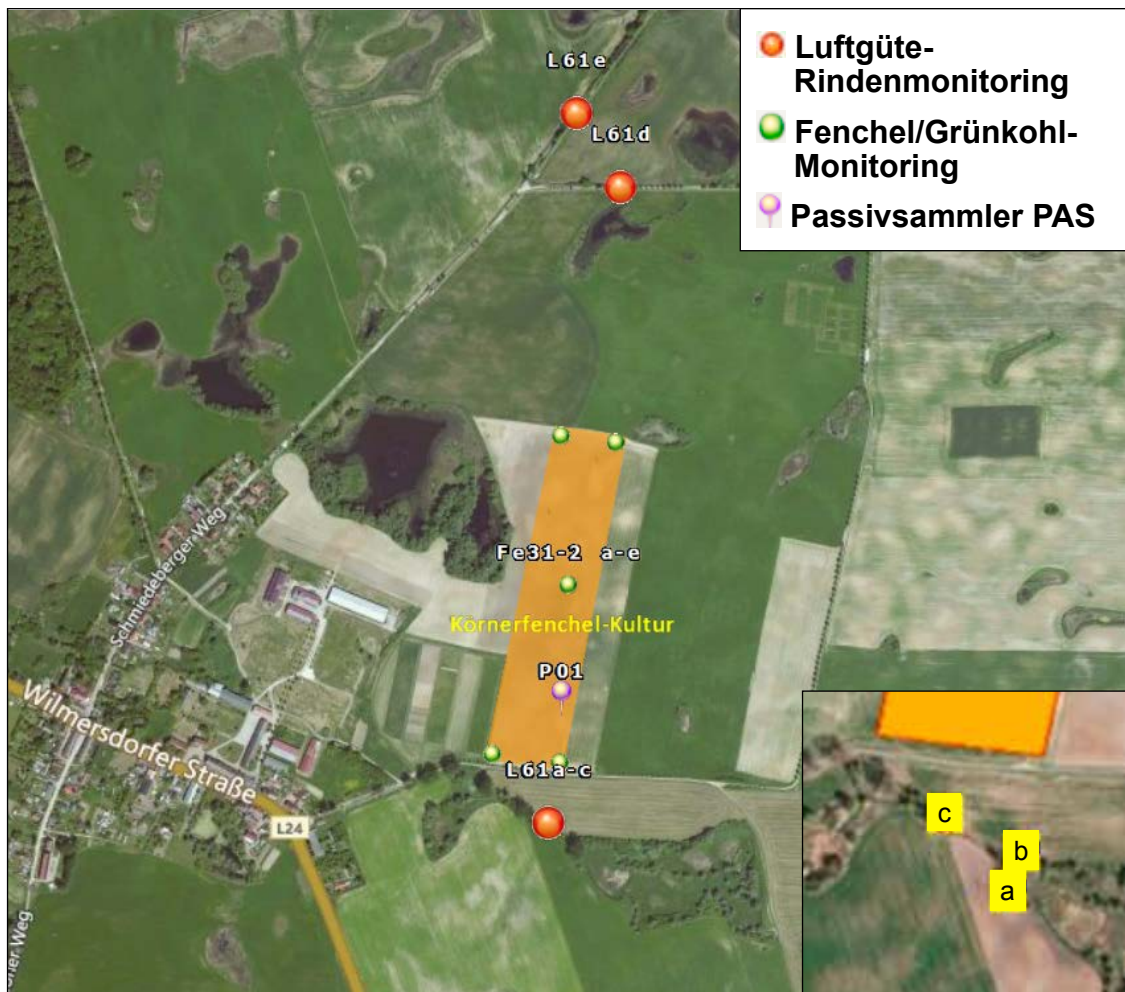


Abb. 3: Lage der Messstandorte zum Luftgüte-Rindenmonitoring in der Region Angermünde – Schorfheide-Chorin mit ergänzenden Standorten des Vegetations-Monitorings



L61 a-c Populus, L61 d e Quercus

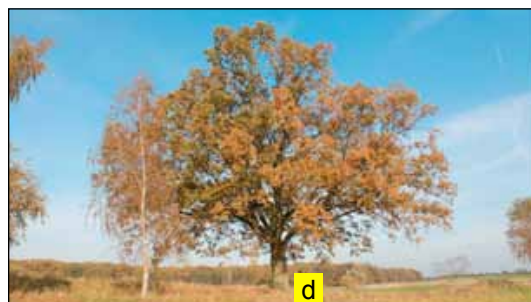
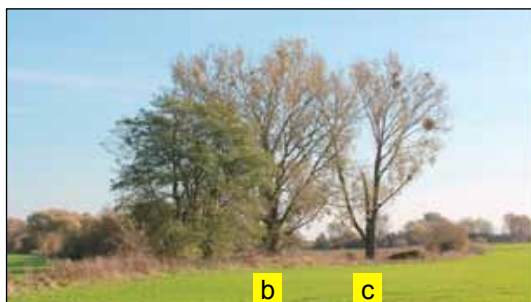
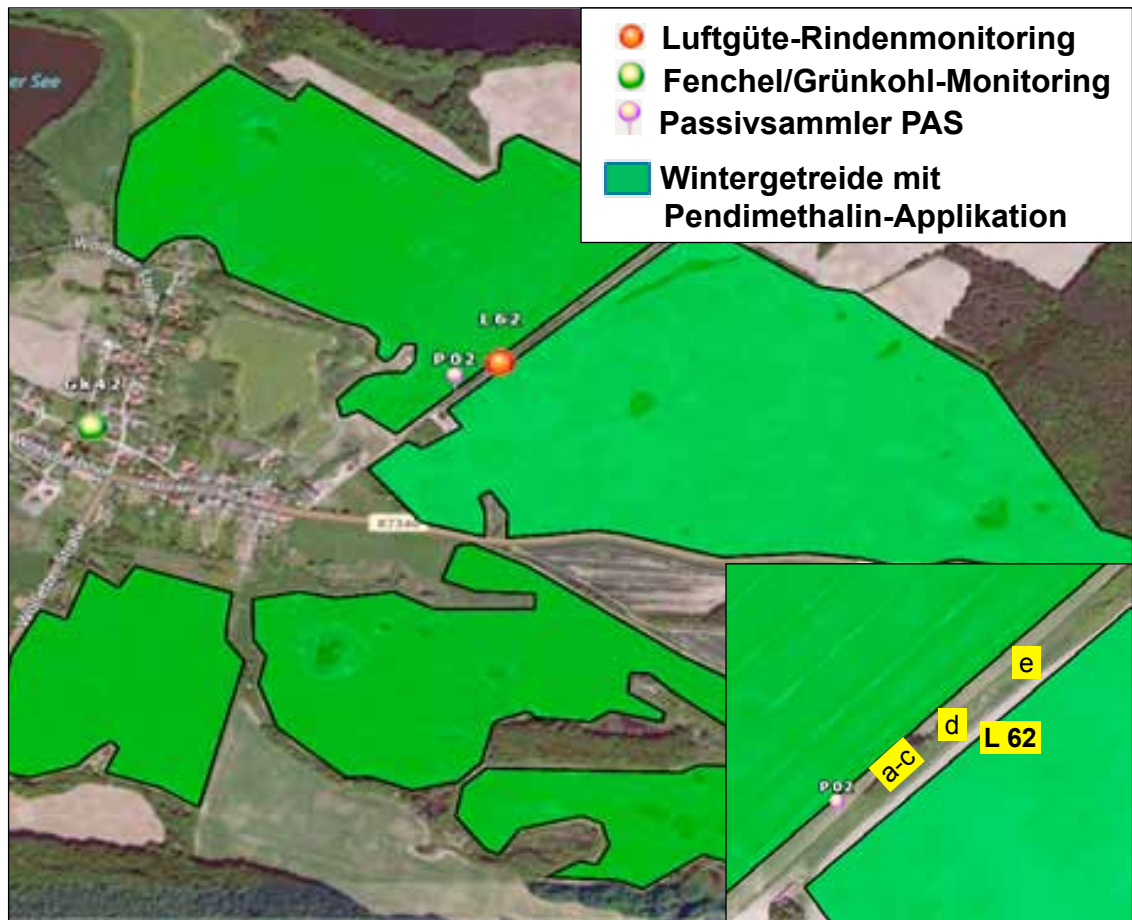


Abb. 4: Standort L61 Luftgüte-Rindenmonitoring, Körnerfenchel-Kultur bei Wilmersdorf



L62 a Acer, L62 b-e Crataegus

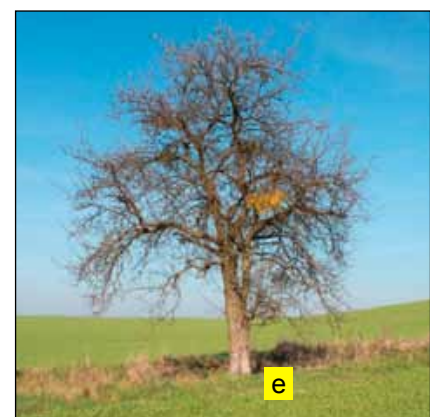


Abb. 5: Standort L62 Luftgüte-Rindenmonitoring, Referenzbereich mit Pendimethalin-Applikation auf umliegenden Wintergetreide-Feldern bei Altkünkendorf



a-c Populus

d-f Populus



Abb. 6: Standort L63 Luftgüte-Rindenmonitoring, Feldweg bei Peetzig



a b Populus

c-e Populus



Abb. 7: Standort L64 Luftgüte-Rindenmonitoring, Feldweg bei Meichow



a d Populus, b c Akazie



Abb. 8: Standort L65 Luftgüte-Rindenmonitoring, Feldweg bei Gerswalde



a-e *Salix*

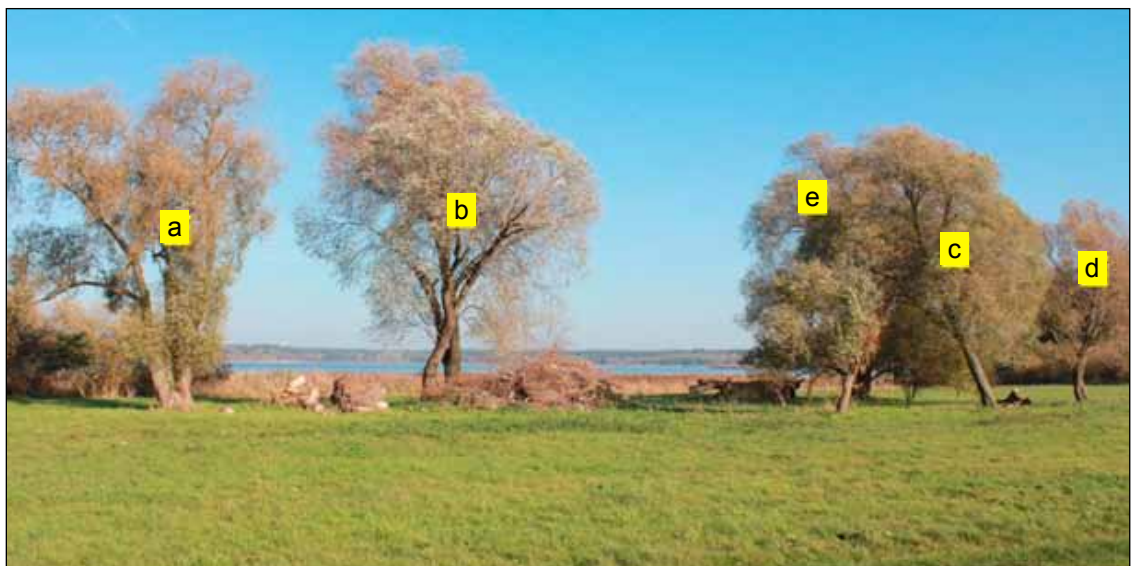


Abb. 9: Standort L66 Luftgüte-Rindenmonitoring, Südufer Felchower See



a-d Populus, e f Quercus



Abb. 10: Standort L67 Luftgüte-Rindenmonitoring, Allee bei Parlow



a-h Acer, i Quercus



Abb. 11: Standort L68 Luftgüte-Rindenmonitoring, Allee bei Britz-Chorin



a-g, i-l *Quercus*, h *Populus*



Abb. 12: Standort L69 Luftgüte-Rindenmonitoring, +Referenz-Standort mit Prosulfocarb-Anwendung im Frühjahr bei Danna im Fläming (Kartoffelanbau)

2.2.3 Probenahme

Die Probenahmen wurden nach Abschluss der Herbizid-Applikation zwischen dem 26. und 29.10.2014 nach dem Verfahren des Luftgüte-Rindenmonitorings (Hofmann et al. 2011) durchgeführt. Die Entnahme der äußeren Rinde erfolgte mit dem dafür speziell entwickelten Probenehmer in einer definierten Schichtdicke bis 1 mm auf standardisierte Weise stammumfassend in ca. 1,5 m Höhe unter Vermeidung von Kontamination. An jedem Standort wurden mehrere Bäumen beprobt und mindestens 30 g der äußeren Rinde entnommen, die Proben wurden vor Ort mittels Trockeneis tiefgefroren und zur Analyse ins Labor transportiert. Für den Nachweis von Herbiziden wurden spezielle Probennahmebeutel mit Innenbeutel aus Aluminiumfolie (100 µm) verwendet.

2.2.4 Analytik

Die Rindenproben wurden im Labor KWA-LIS GmbH in einer Kryo-Mühle mit Trockeneis homogenisiert und dann für die Analyseverfahren entsprechend aufgeteilt. Die Ergebnisse sind auf Trockengewicht (TG) bezogen.

