

Analysen
Gutachten
Planungen
Beratung



Integrierte Umweltüberwachung GbR

Ökotoxikologie
Biomonitoring
Umweltüberwachung
Naturschutz

Immissionsmessungen

Ökotoxikologische Expertise

und Feldmessungen zur Verbreitung von

PSM-Rückständen über den Luftpfad

2014/2016

von

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

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

Projektleitung: Dipl.-Biol. Frieder Hofmann

Auftraggeber:

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

Betreuer: Dipl.-Agr.Ing. Rudolf Vögel
Landesamt für Umwelt Brandenburg, Eberswalde

30. Oktober 2016

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

TIEM Bremen
Ökologiebüro
Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Rennstieg 25 28205 Bremen
Tel.: 0421-706474 Fax: 0421-74106

TIEM Dortmund - Geschäftsstelle
Sachverständigenbüro
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen
Hohenzollernstr. 20 44135 Dortmund
Tel.: 0231-22395933 Fax: 0231-22396548

e-mail: tiem@arcor.de

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	5
2. VORGEHENSWEISE	7
2.1 Untersuchungsgebiet und Probenstandorte	7
2.2 Untersuchungsmethoden	36
2.2.1 Luftgüte-Rindenmonitoring	36
2.2.2 Passivsammler (PAS)	39
2.2.3 Vegetations-Monitoring	41
3. ERGEBNISSE MIT DISKUSSION	43
3.1 Luftgüte-Rindenmonitoring	43
3.2 Passivsammler	47
3.3 Vegetations-Monitoring	49
4. BEWERTUNG DER IMMISSIONSBELASTUNG.....	50
5. LITERATURVERZEICHNIS	57
6. ANHANG	60
6.1 Wirkstoffliste	60
6.2 Liste der nachgewiesenen Wirkstoffe in den Rindenproben mit Nachweishäufigkeit	66

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Untersuchungsgebiet und Probenstandorte	10
Abb. 2:	Ausschnitt Untersuchungsgebiet Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin	11
Abb. 3:	Standort Wilmersdorf, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: Fe31, L61, P01	14
Abb. 4:	Standort Altkünkendorf, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L62, P02, V42.....	15
Abb. 5:	Standort Peetzig, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L63.....	16
Abb. 6:	Standort Meichow, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L64.....	17
Abb. 7:	Standort Gerswalde, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L65.....	18
Abb. 8:	Standort Felchower See, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L66.....	19
Abb. 9:	Standort Parlow, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L67	20
Abb. 10:	Standort Britz-Chorin, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L68.....	21
Abb. 11:	Standort Danna, Fläming: L69.....	22
Abb. 12:	Grünkohl-Probe GK42 am Referenzstandort mit Pendimethalin-Anwendung, Hausgarten in Altkünkendorf (27.10.2014).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 13:	Grünkohl-Probe GK43 bei Steinhöfel in Hausgarten am 27.10.2014	23
Abb. 14:	Grünkohl-Probe GK44 am 27.10.2014	23
Abb. 15:	Grünkohl-Probe GK45, Greiffenberg, Schaugarten des VERN, am 27.10.2014	24
Abb. 16:	Grünkohl-Probe GK46, Lüdersdorf, Hausgarten, am 27.10.2014	24
Abb. 17:	Grünkohl-Probe GK47, Eichhorst, Hausgarten, am 26.10.2014.....	25
Abb. 18:	Standort Baumgarten, Raum Prenzlau, Uckermark: L91, V21	26
Abb. 19:	Standort Temmen, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin: L92, V52.....	27
Abb. 20:	Standort Rohrlack, Raum Ostprignitz-Ruppin: L93, V53	28
Abb. 21:	Standort Wolletzer Feldweg bei Angermünde, Uckermark, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin probe: L94.....	29
Abb. 22:	Standort Greiffenberg, Raum Angermünde, Uckermark: V54	29
Abb. 23:	Standort Jagel, Prignitz, Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbtalaue: L95	29
Abb. 24:	Standort Heimland, Ost-Prignitz-Ruppin, Naturpark Stechlin-Ruppiner Land: L96.....	30
Abb. 25:	Standort Placht Weiler, Uckermark, Naturpark Uckermärkische Seen: L97	30
Abb. 26:	Standort Bollersdorf, Märkisch-Oderland, Naturpark Märkische Schweiz: L98	30
Abb. 27:	Standort Ragösen, Potsdam Mittelmark, Naturpark Hoher Fläming: L99	31
Abb. 28:	Standardisierte Entnahme der äußeren Rinde zum Luftgüte-Rindenmonitoring mit dem Rindenprobenehmer (Archivbild Hofmann)	37
Abb. 29:	Technische Passivsammler PAS a) Passivsammler des Global Atmospheric Passive Sampling Networks GAPS (Tisch Environmental); b) Sammelmedium: Sorbent Impregnated Polyurethane Foam Disk (SIP) Zwei Sammler für Parallelmessungen in 2,5 m Höhe, ein dritter für Referenzzwecke	40
Abb. 30:	Immissionsbelastung für Pendimethalin mit Vergleichswerten	51
Abb. 31:	Immissionsbelastung für Pendimethalin- und Prosulfocarb mit Vergleichswerten	53
Abb. 32:	Immissionsbelastung der 11 häufigsten Pestizid-Wirkstoffe über das Rindenmonitoring aus den Messungen in 2014 und 2016	55