2.2.4.1 Wirkstoff-Analytik

Die Analytik auf die beiden Herbizid-Wirkstoffe Pendimethalin und Prosulfocarb wurde vom akkreditierten Labor KWALIS GmbH durchgeführt. Für die Bestimmung von Pflanzenschutzrückständen in Baumrinden kam die Multimethode nach ASU L 00.00-115 mittels GC/MS-MS bzw. LC/MS-MS zur Anwendung. Die Herbizidanalytik wurde an den Frischproben vorgenommen und die



Abb. 13: Standardisierte Entnahme der äußeren Rinde zum Luftgüte-Rindenmonitoring mit dem Rindenprobenehmer (Archivbild Hofmann)

Ergebnisse auf Trockengewicht bezogen angegeben.

Über Pendimethalin und Prosulfocarb hinaus wurde ein umfassendes Screening nach >500 Pestizid-Wirkstoffen in den Proben vorgenommen. Die einzelnen Wirkstoffe und deren Bestimmungsgrenzen sind im Anhang 6.1 aufgelistet. Für Pendimethalin erfolgte zudem eine Quantifizierung über den Isotopen-markierten Standard Pendimethalin d_5 .

Die Auswertung im Hinblick auf die Immissionsbelastung erfolgt über die Relativgehalte im Rindenmonitoring sowie in Bezug zur integrierten Luftkonzentration der Passivsammler PAS über 8 Wochen über Parallelmessungen an zwei unterschiedlich hoch belasteten Standorten (Fenchelfeld: L61-P01; Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation: L62-P02) (siehe Kap. 2.2.1).

2.2.4.2 Element-Analytik

Ergänzend zum Auftrag wurde gemäß Standard des Luftgüte-Rindenmonitorings LGMR eine Element-Analytik vorgenommen. Hierzu wurden ca. 1 g des homogenisierten und gefriergetrockneten Probenmaterials verwendet. Die Multi-Element-Analytik per ICP-MS wurde im akkreditierten und mit der Matrix erfahrenen Labor Indikator GmbH (M. Duve) vorgenommen. Die Analytik auf N und S per Elementanalysator erfolgte im Thünen-Institut (Dr. Giesemann). Eine ausführliche Beschreibung der Analytik findet sich bei Hofmann et al. (2001). Folgende Parameter wurden bestimmt:

Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hg, Ho, In, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Yb, Zn, Zr

Die Analysenwerte zur Konzentration [ppm = $\mu\text{g/g TG}$] der Elemente wurden über einen mitlaufenden internen Rindenstandard (RS2) kalibriert und standardisiert, Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurden gekennzeichnet und in der Auswertung mit $\frac{2}{3}$ der NWG berücksichtigt (s. Hofmann et al. 2001).

Für eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse über das Stoffprofil wird die Immissionsbelastung als ein Vielfaches der Grundbelastung basierend auf dem 10%-Quantilwert der bundesweiten Verteilung angegeben (IBR = Immissionsbelastung Rindenmonitoring). Eine Bewertung erfolgt basierend auf der Quantilverteilung im Luftqualitätsindex-Rindenmonitoring (LQIR).

Die Ergebnisse hierzu werden gesondert berichtet.

2.2.4.3 Ermittlung der Immissions-Konzentration

Für Rückschlüsse aus der Rinden-Konzentration auf eine über 8 Wochen integrierte Luft-Konzentration der beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb wurde eine Kalibrierung über die Passivsammler PAS aus Kap. 2.3 wie folgt vorgenommen.

In Abb. 14 ist die Beziehung zwischen der integrierten Luftkonzentration $C_{\text{Luft-PAS}}$, ermittelt über die Passivsammler (s. Kap. 3.1.2) und der gemessenen Konzentration in der Rinde C_{Rinde} für Pendimethalin (s. Kap. 3.2.1) dargestellt. Berücksichtigt wurden die Doppelmessungen beim PAS und die Unsicherheit aus den drei Abschätzungen für die Sammelrate aus Tab. 8. Der Bezug ist über die mittlere Kennlinie (Regressionsgerade, rot, 3 Punkte, Bedingung Nullpunkt) in Abb. 14 gekennzeichnet, die blaue Rauten geben die Bandbreite der Einzelwerte wieder. Es ergibt sich eine signifikante Beziehung mit vergleichbarer Bandbreite an beiden Standor-

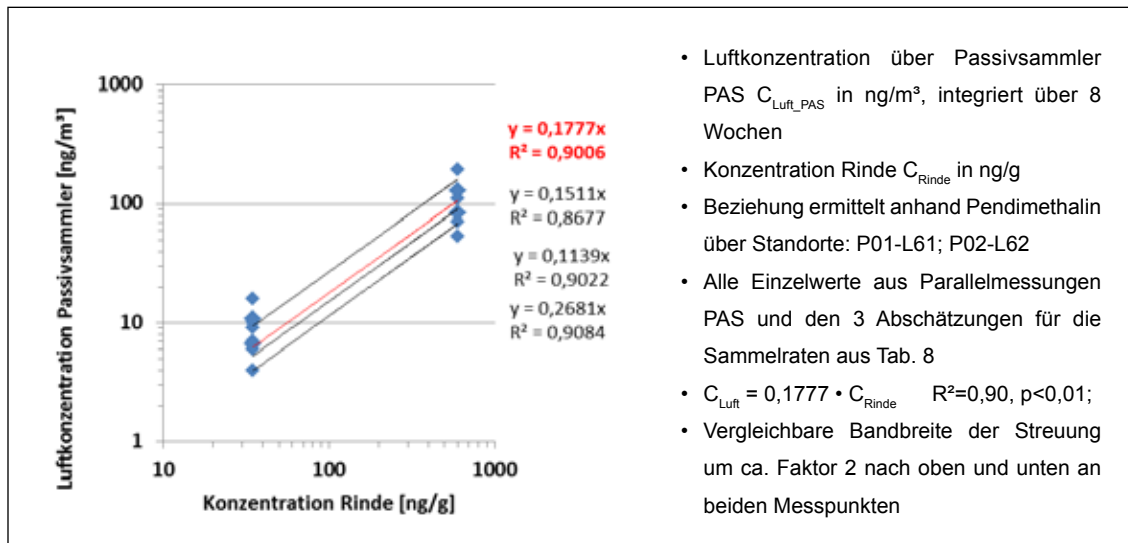


Abb. 14: Beziehung zwischen Luftkonzentration per Passivsammler PAS und Konzentration in der Rinde für Pendimethalin

ten. Die 3 Einzelabschätzungen beruhen auf unterschiedlichen Koeffizienten, sodass die entsprechenden Kennlinien in der Darstellung parallel verlaufen (fester Faktor). Daraus geht hervor, dass die Ergebnisse beider Verfahren gut korrelieren. Die Bandbreite höherer und niedriger Einzelwerte kann mit einem mittleren Faktor um die Kennlinie beschrieben werden, der hier 2,0 beträgt (mal 2 nach oben, geteilt durch 2 nach unten).

Für Prosulfocarb wurde eine vorläufige Kalibrierung über die Sammelrate von Pendimethalin vorgenommen, da Prosulfocarb aktiv nicht im Expositionszeitraum der Passivsammler ausgebracht wurde.

2.3 Passivsammler (PAS)

Um Vergleichswerte zur Luftkonzentration für das Biomonitoring zu erhalten wurden an 2 Messpunkten über den Ausbringungszeitraum die beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb mittels Passivsammler erfasst. Die Arbeiten erfolgten in Kooperation mit der Eurofins GfA GmbH, Hamburg (Ansprechpartner: Dr. A. Dreyer), die die Sammler stellte und die Analytik und Auswertung

vornahm. Die Eurofins GfA GmbH ist bekannt gegebene Messstelle nach §§ 29b BImSchG und darüber hinaus ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.

2.3.1 Verfahren

Das hier zur Anwendung kommende Messverfahren ist kein akkreditiertes Standardmessverfahren. Es orientiert sich an den Messverfahren zur Bestimmung von persistenten organischen Schadstoffen (POPs), u.a. Organochlorpestiziden im Rahmen des Global Atmospheric Passive Sampling Networks GAPS (2014). Für Probenahmezeiträume von 3 Monaten wurde dieses Verfahren bereits erfolgreich für die Bestimmung von Pendimethalin in Außenluft eingesetzt (Koblizkova et al. 2012, Mai 2012). Für Prosulfocarb sind veröffentlichte Anwendungen dieses Verfahrens nicht bekannt.

Zur Durchführung der Messungen von Pendimethalin und Prosulfocarb in Außenluft wurden Passivsammler für Außenluft der Firma Tisch Environment verwendet (Abb. 15). Es wurden pro Messpunkt 3 Sammler in 2,5 m Höhe parallel exponiert: 2 Samm-

ler dienten der Doppelbestimmung mit dem Sammelmedium SIP und ein Sammler für interne Kontrollzwecke mit Polyurethanschaum (PUF). Das Sammelmedium ist ein Polyurethanschaum mit 14 cm Durchmesser und 1,35 cm Höhe (Tisch Environmental; Abb. 16), der für eine bessere Adsorptionsrate entsprechend der Vorgaben von Shoeib et.al. (2008) gereinigt und mit XAD-4 modifiziert wurde (SIP: Sorbent Impregnated Polyurethane Foam Disk).

Die Messgeräte wurden zu Beginn der Probenahme am 23.9.2014 mit den Probenahmemedien (2 x SIP; 1 x PUF) bestückt. Am Ende der Expositionszeit (27.10.2014) wurden die Sammelmedien entnommen, einzeln in Aluminiumfolie und PE-Probenahmebeutel verpackt und gekühlt in das Labor transportiert. Zur Inhaltsstoffanalyse wurden die Sammelmedien mit Ethylacetat bei Ultraschallunterstützung extrahiert. Die Bestimmung der über den Sammelzeitraum integrierten Wirk-

stoffmassen von Pendimethalin und Prosulfocarb erfolgte mittels HPLC-MS/MS.

Die integrierten Luftkonzentrationen von Pendimethalin und Prosulfocarb wurden über die mittlere Sammelrate der GAPS-Sammler für eine lineare Aufnahmephase (Genualdi et al. 2010) abgeschätzt. Für Pendimethalin wurden zudem stoffspezifische Sammelraten für europäische Standorte in Paris (Frankreich) und Kosetice (Tschechien) veröffentlicht (Koblikova et al. 2012). Mit diesen Sammelraten berechnete Luftkonzentrationen wurden ebenfalls dargestellt. Auf Grundlage der absoluten Wirkstoffmassen der Sammelmedien sind die untersuchten Standorte aber auch direkt miteinander vergleichbar.

Tab. 3 zeigt typische Nachweisgrenzen und abgeschätzte Messunsicherheiten für die Bestimmung von Pendimethalin und Prosulfocarb in Passivsammlermedien vom Typ SIP.



Abb. 15: Passivsammler des GAPS Networks für Außenluft der Firma Tisch Environmental



Abb. 16: Sammelmedium Sorbent Impregnated Polyurethane Foam Disk (SIP)

Tab. 3: Typische Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten der Zielanalyte in Passivsammlermedien

Element	Methode	rel. Nachweisgrenzen*	Messunsicherheit**
Pendimethalin	HPLC-MS/MS	0,04 ng/m³	50-100 %
Prosulfocarb	HPLC-MS/MS	0,04 ng/m³	50-100 %

* Instrumentelle NWG bezogen auf Monatswerte.

** abgeschätzte MU für Analytik und Probenahme. Der Einfluss verschiedener SIP Aufnahmeraten für die Zielsubstanzen ist in diesem Wert nicht enthalten.

2.3.2 Messstandorte und Messumfang

Die Erfassung der Herbizid-Immissionen mit den Passivsammlern wurde an 2 Messstandorten vorgenommen.

- Messpunkt P01 liegt direkt in der betroffenen Körnerfenchel-Kultur bei Wilmersdorf.
- Messpunkt P02 befindet sich am Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation bei Altkünkendorf zwischen zwei Wintergetreide-Feldern auf denen im Expositionszeitraum Pendimethalin appliziert wurde. Die Passivsammler wurden in der Mitte eines ca. 10 m breiten Ruderalstreifen (ehemaliger Fahrweg) in 2,5 m Höhe positioniert, sodass bei erfolgter bodennaher Ausbringung direkte Einflüsse aus der Herbizid-Applikation ausgeschlossen werden konnten.

Beide Messstandorte sind frei anströmbar und entsprechen idealen Standortbedingungen. An beiden Standorten ist keine Prosulfocarb-Anwendung bekannt (Auskunft LELF-PSD).

Messdauer: Die Ermittlung von Pestiziden in Außenluft mittels Passivsammlung (Typ SIP) erfolgt in der Regel über 2 bis 3 Monate (GAPS 2012). Nachdem hier der Messzeitraum die Zeit der Herbizidapplikation als Zeitraum der zu erwartenden höchsten Immissionen erfassen sollte, orientierte sich die Probenahme an der Herbizidausbringung im Herbst und umfasste schlussendlich 34 Tage (23.09.2014 bis 27.10.2014). In diesem Zeitraum wurden je Messpunkt 2 Passivsammler des Typs SIP parallel exponiert. Die Probenahme fand in einer Messhöhe von 2,5 m über der Flur statt. Die Sammler waren frei anströmbar und erfüllen diesbezüglich die Vorgaben der TA Luft (TA Luft 2002).

Die Lage der Messstandorte und die Messeinrichtungen sind in den Abb. 17 - Abb. 21 veranschaulicht. Tab. 4 fasst die Beschreibung der Standorte und den Messumfang zusammen.

Tab. 4: Beschreibung der Messstandorte und Messumfang

PAS	Beginn	Ende	Dauer d	Breite Länge	Exp Grad	Höhe m	Standort	Weitere Indikatoren
P 01	23.9.14 09:00	27.10.14 11:00	34	53,111080 13,918002	4	2,5	Körnerfenchelkultur bei Wilmersdorf; keine Applikation von Pendimethalin oder Prosulfocarb im Expositionszeitraum	Fe31-1 Fe31-2 L61
P 02	23.9.14 11:00	27.10.14 14:30	34	53,009559 13,884714	4	2,5	+Referenzfläche bei Altkünkendorf mit Pendimethalin-Applikation (Wintergetreide) im Expositionszeitraum; keine Applikation von Prosulfocarb im Expositionszeitraum	L62 GK42
Distanz der beiden Messpunkte: 11,5 km								

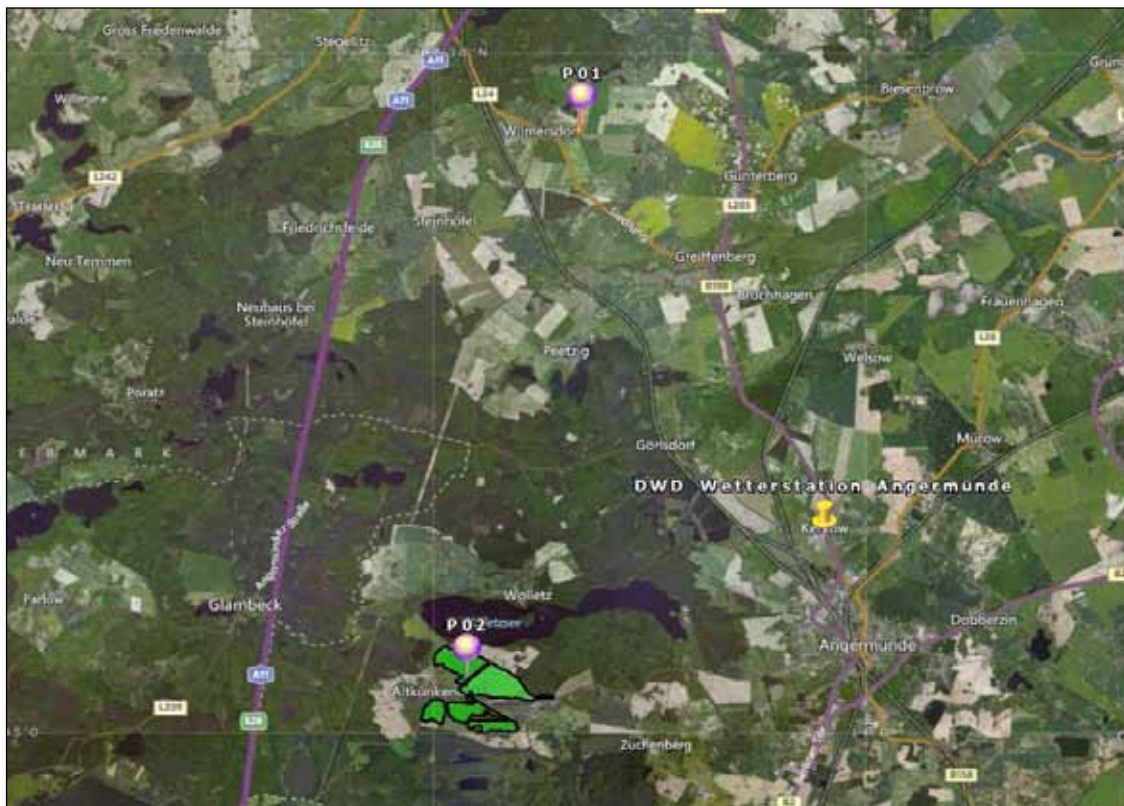


Abb. 17: Lage der beiden Passivsammler-Messstandorte P01 und P02

P01 Körnerfenchel-Kultur bei Wilmsdorf

P02 Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation bei Altkünkendorf



Abb. 18: Passivsammler Messpunkt P01 im Körnerfenchel-Feld bei Wilmsdorf



Abb. 19: Passivsammler Messpunkt P02 am Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation auf umliegenden Wintergetreide-Feldern bei Altkünkendorf



Abb. 20: Passivsammler-Einrichtung am Messpunkt P01, Körnerfenchel-Kultur bei Wilmersdorf



Abb. 21: Passivsammler-Einrichtung am Messpunkt P02, Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation auf umliegenden Wintergetreide-Feldern

2.4 Vegetations-Monitoring (Körnerfenchel, Grünkohl)

Ergänzend zur Beprobung der betroffenen Körnerfenchel-Kultur wurden 6 Standorte mit Grünkohl für das Vegetations-Monitoring untersucht. Eine Übersicht der Proben und Standorte geht aus Tab. 5 und den Abb. 22 bis 29 hervor.

Das Körnerfenchelfeld bei Wilmersdorf wurde vom Landwirt vorzeitig am 17.9.2014 vor der Ausbringungszeit von Pendimethalinpräparaten geerntet. Die Haupternte erfolgte in diesem Jahr ausnahmsweise ca. 1 Monat vor Erreichen der Erntereife unter Inkaufnahme von Verlusten. Dazu erfolgte eine erste Beprobung durch den LELF-PSD (FE 31.1).

Tab. 5: Übersicht der Standorte und Proben zum Vegetationsmonitoring mit Körnerfenchel und Grünkohl

VEG	Sub	Datum	Breite Länge	Kultur	Exp	Standort	Bemerkungen
FE 31.1		17.9.2014	N53°06'39,9" E13°55'04,8"	Körnerfenchel	4	Wilmersdorf	1. Beprobung Ernte, vorzeitig (LELF-PSD)
FE 31.2	5 a-e	27.10.14 11:00					2. Beprobung zur Erntereife
GK 42	A B	27.10.14 14:00	N53°00'32,1" E13°52'28,2"	Grünkohl	3	Altkünkendorf	Garten
GK 43	A B	27.10.14 10:00	N53°05'53,9" E13°52'06,4"	Grünkohl	2-3	Steinhöfel	Garten
GK 44	A B	27.10.14 16:00	N52°54'31,0" E13°59'30,4"	Grünkohl	3	Brodowin	Garten
GK 45	A B	27.10.14 8:30	N53°05'18,2" E13°57'33,6"	Braunkohl	3	Greiffenberg	Schaugarten
GK 46	A B	27.10.14 15:00	N52°55'35,4" E14°04'26,1"	Grünkohl	3	Lüdersdorf	Garten
GK 47	A B	26.10.14 16:00	N52°53'22,9" E13°38'07,7"	Grünkohl	3	Eichhorst	Garten

Fünf Teilflächen der Fenchelkultur wurden für eine 2. Beprobung zur üblichen Erntezeit bei Abreife (Ende Oktober/Anfang November) belassen. Die Probenahme (Fe 31.2) erfolgte am 27.10.2014 nach Beendigung der Herbizidausbringung zeitgleich mit den anderen Probenahmen zum LGRM und den Passivsammlern.

Da in der Region keine weiteren Fenchelkulturen bekannt waren, wurden in der Umgebung Pflanzen mit ähnlich wie Körnerfenchel bekannt guten Akzeptor-Eigenschaften beprobt. Hierzu wurde Grünkohl ausgewählt und als passives Monitoring an 6 Standorten ausgewählt, d. h. es wurden vorhandene Grünkohl-Pflanzen in ländlichen Hausgärten beprobt. Die Entnahme der Blattspreiten erfolgte an mindestens 4 Pflanzen mittels Keramikmessern in Anlehnung an VDI 3957 Bl. 3 (2000). Das Blattmaterial wurde in 100 µm-Aluminiumfolie verpackt und vor Ort mit Trockeneis tiefgefroren.

Die Analytik der Vegetationsproben wurde über den LELF-PSD beim Landeslabor Berlin-Brandenburg vorgenommen.

Die Bestimmung der Wirkstoffe Pendimethalin und Prosulfocarb sowie Boscalid, Chlorfenson, Clomazon, o,p-DDT, p,p-DDT, Flufenazet, gamma-HCH, Metalaxyl, Metazachlor, Metolachlor, Terbutylazin in Fenchel- und Grünkohlproben erfolgte nach dem LLBB-Prüfverfahren PV 0256.

Die angelieferten Grünkohlproben wurden ungewaschen mit einem Kutter vom Typ „robot coupe R10“ zerkleinert und homogenisiert. Die auf diese Weise vorbereiteten Proben wurden gemäß der Methode L 00.0034 (DFG S19) aus der amtlichen Sammlung (ASU) gemäß § 64 LFGB (LLBB-Prüfverfahren PV 0256) aufbereitet. Für die Vermessung der gereinigten Extrakte wurde ein GC MSMS-Gerät der Fa. Agilent, bestehend aus Gaschromatograph GC 7890A mit Kaltaufgabesystem KAS 4 und Triple Quadrupol-Massenspektrometer 7000B, EI (MSMS) verwendet. Als Trennsäule wurde eine Zebron ZB-5 MSi 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm verwendet. Mit der angewendeten Methodik wurde eine Bestimmungsgrenze von 0,02 mg/kg Originalsubstanz und eine Nachweisgrenze von 0,01 mg/kg Originalsubstanz erreicht.

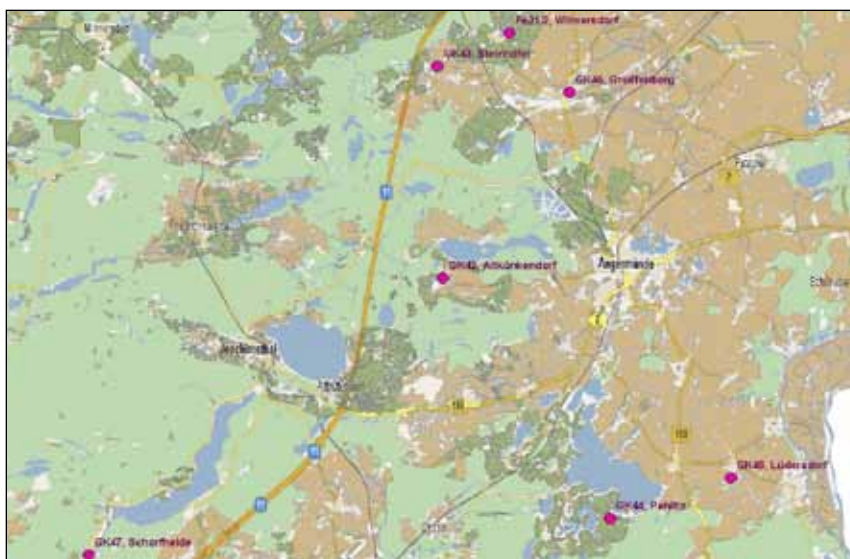


Abb. 22:
Übersicht
Probenahmestandorte
Grünkohl/Fenchel 2014
Fe: Fenchel;
GK: Grünkohl
Untersuchung auf
Pendimethalin/
Prosulfocarb-Rückstände
braun: landwirtschaftliche
Nutzflächen, dunkelgrün
davon ökologisch
bewirtschaftet



Abb. 23: Körnerfenchel-Probe Fe3.2 auf Feld bei Wilmersdorf

orange: Körner-Fenchel-Kultur Gut Wilmersdorf
vorgezogene Ernte, Beprobung am 17.9.2014 (LELF-PSD)
grüne Punkte: Restfelder, 5-Punkt-Stichprobe Fe31-2 a-f für 2. Beprobung zur
Erntereife am 27.10.2014



Fenchelfeld, abgeerntet Mitte September vor Erntereife.



Beprobung Körnerfenchel (Dolde) zur Erntereife am 27.10.2014 als 5-Punkt-Stichprobe (Unterprobe Fe31.2a).



Abb. 24: Grünkohl-Probe GK 42 am +Referenzstandort mit Pendimethalin-Anwendung, Hausgarten in Altünkendorf (27.10.2014)



Abb. 25: Grünkohl-Probe GK 43 bei Steinhöfel in Hausgarten am 27.10.2014



Abb. 26: Grünkohl-Probe GK 44 am 27.10.2014



Abb. 27: Grünkohl-Probe GK 45, Greiffenberg, Schaugarten des VERN, am 27.10.2014



Abb. 28: Grünkohl-Probe GK 46, Lüdersdorf, Hausgarten, am 27.10.2014



Abb. 29: Grünkohl-Probe GK 47, Eichhorst, Hausgarten, am 26.10.2014

2.5 Ergänzende Erfassung und Datenerhebung bei landwirtschaftlichen Unternehmen im weiteren Umkreis mit entsprechender PSM-Anwendung

Es wurde eine Erfassung und Datenerhebung bei landwirtschaftlichen Unternehmen im weiteren Umkreis (3 km Luftliniendistanz) durch den LELF-PSD vorgenommen. Ausschliesslich 3 Betriebe verwendeten pendimethalinhaltige Handelspräparate. Lage und

Distanzen sind in der Abb. 30 dargestellt. Mitteleinsatz, Zeitpunkt und Handelspräparat sind tabellarisch in Tab. 6 dargestellt.

3 von 5 Applikationsfeldern sind zum Körnerfenchelschlag durch einen über 1 km breiten Waldriegel abgeschirmt (Wilmersdorfer Forst), die verbleibenden beiden weisen jeweils 2,5 km Direktidistanz in einer gut gegliederten, reliefierten Agrarlandschaft auf.