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Überblick Untersuchungsstandorte, Verfahren und Proben.....	12
Tab. 2:	Beschreibung Standorte/Proben Rindenmonitoring	32
Tab. 3:	Beschreibung Standorte/Proben Passivsammler SIP	34
Tab. 4:	Beschreibung Standorte/Proben Vegetations-/Grünkohl-Monitoring	34
Tab. 5:	Konzentration von Pendimethalin und Prosulfocarb in den Rindenproben	44
Tab. 6:	Luftkonzentration für Pendimethalin und Prosulfocarb an den Standorten des Luftgüte- Rindenmonitorings der beiden Messkampagnen 2014 und 2016	46
Tab. 7:	Pendimethalin und Prosulfocarb ($\mu\text{g}/\text{Probe}$) in den Sammelmedien der Passivsammler.....	47
Tab. 8:	Pendimethalin- und Prosulfocarb- Konzentrationen in der Luft (ng/m^3) an den Messpunkten.....	48
Tab. 7:	Ergebnisse der Untersuchung von Körnerfenchelproben und Grünkohlproben.....	49
Tab. 8:	Die 11 häufigsten Pestizid-Wirkstoffe in der Immissionsbelastung des Rindenmonitorings 2014 und 2018.....	54

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Bei der Qualitätsbeprobung von Gewürzdrogenpartien aus ökologischen Anbau in Ostbrandenburg werden seit mehreren Jahren erhebliche Kontaminationen mit zugelassenen, im konventionellen Getreidebau häufig applizierten Pflanzenschutzmitteln (PSM) festgestellt, mit der Folge von erheblichen Einschränkungen bei der Vermarktung. Auch aus dem weiteren Bundesgebiet sind entsprechende Belastungen bekannt. Belastungspfade und Wirkmechanismen der in Herbstapplikationen eingesetzten Präparate konnten in einer im Herbst 2014 durchgeführten Studie in Brandenburg aufgeklärt werden (Hofmann & Schlechtriemen 2015), wobei insbesondere Pendimethalin und Prosulfocarb auffällig hervor traten.

Die Studie umfasste eine Bioindikation der Immissionsbelastung von PSM mittels Luftgüterindenmonitoring, technischer Passivsammler sowie weiterer Vegetationsproben, u.a. mit Grünkohl und Körnerfenchel. Hierbei wurden erhebliche Belastungen auch fernab von Applikationsorten in der Region, u.a. mitten in Schutzgebieten, festgestellt, die auf eine nicht vorgesehene, weiträumige Verfrachtung dieser PSM hinweist. Die zuständigen Aufsichts- und Zulassungsbehörden sind aufgefordert und arbeiten aktuell an praxisorientierten Lösungen.