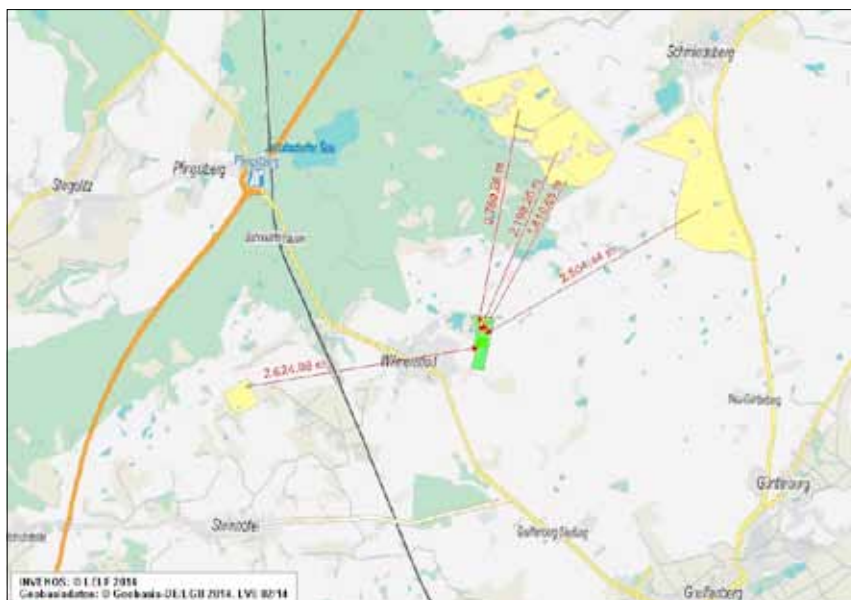


Abb. 30:
Übersicht
nächstgelegener
Herbizidapplikationen
2014

Tab. 6: *Herbizidmaßnahmen im Umkreis*

*Herbizidmaßnahmen im Umkreis von 3 km um den Körnerfenchelschlag in Wilmersdorf im Herbst 2014;
Erhebungen: LELF, PSD Dez. 2014*

Herbizidmaßnahmen - Herbst 2014				
Ortslage	Kultur	Pendimethalinhaltiges Herbizid	Datum	Entfernung
Steinhöfel	WW	1,5 Trinity + 10 g Lexus	09.10.2014	ca. 2600 m
Schmiedeberg	WG (24ha, Rest WW)	2 Trinity + 0,27 Bullldock 0,5 Bacara forte + 15 g Lexus	16.10.2014 18.10.2014	ca. 2200 m
Schmiedeberg	WR	2 Trinity + 0,27 Bullldock	16.10.2014	ca. 1800 m
Schmiedeberg	WW	1 Trinity + 0,1 Absolute M	18.09.2014	ca. 2500 m
Polßen	WR	2 Trinity	19.09.2014	ca. 2760 m

Ergebnisse mit Diskussion 3.

3.1 Passivsammler

3.1.1 Absolutmassen

In der folgenden Tab. 7 sind die Absolutmassen von Pendimethalin und Prosulfocarb in den SIP Sammelmedien dargestellt. Über die Passivsammler wurde an beiden Messpunkten sowohl Pendimethalin als auch Prosulfocarb in der Luft nachgewiesen.

Die Massen von Pendimethalin am Messpunkt P02 (Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation im Untersuchungszeitraum im direkten Umfeld der Probenahme) sind deutlich (Faktor 8 bis 20) höher als die am Messpunkt P01 (Fenchel-Kultur ohne bekannte Pendimethalin-Applikation im Untersuchungszeitraum).

An beiden Standorten wurde ebenfalls Prosulfocarb nachgewiesen, wenngleich in geringerer Konzentration und ohne deutlichen Unterschied zwischen den Messpunkten. Eine Applikation ist an den Standorten im Untersuchungszeitraum laut LELF-PSD nicht bekannt.

Vergleichswerte von Pendimethalin und Prosulfocarb für landwirtschaftlich genutzte Flächen sind nicht bekannt. Die hier bestimmten Pendimethalin-Massen in den Passivsammlern liegen an beiden Messpunkten oberhalb der an Standorten nahe Hamburg (Sülldorf) oder der Nordsee (0,08 bis 0,13 ng/Probe) bestimmten Werten (Mai 2012).

3.1.2 Luftkonzentration

Tab.8 zeigt die abgeschätzten Luftkonzentrationen von Pendimethalin und Prosulfocarb.

Demnach wurden Prosulfocarb-Konzentrationen im Untersuchungszeitraum zwischen 0,3 und 0,7 ng/m³ ermittelt.

Die Pendimethalin-Konzentrationen lagen zwischen 4 und 16 ng/m³ am Standort P01 der Körnerfenchelkultur und zwischen 54 und 196 ng/m³ am Referenzstandort P02 mit bekannter Pendimethalin-Applikation im Untersuchungszeitraum. In der Bandbreite sind die Parallelmessungen und die 3 unterschiedlichen Schätzverfahren berücksichtigt.

Tab. 7: Pendimethalin und Prosulfocarb (µg/Probe) in den Sammelmedien der Passivsammler
Messzeitraum: 23.09.2014 bis 27.10.2014

Probennummer	Probenbezeichnung	Sammelmedium	Pendimethalin (µg/Probe)	Prosulfocarb (µg/Probe)
1402261001	P01-1	SIP	1,20	0,091
1402261002	P01-2	SIP	0,76	0,060
MW	P01		0,98	0,076
1402261004	P02-1	SIP	9,70	0,044
1402261005	P02-2	SIP	15,00	0,068
MW	P02		12,35	0,056

Tab. 8: Pendimethalin- und Prosulfocarb- Konzentrationen in der Luft (ng/m³) an den Messpunkten

Messzeitraum: 23.09.2014 bis 27.10.2014

Probennummer	Proben-bezeichnung	Sammel-medium	Prosulfocarb (ng/m ³) *	Pendimethalin (ng/m ³) *	Pendimethalin (ng/m ³) **	Pendimethalin (ng/m ³) ***
1402261001	P01-1	SIP	0,7	9	7	16
1402261002	P01-2	SIP	0,4	6	4	10
MW	P01		0,55	7,5	5,5	13
1402261004	P02-1	SIP	0,3	71	54	127
1402261005	P02-2	SIP	0,5	110	83	196
MW	P02		0,4	91	69	162

* Abschätzung mit durchschnittlicher GAPS Sammelrate (Genualdi et al. 2010)

** Abschätzung mit Sammelrate für Kosetice (Koblizkova et al. 2012)

*** Abschätzung mit Sammelrate für Paris (Koblizkova et al. 2012)

Vergleichskonzentrationen für landwirtschaftlich genutzte Flächen sind nicht bekannt. Veröffentlichte Luftkonzentrationen mit dem gleichen Sammelverfahren wurden für Pendimethalin berichtet. Sie liegen mit 0,061 und 0,190 ng/m³ für Kosetice (Hintergrund-Messstation für Tschechien) und Paris in einem ca. um den Faktor 1.000 geringeren Bereich (Koblizkova et al. 2012) als die am emissionsnahen Referenzstandort bestimmten Konzentrationen. Mittels aktiver Probenahme bestimmte Luftkonzentrationen für die deutsche Nord- und Ostsee (Mai 2012) liegen im Bereich von 0,005 bis 0,015 ng/m³ und geben hiermit die großräumigeren Hintergrundwerte unbelasteter Regionen an.

Die Ergebnisse weisen damit für beide Wirkstoffe auf eine über Nahbereichswirkungen hinausgehende, weiträumige Verteilung hin.

3.2 Luftgüte-Rindenmonitoring

3.2.1 Konzentration Rinde

Die gemessenen Konzentrationen der beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb in der Matrix Rinde gehen aus Tab. 9 hervor. Sowohl Pendimethalin als auch Prosulfocarb wurden an allen Standorten festgestellt.

Pendimethalin wurde hierbei in Konzentrationen deutlich über 10 ng/g nachgewiesen.

Tab. 9: Konzentration von Pendimethalin und Prosulfocarb in den Rindenproben

Herbizid-Konzentration		Standorte								
		L 61	L 62	L 63	L 64	L 65	L 66	L 67	L 68	L 69
Pendimethalin	ng/g	35	602	25	110	74	109	30	17	190
Prosulfocarb	ng/g	4	5	3	8	6	3	6	4	119

Die Belastung am Referenzstandort L62 mit der Pendimethalin-Applikation ist mit einem Wert von 602 ng/g erwartungsgemäß am höchsten. Die Konzentration am Körnerfenchel-Feld (L61) beträgt 35 ng/g und die des Standortes L63, der im näheren Umfeld des Fenchelfeldes gelegen ist, 25 ng/g. Damit liegen das Fenchelfeld und das nähere Umfeld im Schwankungsbereich der anderen Werte aus der Region Angermünde – Schorfheide-Chorin (L61, L63-L68) die Werte von 17 bis 110 ng/g aufweisen. Der Referenzstandort L69 in der Intensivlandwirtschaft im Fläming zeigte einen Wert von 190 ng/g.

Für Prosulfocarb ergaben sich Rinden-Konzentrationswerte für die Standorte aus der Region Angermünde – Schorfheide-Chorin (L61-L68) im Bereich von 3 bis 8 ng/g. Am Referenzstandort L69 im Fläming wurde eine Konzentration von 119 ng/g erreicht, den Einfluss aus der bekannten Prosulfocarb-Applikation im Frühling auf dem anliegenden Kartoffelfeld widerspiegelnd. Die Werte sind im Vergleich zu Pendimethalin deutlich

niedriger. Das Verhältnis von Prosulfocarb zu Pendimethalin beträgt am Standort L61 ca. 1:9 und bei L62 1:120. Dies entspricht etwa der Größenordnung, die mit den Passivsammlern gemessen wurde. Prosulfocarb wird vor allem im Frühling bis Frühsommer angewendet, als eine typische Anwendung gilt der Kartoffelanbau, der laut LELF-PSD jedoch in der Region Angermünde -Schorfheide- Chorin kaum mehr vorkommt.

Der Nachweis von Pendimethalin und Prosulfocarb an allen Standorten in der Region ist ein deutlicher Hinweis auf eine sehr weit-räumige Verbreitung.

3.2.2 Luftkonzentration

3.2.2.1 Pendimethalin

Die abgeleitete Luftkonzentration für Pendimethalin an den Standorten des Rindenmonitorings geht aus Tab. 10 hervor. Mit aufgeführt sind die Werte der Passivsammler an den Standorten der Parallelmessungen.

Tab. 10: Luftkonzentration für Pendimethalin an den Standorten des Luftgüte-Rindenmonitorings

Basis: Integrierte mittlere Luftkonzentration CPAS in ng/m^3 über Sammelzeitraum 1 Monat;

Bezug über Parallelmessungen an den Messpunkten L61-P01 und L62-P02;

$C_{\text{PAS}} [\text{ng/m}^3] = 0,1777 C_{\text{Rinde}} [\text{ng/m}^3]$

Unsicherheit aus den Parallelmessungen und den 3 Kennlinien des PAS: Faktor 2

Integrierte Luftkonzentration Rindenmonitoring LGRM			Integrierte Luftkonzentration Passivsammler PAS		
	Mittel	Bandbreite		Mittel	Bandbreite
	$[\text{ng/m}^3]$	$[\text{ng/m}^3]$		$[\text{ng/m}^3]$	$[\text{ng/m}^3]$
L 61	6	3-12	P01	8,7	4-16
L 62	107	54-214	P02	107	54-196
L 63	4	2-9			
L 64	20	10-39			
L 65	13	7-26			
L 66	19	10-39			
L 67	5	3-11			
L 68	3	2-6			
L 69	34	17-68			

Die Ergebnisse in Tab. 10 geben für die mittlere Luftkonzentrationen von Pendimethalin an den Standorten der Region Angermünde einen Bereich von 3 bis 107 ng/m³ an, in der Bandbreite der Einzelabschätzungen von 2 bis 214 ng/m³.

Am Standort der Fenchelkultur (L61) wurde eine mittlere Pendimethalin-Konzentration von 6 ng/m³ mit einer Bandbreite von 3 bis 12 ng/m³ bestimmt. Am Referenzstandort L62 mit der Pendimethalin-Applikation betrug die ermittelte Luftkonzentration 107 ng/m³ (54-196 ng/m³). Für den zweiten Referenzstandort L69 im Fläming, der einen intensiv landwirtschaftlich genutzten Raum ohne direkte Pendimethalin-Anwendung auf benachbarten Feldern kennzeichnet, wurden Konzentrationswerte von 34 ng/m³ (17-69 ng/m³) erfasst. Die Luftkonzentrationen der weiteren Standorte in der Region Angermünde – Schorfheide – Chorin lagen im Bereich von 4 bis 20 ng/m³ (2 – 39 ng/m³).

Breit basierte Vergleichswerte zur Luftkonzentration sind lediglich aus Monitoring-Untersuchungen in Frankreich aus den Jahren 2001 und 2002 bekannt, die mehrere Regionen umfasste (zit. aus UBA 2013). Die Konzentrationen reichten von <1 ng/m³ bis 6,48 ng/m³ mit Fundhäufigkeiten von 0 bis 96%. Hierbei wurde ein Zusammenhang mit dem Ackerbau festgestellt, in Entfernungen zu einem Acker <1km wurden bis zu 12,05 ng/m³ gemessen.

3.2.2.2 Prosulfocarb

Die entsprechenden Ergebnisse zur Luftkonzentration für Prosulfocarb sind aus Tab. 11 ersichtlich. Hieraus geht für die Region Angermünde eine Prosulfocarb-Luftkonzentration im Bereich von 0,5 bis 1,4 ng/m³ (0,4-1,9 ng/m³) hervor. Am Referenzstandort L62 im Fläming mit Prosulfocarb-Anwendung im Frühjahr wird eine deutlich höhere Konzentration von 21 ng/m³ (16-28 ng/m³) ermittelt.

Tab. 11: Luftkonzentration für Prosulfocarb an den Standorten des Rindenmonitorings

Integrierte Luftkonzentration über Sammelzeitraum für LGRM und PAS in n/m³.

Kalibriert über PAS, Messpunkte: L61-P01; L62-P02; Bezugsfaktor: 0,1777 übernommen von Pendimethalin Einzelwerte aus Parallelmessungen, allgemeine Abschätzung für Sammelrate (s. Tab. 8)

Integrierte Luftkonzentration Rindenmonitoring LGRM			Integrierte Luftkonzentration Passivsammler PAS		
	Mittel	Bandbreite		Mittel	Bandbreite
	[n/m ³]	[n/m ³]		[n/m ³]	[n/m ³]
L 61	0,7	0,5-0,9	P01	0,55	0,4-0,7
L 62	0,9	0,7-1,2	P02	0,4	0,3-0,5
L 63	0,5	0,4-0,7			
L 64	1,4	1,1-1,9			
L 65	1,1	0,8-1,4			
L 66	0,5	0,4-0,7			
L 67	1,1	0,8-1,4			
L 68	0,7	0,5-0,9			
L 69	21	16-28			

Der Standort der Fenchelkultur (L61) weist 0,7 ng/m³ (0,5-0,9 ng/m³) auf. Für Prosulfocarb sind keine Vergleichswerte bekannt (UBA 2012).

3.3 Vegetationsuntersuchung – Erntebeprobung

Zum Vergleich mit den gewonnenen Ergebnissen aus LGRM und PAS wurden Grünkohlbestände aus Privatgärten der weiteren Umgebung sowohl innerhalb des relativ geschützten Bereichs des Biosphärenreservats wie auch ausserhalb mit exponierter Lage zu intensiver genutzten Agrarräumen beprobt.

Die Analyse der Proben erfolgte in 1/2015 im Landeslabor Berlin-Brandenburg (LLBB) und zeigte folgende Ergebnisse (Tab. 12).

Die Körnerfenchelprobe sowie 5 der 6 Grünkohlproben wurden positiv auf Pendimethalin analysiert. Durch die relativ isolierte Lage in Privatgärten zu konventionell bewirtschafteten Agrarflächen können Einflüsse aus Nachbarfeldern und Randbelastung faktisch ausgeschlossen werden. Die festgestellten Belastungen ergänzen und bekräftigen die Ergebnisse des LGRM und der PAS. Wesentliche Belastungsunterschiede der Standorte sind nicht abzuleiten, die Immissionen scheinen ubiquitär.

Tab. 12: Ergebnisse der Untersuchung von Körnerfenchelproben und Grünkohlproben

Beprobung Ende Oktober 2015

Wirkstoff: Pendimethalin

Bestimmungsgrenze: 0,02 mg/kg

Unter BG: Prosulfocarb, Boscalid, Chlorfenson, Clomazon, o,p-DDT, p,p-DDT, Flufenazet, gamma-HCH, Metalaxyl, Metazachlor, Metolachlor, Terbutylazin

			Pendimethalin in mg/kg	
			A	B
FE 31.2	Körnerfenchel	Wilmersdorf	0,06	0,02
GK 42	Grünkohl	Altkünkendorf	0,02	0,02
GK 43	Grünkohl	Steinhöfel	0,02	<0,02
GK 44	Grünkohl	Brodowin	0,02	0,02
GK 45	Braunkohl	Greiffenberg	0,03	0,03
GK 46	Grünkohl	Lüdersdorf	0,06	0,06
GK 47	Grünkohl	Schorfheide	<0,02	<0,02

4. Bewertung der Immissionsbelastung

Für eine Bewertung der Immissionsbelastung von Pendimethalin und Prosulfocarb wurden die Ergebnisse aus dem Luftgüte-Rindenmonitoring und den Passivsammlern in den Abb. 32 ff zusammenfassend dargestellt und mit vorhandenen Literaturwerten verglichen.

Die linke senkrechte Achse gibt hierbei die Luftkonzentration in ng/m^3 an, die rechte Achse die Konzentration der Rinde mit dem Skalierungsfaktor aus der Kalibrierung, so dass der Bezug hergestellt ist. Beide Achsen sind für eine vergleichende Darstellung der

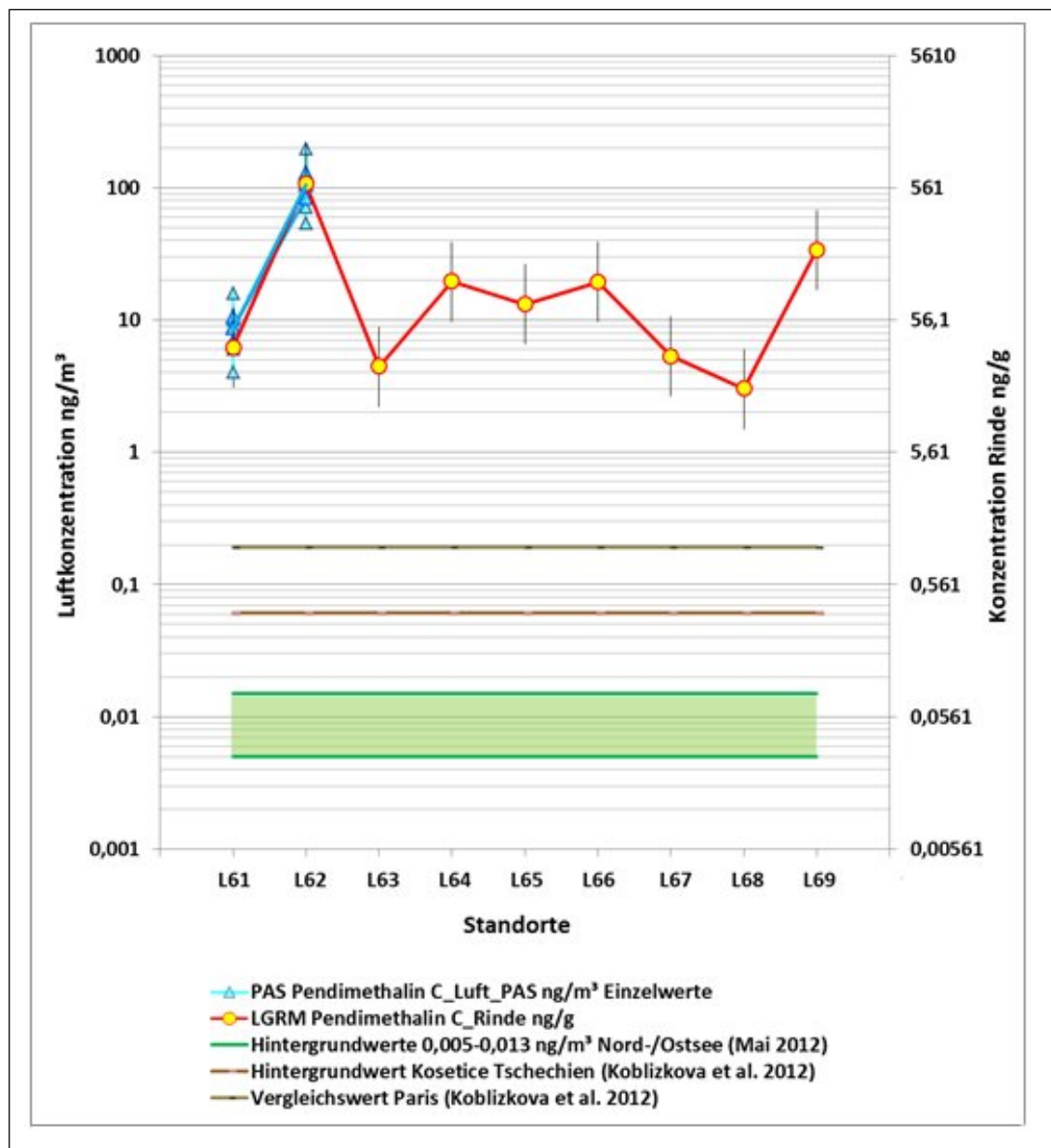


Abb. 31: Immissionsbelastung für Pendimethalin mit Vergleichswerten

Luftkonzentration $C_{\text{Luft_PAS}}$ in ng/m^3 ; Konzentration Rinde C_{Rinde} ng/g ; Normzeitraum 1 Monat
 Beziehung Passivsammler (PAS) – Rindenmonitoring (LGRM) für Pendimethalin über Standorte L61/P01
 und 62/P02: $C_{\text{Luft_PAS}} [\text{ng}/\text{m}^3] = 0,1777 C_{\text{Rinde}} [\text{ng}/\text{g}]$
 Fehlerabschätzung über PAS-Einzelwerte aus Parallelmessungen und den 3 Abschätzungen:
 Bandbreite ca. Faktor 2

Werte, die mehrere Größenordnungen umspannen, in LOG10 angegeben.

Die ermittelte Immissionsbelastung von Pendimethalin über das Rindenmonitoring ist rot-gelb gekennzeichnet, die senkrechten Balken denotieren die Bandbreite der Fehlerabschätzung. Die blauen Dreiecke geben die Luftkonzentrationswerte über die Passivsammler an den beiden Standorten 1 und 2 an (1: P01 – L61; 2: P02 – L62).

Aus der Grafik gehen die festgestellten Pendimethalin-Konzentrationen im Bereich von 3 bis 107 ng/m³ hervor. Zum Vergleich sind die Hintergrundwerte der Pendimethalin-Luftkonzentration unbelasteter Bereiche der Nord- und Ostsee (0,005 bis 0,013 ng/m³, grün markierter Bereich) angegeben, die mit identischen Passivsammlern und volumetrischen Sammlern (High Volume Sampler) auf Schiffen gemessen wurden (Mai 2012). Aus der Darstellung geht hervor, dass die Immissions-Belastung von Pendimethalin im Beurteilungsraum 2 bis 3 Größenordnungen (ca. 100 bis 1000fach) höher ausfällt. Die rot-braune Linie gibt die Hintergrund-Konzentration von Tschechien in Kosetice (0,061 ng/m³) an und die graue Linie einen Vergleichswert von Paris (0,19 ng/m³); beide Werte wurden über das gleichen Passivsammler-Verfahren im Rahmen des internationalen GAPS-Monitoring-Programmes gewonnen (Koblizkova et al. 2012).

In der folgenden Abb. 32 sind zusätzlich die Ergebnisse zu Prosulfocarb eingearbeitet. Die Ergebnisse zeigen, dass Immissionsbelastungen von Prosulfocarb, sowohl über das Rindenmonitoring (rosa Quadrate) als auch mit den Passivsammlern (lila Quadrate), erfasst wurden. Prosulfocarb wird vor allem im Frühling bis Sommer, Monate vor der Expositionszeit der Passivsammler im Herbst, ausgebracht. Die Werte aus dem Rindenmonitoring für Prosulfocarb liegen in

der Region mit etwa einer Größenordnung unter der von Pendimethalin und erreichen am Referenzstandort im Fläming (L62) mit der Prosulfocarb-Applikation aus dem Frühjahr einen Wert von 21 ng/m³. Das ist immer noch ein Fünftel dessen, was bei aktueller Ausbringung von Pendimethalin gemessen wurde.

Der Nachweis von Prosulfocarb in den Passivsammlern an beiden Standorten im Herbst weist darauf hin, dass das Herbizid auch Monate nach der Anwendung sich noch in der Luft nachweisen lässt und verbreitet wird. Dies kann nicht über mögliche Fehlanwendungen im Frühjahr erklärt werden sondern weist vielmehr auf den (bekannt) ungünstigen Dampfdruck des Wirkstoffes ($7,9 \times 10^{-4}$ Pa bei 20°C; UBA 2012) als Ursache hin. Dies ist auch von Pendimethalin bekannt (Dampfdruck $1,39 \times 10^{-3}$ Pa bei 20°C).

Beide Wirkstoffe, Pendimethalin und Prosulfocarb, gelten „daher als volatile bis semivolatile Substanz(en). Eine verflüchtigungsbedingte Deposition des Wirkstoffes in angrenzende Nichtzielflächen ist damit grundsätzlich zu erwarten“ (zit. aus UBA 2012). Für Pendimethalin wurde in dem Kurzbericht die Abhängigkeit der Verflüchtigungsrate von den Formulierungstypen angeführt. Während bei Suspensions- und Emulsions-Formulierungen Verflüchtigungsraten von 20-56 % von Boden und 59-72 % von Pflanzen innerhalb von 24 h festgestellt wurden, vermindert sich dies bei Kapsel-Formulierungen auf Raten unter 10 %.

Die Spannweite der Immissionsbelastung von Pendimethalin und Prosulfocarb im Vergleich zu weiteren erfassten Pestiziden an den Messpunkten des Rindenmonitorings ist in Abb. dargestellt. Von über 500 untersuchten Wirkstoffen (s. Anhangsliste) traten weitere 11 Pestizide mit Konzentrationen über

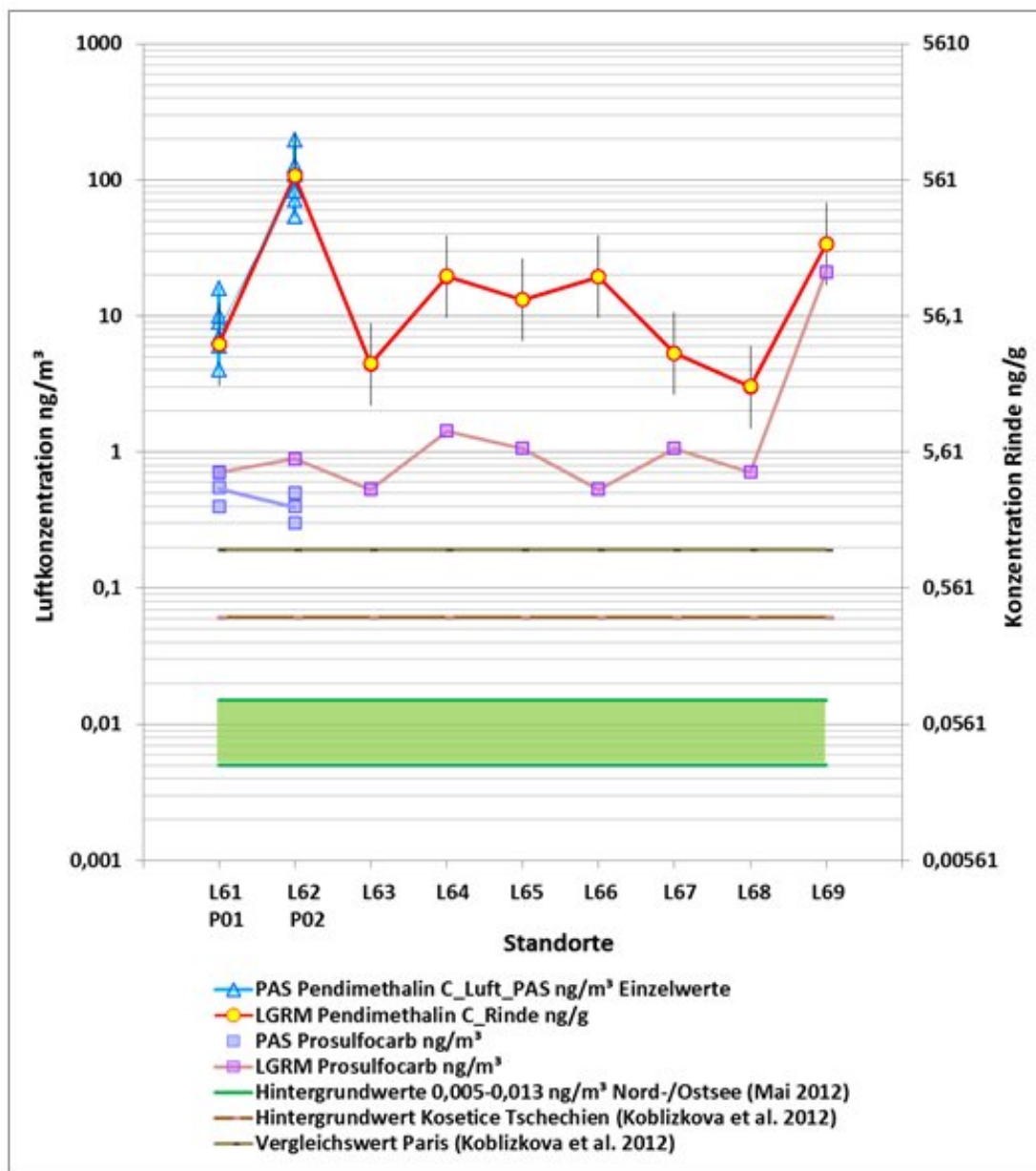


Abb.32: **Immissionsbelastung für Pendimethalin- und Prosulfocarb mit Vergleichswerten**

Luftkonzentration C_{Luft_PAS} in ng/m³; Konzentration Rinde C_{Rinde} ng/g; Normzeitraum 1 Monat

Beziehung Passivsammler - Rindenmonitoring basierend auf Pendimethalin

$C_{Luft_PAS} [ng/m^3] = 0,1777 C_{Rinde} [ng/g]$

Fehlerabschätzung über PAS-Einzelwerte aus Parallelmessungen und den 3 Abschätzungen:

Bandbreite ca. Faktor 2

10 ng/g als besonders belastet hervor, die in der Grafik aufgeführt sind. Aus dem Vergleich ist ersichtlich, dass beide Herbizide in vergleichbaren Konzentrationsbereichen zu den 11 Pestiziden vorkommen. Diese liegen im Belastungsbereich bekannter POPs wie Lindan und DDT bzw. übersteigen diese.

Die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring bestätigen die Befunde aus den berichteten Grünkohl- und anderen Lebensmittelproben der Vorjahre im Hinblick auf eine wesentliche und weiträumige Belastung.

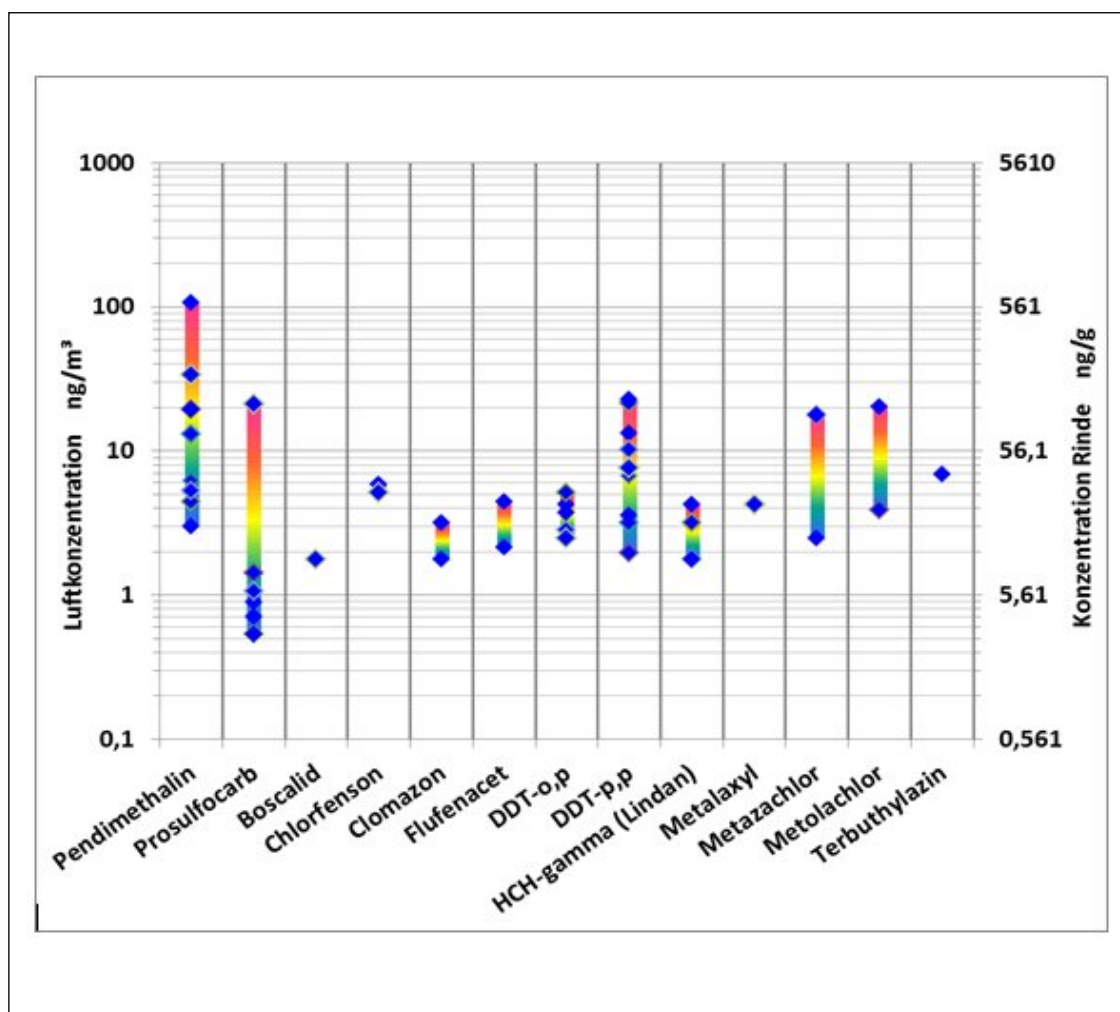


Abb.33: Spannweite der Immissionsbelastung von Pendimethalin und Prosulfocarb im Vergleich zu anderen Pestiziden an den Messpunkten des Rindenmonitorings

Bezug: Integrierte Luftkonzentration $C_{\text{Luft_LGRM}} [\text{ng/m}^3] = 1,777 C_{\text{Rinde}} [\text{ng/g}]$

Die Erkenntnisse führen zu folgender zusammenfassender Bewertung

- Die Ergebnisse aus dem Screening der Immissionsbelastung weisen für beide Herbizide, Pendimethalin und Prosulfocarb, eine deutliche, über einzelne Standorte hinausgehende Belastung der Region aus.
- Die Datenlage aus unseren und anderen Untersuchungen lassen den übereinstimmenden Schluss auf eine unerwünscht weiträumige und anhaltende Verbreitung von insbesondere Pendimethalin in der Umwelt zu.
- Hierbei werden Konzentrationen erreicht, die im Bereich problematisch eingestuft POPs wie Lindan und DDT liegen.
- Die Ergebnisse des Screenings zur weiträumigen Verteilung in dem festgestellten Ausmaß werden als bedenklich bewertet und sollten weiter abgesichert werden.
- Während für Pendimethalin das Problem der weiträumigen Verbreitung und des niedrigen Dampfdruckes bereits seit einigen Jahren in Fachkreisen diskutiert wird, ist die Datenlage zu Prosulfocarb ungleich geringer und die Aussagen gälte es entsprechend abzusichern.

Aus den Ergebnissen werden folgende Empfehlungen abgeleitet:

- Pendimethalin einer vertieften ökotoxikologische Prüfung von Exposition der Umwelt und potentiellen Wirkungen zu unterziehen. Hierbei gilt es insbesondere auch das Ausmaß der Verbreitung vom Nahbereich bis fern abseits lokaler Quellen genauer zu charakterisieren.
- Im Zuge der anstehender Neuzulassungen von Pendimethalin dies mindestens mit der Auflage verbinden, dass das Verbreitungspotenzial des Herbizides über die Luft wirksam minimiert wird, d. h. herstellerseits bestimmte Formulierungen mit ungünstigem

Dampfdruck effektiv verbessert werden bzw. nur entsprechende Formulierungen in Verkehr kommen (Kapselung).

- Den noch vorläufigen Ergebnissen zu Prosulfocarb hinsichtlich einer potenziell weiträumigen Verbreitung in der Umwelt weiter nachzugehen.

Empfehlung einer vertieften Auswertung der Daten aus dem Rindenmonitoring

Nach dem Feststellen erheblicher Immissionsbelastungen für die beiden Herbizide im Screening bietet sich eine weitergehende Auswertung der vorliegenden Daten an. Bei detaillierter Kenntnis der Pestizid-Anwendungen im Untersuchungsraum lässt sich unter Zuhilfenahme von Ausbreitungsmodellen die wesentliche Frage von Nahbereichseffekten und weiträumiger Verbreitung unter Berücksichtigung von Überlagungseffekten im Abgleich mit unseren Freilandmessungen näher klären. Auf die entsprechenden Applikationsdaten hat der LELF-PSD Zugriff per Abfrage.

Darüber hinaus ließe sich mit dem Rindenmonitoring in Kombination eine effiziente und rasche Abklärung der Verbreitung im überregionalen Massstab vornehmen, wobei eine Kombination mit Passivsammlern an ausgewählten Standorten vorteilhaft ist.

- Asman WAH, Jørgensen A, Bossi R, Vejrup KV, Mogensen BB, Glasius M (2005): Wet deposition of pesticides and nitrophenols at two sites in Denmark: measurements and contributions from regional sources. *Chemosphere* 59: 1023-1031
- FBB Flughafen Berlin Brandenburg (2012): Umweltbericht 2012. <http://www.berlin-airport.de>
- Bernhardt A (2004): Ermittlung von Pestizidstoffströmen im Ökosystem Buchenwald. Diss., Univ. Lüneburg
- Bernhardt A, Palm W-U, Ruck W (2002): Bestimmung von Pflanzenschutzmitteln im Stammablaufwasser von Buchen (*Fagus Sylvatica* L.). *Vom Wasser*, 98, 29-36
- Bernhardt A, Palm W-U, Ruck W (2002): Determination of pesticide fluxes in beech forests. in: *Slowly degradable organics in the atmospheric environment and air-sea exchange* (S. 29-32).
- Birke M, Rauch U, Chmielewski J, Werner D, Kalka H, Küppers K, Kiebusch J, Hofmann F, Keilert B (2009): Grundlagen für die zukunftsverträgliche Entwicklung vom Bergbau betroffener sowie industriell geprägter Städte - Bearbeitungs- und Bewertungsmodell für ein nachhaltiges Flächenmanagement am Beispiel der Stadt Staßfurt: Teilvorhaben 1: Umweltgeochemische Auswertung sowie Ableitung eines Bewertungsmodells für schadstoffbelastete und bergbaugeschädigte urbane Bereiche. BMBF-Verbundvorhaben, Abschlussbericht
- Birke M, Rauch U, Hofmann F, Kalka H (2011): Luftgüte-Rindenmonitoring und Bioakkumulationsindex Rinde für ein nachhaltiges Flächenmanagement der Bergbaufolgelandschaft Staßfurt: Poster BGR, 2011, Wien. http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Projekte/Ressourcenbewertung_und_management_abgeschlossen/Nachhaltiges_Flaechenmanagement_Stassfurt/Poster_8_Rindenmonitoring.html
- BLV Fachbeirat (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
- BVL (2013A). Naturhaushalt - Modelle zum Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Nicht-Zielbereiche. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/03_Antragsteller/04_Zulassungsverfahren/07_Naturhaushalt/psm_naturhaush_node.html.
- Fleischer (2013): Untersuchungen der Aufnahme von luftgetragenen Herbiziden aus wässrigen Lösungen und Driftrückständen in die Nadeln von Waldkiefer *Pinus Sylvestris* L.. Diss. Leuphana Universität, Lüneburg
- GAPS (2012): Global Atmospheric Passive Sampling (GAPS) Network. <https://www.ec.gc.ca/rs-mn/default.asp?lang=En&n=22D58893-1>. 13.11.2014

- Genualdi S, Lee SC, Shoeib M, Gawor A, Ahrens L, Harner T (2010): Global Pilot Study of Legacy and Emerging Persistent Organic Pollutants using Sorbent-Impregnated Polyurethane Foam Disk Passive Air Samplers. *Environ. Sci. Technol.* 44, 5534-5539
- Giesemann A, Hofmann F, Schlechtriemen U, Jung K (2005): An attempt to evaluate sulphur (S) and nitrogen (N) inputs into a forest ecosystem retrospectively by means of stable N and S isotope analysis in tree rings. *Abh. Ber. Naturkundemuseum Görlitz*, Bd 76 H. 2, 101-115.
- Guéguen; Stille, P, Millet, M. (2011): Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence. *Chemosphere*, 85: 195-202
- Guéguen, F, Stille, P, Heagea, M.L, Boutin, R. (2012a): Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring. Part I: Trace element analysis. *Chemosphere*, 86: 1013-1019
- Guéguen F, Stille, P, Geagea, M.L, Perrone, T, Chabaux, F. (2012b): Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring. Part II : Sr, Nd and Pb isotopic tracing. *Chemosphere*, 86: 641-647
- Hofmann F (2010): Integrierte Bewertung stofflicher Mischeinflüsse in der Immissionsbelastung und Identifikation bestimmter Emissionsquellen über das Luftgüte-Rindenmonitoring. Vortrag VDI/AGES/Akad.f.Umw.+Nat. Internat. Fachtagung 27.-28.1.2010 Linz. <http://www.oekologiebuero.de/Luftgueterindenmonitoring-Linz-20100127.pdf>
- Hofmann F (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 13 (3): 171
- Hofmann F (2013): Herbizid-Kontamination der Umwelt – Pendimethalin, Prosulfocarb. Ökologiebüro Bremen, unveröff. Recherche im Auftrag des LUGV Brandenburg (Dr. Kretschmer), Eberswalde.
- Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Bracke G, Duve M, Giesemann A, Siemers U (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring – Ein neues Probenahmegerät und Verfahren zum Biomonitoring von Luftschadstoffen für akkumulierbare Substanzen mit der Möglichkeit des Fingerprintings von Immissionsquellen. Hrsg.: TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR. Ecomed, Landsberg, 156 S./ Gate to EHS 5/2001 DOI: <http://dx.doi.org/ehs2001.05.009>;
- Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Reckel S (1998): Integrated Monitoring for Identifying the Specific Air Pollution Impacts of Industrial Emission Sources. In: Stravinskiene, V., Juknys, R. (Ed.) *Dendrochronology and Environmental Trends. Proceedings of the International Conference EuroDendro 1998*, Vytautas Magnus Univ., Kaunas, Litauen, 160-168.
- Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Siemers U, Bracke G, Giesemann G, Duve M (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring mit Immissions-Fingerprinting - Ein neues Probenahmegerät und Verfahren zum Biomonitoring von Luftschadstoffen für akkumulierbare Substanzen mit der Möglichkeit des Fingerprintings von Immissionsquellen. Bericht des Forschungs- und Ent-

wicklungsvorhabens. Ecomed, Landsberg, 156 S. Gate to EHS; http://www.oekologiebuero.de/Hofmann_etal_2001_Rindenmonitoring.pdf

Koblizkova M, Genualdi S, Lee SC, Harner T. (2012): Application of Sorbent Impregnated Polyurethane Foam (SIP) Disk Passive Air Samplers for Investigating Organochlorine Pesticides and Polybrominated Diphenyl Ethers at the Global Scale. *Environ. Sci. Technol.* 46, 391–396

Kreuger J, Kylin H. (2006): Atmospheric transport and deposition of pesticides in Sweden. Präsentation Symposium Pesticide Behaviour in Soils, Water and Air, Warwick, UK, 28.3.2006

BVL (2012): Berichte zur Lebensmittelsicherheit 2012 – Monitoring. BVL-Report 8.3.

LAVES Niedersachsen (2012): Pflanzenschutzmittelrückstände in Grünkohl – Ergebnisse des 4. Quartal 2012. Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Oldenburg. http://www.laves.niedersachsen.de/download/75482/Pflanzenschutzmittel-rueckstaende_in_Gruenkohl.pdf (Stand: 15.2.2013)

Mai C (2012): Atmospheric Deposition of organic Contaminants into the North Sea and the Western Baltic Sea. Dissertation Universität Hamburg.

MKULNV NRW (2012): Pestizidreport Nordrhein-Westfalen – Grünkohl. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf. <http://www.umwelt.nrw.de/verbraucherschutz/lebensmittel/pestizidreport> (Stand: 13.9.2013)

Shoeib M, Harner T, Lee SC, Lane D, Zhu J (2008): Sorbent-Impregnated Polyurethane Foam Disk for Passive Air Sampling of Volatile Fluorinated Chemicals. *Anal. Chem.* 80, 675–682

Spangenberg A, Hofmann F, Kirchner M (2002): Determining the agricultural ammonia immission on using bark bio-monitoring: comparison with passive sampler measurements. *J. Environ. Monit.*, 4, 1–6.

TA LUFT (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA-Luft)

UMEG (2005): Forstpflanzenbeschaffenheit 2004. Intensiv Messstellen Baden-Württemberg. UMEG, Karlsruhe. <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/92214/U52-M11-J04.pdf?command=downloadContent&filename=U52-M11-J04.pdf>

van Dijk & Guicherit (1999): Atmospheric dispersion of current-use pesticides: A review of the evidence from monitoring studies. *Water, Air, and Soil Pollution*, 115(1-4), 21-70

Wäber, M (2013): Graskultur-Biomonitoring 2013 im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld. Gutachterliche Bewertung einschließlich Kurzzusammenfassung des Grünkohl-Biomonitoring der Untersuchungsjahre 2011 und 2012. UMW Umweltmonitoring, Gutachten erstellt im Auftrag der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH.

6. Anhang

6.1 Wirkstoffliste

Wirkstoffe und Berichtsgrenzen (ng/g) in Rindenproben bei Routineuntersuchungen zur Bestimmung von Pflanzenschutzmittelrückständen nach ASU L 00.00-115.

Stand: 1.11.2014 (Labor KWALIS, Fulda)

1-Naphthylacetamid (1-NAD)	LC	0,010
2,4,5-T	LC	0,010
2,4-D (Summe)		
2,4-D	LC	0,010
2,4-D-1-butyl ester	GC	0,010
2,4-D-2-butylglycol ester	GC	0,010
2,4-D-2-ethylhexyl ester	GC	0,010
2,4-DB	LC	0,010
2-Phenylphenol	GC	0,010
3,4-Dichloranilin	GC	0,010
3,5-Dichloranilin	GC	0,010
3-Chloranilin	GC	0,010
4-CPA	LC	0,010
Abamectin (Summe)		
Avermectin B1a	LC	0,010
Avermectin B1b	LC	0,010
Acephat	LC	0,010
Acetamiprid	LC	0,010
Acibenzolar-S-methyl	GC	0,010
Aclonifen	GC	0,010
Acrinathrin	GC	0,010
Alachlor	LC	0,010
Aldicarb (Summe)		
Aldicarb	LC	0,010
Aldicarb-sulfon	LC	0,010
Aldicarb-sulfoxid	LC	0,010
Aldrin	GC	0,010
Ametryn	LC	0,010
Aminocarb	GC	0,010
Amitraz (Summe)		
Amitraz	LC	0,010
Amitraz-Metabolit	LC	0,010
Atrazin	LC	0,010
Atrazin-desethyl	LC	0,010
Atrazin-desisopropyl	LC	0,010
Azaconazol	GC	0,010
Azadirachtin	LC	0,010
Azinphosethyl	GC	0,010
Azinphosmethyl	GC	0,010
Azoxystrobin	LC	0,005
Benalaxyl (Summe)		
Benalaxyl	GC	0,010
Benalaxyl-M	GC	0,010
Bendiocarb	LC	0,005
Benfluralin	GC	0,010

Benfuracarb	LC	0,020
Benomyl	LC	0,010
Bensulfuron-methyl	LC	0,010
Benthiavdicarb-isopropyl	LC	0,010
Bifenazat	LC	0,010
Bifenox	GC	0,010
Bifenthrin	GC	0,010
Biphenyl	GC	0,010
Bitertanol	GC	0,010
Boscalid	LC	0,010
Bromacil	LC	0,010
Bromocyclen	GC	0,010
Bromophos-ethyl	GC	0,010
Bromophos-methyl	GC	0,010
Bromopropylat	GC	0,010
Bromuconazol	GC	0,010
Bupirimat	GC	0,010
Buprofezin	LC	0,010
Butafenacil	LC	0,010
Butocarboxim	LC	0,010
Butocarboxim-sulfoxid	LC	0,010
Cadusafos	LC	0,010
Captan	GC	0,005
Captan/Folpet (Summe)		
Carbaryl	LC	0,010
Carbendazim	LC	0,010
Carbendazim (Summe)		
Carbofuran (Summe)		
Carbofuran	LC	0,010
Carbofuran-3-hydroxy	LC	0,010
Carbophenothion	GC	0,010
Carbophenothion-methyl	GC	0,010
Carbosulfan	LC	0,010
Carboxin	LC	0,010
Chlorantraniliprol	LC	0,010
Chlordan (Summe)		
Chlordan, trans	GC	0,010
Chlordan, cis	GC	0,010
Chlorfenapyr	GC	0,010
Chlorfenprop-methyl	GC	0,010
Chlorfenson	GC	0,010
Chlorfenvinphos	LC	0,010
Chlorfluazuron	LC	0,010
Chloridazon	LC	0,010
Chloroneb	GC	0,010

Chlorpropham	GC	0,010
Chlorpropham (Summe)		
Chlorpyrifos-ethyl	GC	0,005
Chlorpyrifos-methyl	GC	0,010
Chlorthaldimethyl (DCPA)	GC	0,010
Chlorthalonil	GC	0,010
Chlorthion	GC	0,010
Chlozolinat	GC	0,010
Cinerin 1	GC	0,010
Cinerin 2	GC	0,010
Cinosulfuron	LC	0,010
Climbazol	LC	0,010
Clodinafop-propargyl	LC	0,010
Clofentezin	LC	0,010
Clomazon	LC	0,010
Cloquintocet-mexyl	LC	0,010
Clothianidin	LC	0,010
Coumaphos	LC	0,010
Crimidin	LC	0,010
Cyanazin	LC	0,010
Cyanofenphos	GC	0,010
Cyanophos	GC	0,010
Cyazofamid	GC	0,010
Cycloat	GC	0,010
Cyflufenamid	LC	0,010
Cyfluthrin	GC	0,010
Cyhalothrin-lambda	GC	0,010
Cymoxanil	LC	0,010
Cypermethrin	GC	0,010
Cyproconazol	GC	0,010
Cyprodinil	LC	0,005
Cyromazin	LC	0,030
DDT (Summe)		
DDD-o,p	GC	0,005
DDD-p,p	GC	0,005
DDE- o,p	GC	0,005
DDE-p,p	GC	0,005
DDT-o,p	GC	0,005
DDT-p,p	GC	0,005
DEET (N,N-Diethyl-m- toluamid)	LC	0,010
Deltamethrin	GC	0,010
Demeton (S/O)	LC	0,010
Demeton-S-methyl	LC	0,010
Demeton-S-methylsulfon	LC	0,010
Demeton-S-methylsulfoxid		
(Oxydemeton-methyl)	LC	0,010
Demeton-S-methylsulfoxid (Summe)		
Desmedipham	LC	0,010
Desmetryn	LC	0,010
Diafenthiuron	LC	0,010
Diazinon	LC	0,010
Dibrombenzophenon (4,4-)	GC	0,010
Dichlobenil	GC	0,020
Dichlofenthion	GC	0,010
Dichlofluanid	GC	0,010

Dichlorbenzophenon (2,4-)	GC	0,010
Dichlorbenzophenon (4,4-)	GC	0,010
Dichlorprop	LC	0,010
Dichlorvos	GC	0,010
Diclobutrazol	GC	0,010
Dicloran	GC	0,010
Dicofol (Summe)		
Dicofol-op	GC	0,010
Dicofol-pp	GC	0,010
Dicrotophos	LC	0,010
Dieldrin	GC	0,010
Diethofencarb	GC	0,010
Difenoconazol	LC	0,010
Diflubenzuron	LC	0,010
Diflufenican	GC	0,010
Dimethenamid-p	GC	0,010
Dimethoat	LC	0,010
Dimethoat (Summe)		
Dimethomorph	LC	0,005
Dimoxystrobin	LC	0,010
Diniconazol	GC	0,010
Dinocap	GC	0,030
Dinotefuran	LC	0,010
Diphenamid	GC	0,010
Diphenylamin	GC/LC	0,010
Dipropetryn	GC	0,010
Dithianon	LC	0,020
Diuron	LC	0,010
DMST	LC	0,010
Dodin	LC	0,010
Emamectin (Summe)		
Emamectin B1a	LC	0,010
Emamectin B1b	LC	0,010
Endosulfan (Summe)		
Endosulfan - alpha	GC	0,010
Endosulfan - beta	GC	0,010
Endosulfansulfat	GC	0,010
Endrin	GC	0,010
EPN	GC	0,010
Epoxiconazol	LC	0,010
EPTC	GC	0,010
Etaconazol	GC	0,010
Ethiofencarb	LC	0,010
Ethiofencarb-sulfon	LC	0,010
Ethiofencarb-sulfoxid	LC	0,010
Ethion	GC	0,010
Ethirimol	LC	0,010
Ethofumesat (Summe)		
Ethofumesat	LC	0,010
Ethofumesat-2-ke-ton	GC	0,010
Ethoprophos	LC	0,010
Ethoxyquin	GC	0,010
Etufenprox	GC	0,010
Etiofencarb	LC	0,010
Etridiazol	GC	0,010
Famoxadon	LC	0,010

Famphur=Famophos	GC	0,010
Fenamidon	LC	0,010
Fenamiphos (Summe)		
Fenamiphos	LC	0,010
Fenamiphos-sulfon	LC	0,010
Fenamiphos-sulfoxid	LC	0,010
Fenarimol	GC	0,005
Fenazaquin	LC	0,010
Fenbuconazol	GC	0,010
Fenbutatinoxid	LC	0,010
Fenchlorphos	GC	0,010
Fenfluthrin	GC	0,010
Fenhexamid	LC	0,010
Fenitrothion	GC	0,010
Fenobucarb	LC	0,010
Fenoxycarb	LC	0,010
Fenpiclonil	LC	0,010
Fenpropathrin	GC	0,010
Fenpropimorph	LC	0,005
Fenpyroximat	LC	0,005
Fenson	GC	0,010
Fensulfothion	LC	0,010
Fensulfothion-oxon	LC	0,010
Fensulfothion-oxon-sulfon	LC	0,010
Fensulfothion-sulfon	GC	0,010
Fenthion (Summe)		
Fenthion	LC	0,020
Fenthion-oxon	LC	0,010
Fenthion-oxon-sulfon	LC	0,010
Fenthion-oxon-sulfoxid	LC	0,010
Fenthionsulfon	GC	0,010
Fenthionsulfoxid	LC	0,010
Fentin-hydroxid	LC	0,010
Fenvalerat/Esfenvalerat		
(RR- und SS-Isomere)	GC	0,010
Fenvalerat/Esfenvalerat		
(RS- und SR-Isomere)	GC	0,010
Fipronil (Summe)		
Fipronil	GC	0,005
Fipronil-desulfinyl	GC	0,010
Fipronil-sulfon	GC	0,010
Flonicamid	GC	0,010
Fluazifop (Summe)		
Fluazifop (freie Säure)	LC	0,010
Fluazifop-butyl	LC	0,010
Fluazinam	LC	0,010
Flubendiamid	LC	0,010
Fluchloralin	GC	0,010
Flucythrinat	GC	0,010
Fludioxonil	GC	0,010
Flufenoxuron	LC	0,010
Flumioxazin	GC	0,010
Fluopicolid	GC	0,010
Fluopyram	LC	0,010
Fluquinconazol	GC	0,010
Flurprimidol	LC	0,010

Flusilazol	GC	0,010
Fluthiacet-methyl	LC	0,010
Flutolanil	LC	0,010
Flutriafol	LC	0,010
Fluvalinat-(tau)	GC	0,010
Folpet	GC	0,010
Fonofos	GC	0,015
Forchlorfenuron	LC	0,010
Formethanat	LC	0,010
Fosthiazat	LC	0,010
Fuberidazol	LC	0,010
Furalaxyl	LC	0,010
Halfenprox	GC	0,010
Haloxifyop (Summe)		
Haloxifyop	LC	0,010
Haloxifyop-ethoxyethyl	LC	0,010
Haloxifyop-methyl	LC	0,010
HCH (Summe)		
HCH alpha	GC	0,010
HCH beta	GC	0,010
HCH delta	GC	0,010
HCH gamma (Lindan)	GC	0,010
Heptachlor (Summe)		
Heptachlor	GC	0,010
Heptachlorepoxyd-cis	GC	0,010
Heptachlorepoxyd-trans	GC	0,010
Heptenophos	LC	0,010
Hexachlorbenzol (HCB)	GC	0,010
Hexaconazol	LC	0,010
Hexaflumuron	LC	0,010
Hexazinon	LC	0,010
Hexythiazox	LC	0,010
Icaridin	LC	0,010
Imazalil	LC	0,005
Imibenconazol	LC	0,010
Imidacloprid	LC	0,005
Indoxacarb	LC	0,010
Iprobenfos	LC	0,005
Iprodion	GC	0,010
Iprovalicarb	LC	0,005
Isazofos	LC	0,010
Isocarbophos	LC	0,010
Isodrin	GC	0,015
Isofenphos	LC	0,010
Isofenphos-methyl	GC	0,010
Isofenphos-oxon	LC	0,010
Isoprocab	LC	0,010
Isoxaben	LC	0,010
Isoxadifen-ethyl	LC	0,010
Isoxathion	LC	0,010
Jasmolin 1	GC	0,010
Jasmolin 2	GC	0,010
Jodfenphos	GC	0,010
Kresoxim-methyl	GC	0,010
Landrin (3,4,5-Trimethacarb)	LC	0,010
Lenacil	LC	0,010

Leptophos	GC	0,010
Linuron	LC	0,010
Lufenuron	LC	0,010
Malaoxon	LC	0,010
Malathion	GC	0,005
Malathion (Summe)		
Mandipropamid	LC	0,010
Mecarbam	LC	0,010
Mefenpyr-diethyl	GC	0,010
Mepanipirim	GC	0,010
Mepronil	LC	0,010
Meptyldinocap	GC	0,010
Metaflumizon	LC	0,010
Metalaxyl (Summe)		
Metalaxyl	LC	0,010
Metalaxyl-M	LC	0,010
Metamitron	LC	0,010
Metazachlor	LC	0,010
Metconazol	LC	0,010
Methabenzthiazuron	LC	0,010
Methacrifos	LC	0,010
Methamidophos	LC	0,010
Methidathion	LC	0,010
Methiocarb (Summe)		
Methiocarb	LC	0,010
Methiocarb-sulfon	LC	0,010
Methiocarb-sulfoxid	LC	0,010
Methomyl	LC	0,010
Methomyl (Summe)		
Methoprotryn	LC	0,010
Methoxychlor	GC	0,010
Methoxyfenoxyd	LC	0,005
Metobromuron	LC	0,010
Metolachlor	GC	0,010
Metolcarb	LC	0,010
Metosulam	LC	0,010
Metoxuron	LC	0,010
Metrafenon	GC	0,010
Metribuzin	GC	0,010
Mevinphos	GC	0,010
Mirex	GC	0,010
Molinat	LC	0,010
Monocrotophos	LC	0,010
Myclobutanil	LC	0,010
Naphthoxyessigsäure (2-NOA)	LC	0,010
Napropamid	LC	0,010
Neburon	LC	0,010
Nicosulfuron	LC	0,010
Nitenpyram	LC	0,010
Nitralin	GC	0,010
Nitrapyrin	GC	0,010
Nitrofen	GC	0,010
Nitrothal-isopropyl	GC	0,010
Norflurazon	LC	0,010
Novaluron	LC	0,010
Nuarimol	GC	0,010

Ofurace	GC	0,010
Omethoat	LC	0,010
Oxadiazon	GC	0,010
Oxadixyl	GC	0,010
Oxamyl	LC	0,010
Oxamyl-oxim	LC	0,010
Oxyfluorfen	GC	0,010
Paclobutrazol	GC	0,010
Paraoxon-ethyl	LC	0,010
Paraoxon-methyl	GC	0,010
Parathion-ethyl	GC	0,010
Parathion-methyl	GC	0,010
Parathion-methyl (Summe)		
Pebulat	LC	0,010
Penconazol	LC	0,010
Pencycuron	LC	0,010
Pendimethalin	LC	0,010
Pentachloranilin	GC	0,010
Pentachloranisol	GC	0,010
Permethrin	GC	0,010
Perthan	GC	0,010
Phenkapton	GC	0,010
Phenmedipham	LC	0,010
Phenthoat	GC	0,010
Phosalon	GC	0,010
Phosmet (Summe)		
Phosmet	GC	0,010
Phosmet-oxon	LC	0,010
Phosphamidon	LC	0,010
Phoxim	LC	0,010
Picolinafen	LC	0,010
Picoxystrobin	LC	0,010
Piperonylbutoxid	GC	0,005
Pirimicarb (Summe)		
Pirimicarb	LC	0,010
Pirimicarb-desmethyl	LC	0,010
Pirimicarb-desmethylformamido	LC	0,010
Pirimiphos-ethyl	LC	0,010
Pirimiphos-methyl	GC	0,010
Prochloraz	LC	0,005
Procymidon	GC	0,010
Profenofos	LC	0,010
Profluralin	GC	0,010
Promecarb	LC	0,010
Prometryn	GC	0,010
Propamocarb	LC	0,010
Propanil	GC	0,010
Propaquizafop	LC	0,010
Propargit	GC/LC	0,010
Propazin	LC	0,010
Propetamphos	LC	0,010
Propham	GC	0,010
Propiconazol	LC	0,010
Propoxur	LC	0,010
Propyzamid	LC	0,010
Proquinazid	LC	0,010

Prosulfocarb	LC	0,010
Prothioconazol	LC	0,010
Prothiofos	GC	0,010
Pymetrozin	LC	0,010
Pyraclostrobin	LC	0,010
Pyraflufen-ethyl	LC	0,010
Pyrazophos	LC	0,010
Pyrethrin 1	GC	0,010
Pyrethrin 2	GC	0,010
Pyrethrine (Summe)		
Pyridaben	LC	0,010
Pyridalyl	LC	0,010
Pyridaphenthion	LC	0,010
Pyrifenoxy	LC	0,010
Pyrimethanil	LC	0,005
Pyriproxyfen	GC	0,010
Quinalphos	GC	0,010
Quinoxifen	GC	0,010
Quintozen	GC	0,010
Quintozen (Summe)		
Quizalofop	LC	0,010
Quizalofop-ethyl	LC	0,010
Rimsulfuron	LC	0,010
Rotenon	LC	0,010
S421	GC	0,010
Silafluofen	GC	0,010
Silthiofam	LC	0,010
Simazin	LC	0,015
Spinosad (Summe)		
Spinosyn A	LC	0,010
Spinosyn D	LC	0,010
Spirodiclofen	GC	0,010
Spiromesifen	GC	0,010
Spirotetramat	LC	0,010
Spiroxamin	LC	0,010
Sulfentazon	LC	0,010
Sulfotep	LC	0,010
Sulprofos	GC	0,010
Tebuconazol	LC	0,010
Tebufenozid	LC	0,005
Tebufenpyrad	GC	0,010
Tecnazen	GC	0,010
Teflubenzuron	LC	0,010
Tepraloxymid	LC	0,010
Terbacil	GC	0,010
Terbumeton	LC	0,010
Terbutylazin-desethyl	LC	0,010
Terbutryn	GC	0,010
Terbutylazin	LC	0,010
Tetrachlorvinphos	GC	0,010
Tetraconazol	GC	0,010
Tetradifon	GC	0,010
Tetramethrin	GC	0,010
Tetrasul	GC	0,010
Thiabendazol	LC	0,010
Thiabendazol-5-hydroxy	LC	0,010

Thiacloprid	LC	0,005
Thiametoxam	LC	0,010
Thiametoxam (Summe)		
Thiobencarb	LC	0,010
Thiodicarb	LC	0,010
Thiofanox	LC	0,010
Thiofanox-sulfon	LC	0,010
Thiofanoxsulfoxid	LC	0,010
Thiophanat-methyl	LC	0,005
Tolclophos-methyl	GC	0,005
Tolyfluanid	GC	0,010
Tolyfluanid (Summe)		
Tralkoxydim	LC	0,010
Transfluthrin	GC	0,010
Triadimefon/Triadimenol (Summe)		
Triadimefon	LC	0,010
Triadimenol	LC	0,010
Triallat	GC	0,010
Triasulfuron	LC	0,010
Triazamat	LC	0,010
Triazophos	LC	0,010
Trichlorfon	LC	0,020
Trichloronat	GC	0,010
Triclopyr	LC	0,010
Tricyclazol	LC	0,010
Tridemorph	LC	0,010
Trifloxystrobin	GC	0,005
Triflumizol	LC	0,010
Triflumuron	LC	0,010
Trifluralin	GC	0,005
Triforin	LC	0,010
Triticonazol	LC	0,010
Uniconazol	LC	0,010
Vinclozolin	GC	0,010
Zoxamid	LC	0,010

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Landwirtschaft
des Landes Brandenburg**

**Landesamt für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Seeburger Chaussee 2
14476 Potsdam OT Groß Glienicke
Tel.: 033201 442-171
Fax: 033201 43678
E-Mail: infoline@lugv.brandenburg.de
www.lugv.brandenburg.de