Bei der Beprobung im Herbst 2014 wurden neben PSM aus der Herbstapplikation, wie Pendimethalin, unter >500 überprüften Wirkstoffen einige wenige Weitere in der Immissionsbelastung nachgewiesen, die u.a. einer Frühjahrsapplikation zuzurechnen sind, wobei insbesondere Prosulfocarb auffällig erschien. Die Beprobungen in 2014 beschränkten sich auf den Herbst, so dass eine Klärung der möglichen Auswirkungen beim Einsatz dieser PSM bei den fallweise intensiver vorgenommenen Frühjahrsapplikationen noch ausstand. Dies erscheint bedeutsam, da auch seitens des Anbaus von Sonder-, Gemüse-, Gewürzkulturen mit Sommer- bzw. Frühjahrbeerntung ein weitaus größeres Kontaminationsrisiko verbunden ist, und damit auch möglichen erheblichen Wirtschaftsschaden.

Ziel einer zweiten Untersuchungsphase 2016, die sich auf das Frühjahr fokussierte, war nun unter Einsatz der bereits erprobten Verfahren Wirkbereiche und besondere Anwendungsrisiken dieser PSM-Applikationen entsprechend aufzuklären und für anstehende Überprüfungen bei Anwendungsverlängerungen verfügbar zu machen.

Die Arbeiten haben eine erhebliche Bedeutung für die Sicherung eines Qualitätsanbaus von Sonder-, Spezial- und Gemüsekulturen, die im Sinne verbesserter Wertschöpfung und Vermarktung in besonderen Nachfragesegmenten wesentlich ist. Darüberhinaus stellt die weiträumig unkontrollierte Ausbreitung von PSM-Wirkstoffen ein ökologisches Risiko unbekanntem Ausmaßes mit derzeit nicht näher spezifizierbaren Wirkungen auf Fauna und Flora dar, da dies das vorhandensein unbelasteter Refugien für sensitive Organismen und den Schutz des Genpools einschränkt (EEA 2001, 2013).

Eine detailliert durchgeführte Untersuchung unter Einsatz von Bioindikationsverfahren mit Rindenmonitoring, Vegetationsmonitoring und Ernteproduktanalysen entsprechend den Untersuchungen in 2014 soll das unkontrollierte Emissions- und Immissionsrisiko der o.g. indizierten PSM-Wirkstoffe aufklären und in Zusammenarbeit mit den Fachbehörden zu einer Neubewertung der Risiken bei anstehender Zulassungsbewertung der herbiziden Wirkstoffe beitragen.

Als geeignete Untersuchungsmethode für diese Aufgabenstellung hatte sich das Rindenmonitoring als effektives und kostengünstiges Verfahren bewährt. Klassische Alternativen wie volumetrische Aktivgeräte stehen sowohl im eigenen Luftgütemeßnetz wie auch bei anderen Betreibern (UBA) nicht zur Verfügung. Eine Beschaffung für diese Zwecke würde erheblich mehr Mittel benötigen. Demzufolge ist das hier geplante Verfahren zur Bioindikation mit Hilfe von Baumrinden, kombiniert mit technischen Passivsammlern, das probateste. Dieses Verfahren sieht eine standardisierte Probenahme vor und steht grundsätzlich allen Fachkreisen zur Verfügung. Zur Kalibrierung des Rindenmonitorings wurden in 2014 technische Passivsammler (PUF/SIP) eingesetzt, die sich in internationalen Monitoringprogrammen bewährten. In Verbindung mit der Analyse ausgewählter Erntekulturen sowie einer bundesweiten Abfrage bei Fachbehörden, Verarbeitern und Erzeugern konnte in der Studie 2014 eine angemessene Problemsichtung gewährleistet werden. Für weitere Ausführungen zu den Verfahren soll auf den Bericht der Untersuchungen in 2014 verwiesen werden (Hofmann & Schlechtriemen 2015).

Die Kernaufgabe der Untersuchungen in 2016 besteht in der Prüfung, inwieweit auch bei der Frühljahrsapplikation von Pestiziden mit einer Immissionsbelastung abseits von Zielflächen durch herbizide Wirkstoffe (insbes. Prosulfocarb) zu rechnen ist.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse aus beiden Untersuchungsperioden – Herbst 2014, Frühjahr 2016 – zusammenfassend ausgewertet. Für weitergehende Ausführungen zu den Methoden wird auf den Bericht 2014 verwiesen.

2. Vorgehensweise

2.1 Untersuchungsgebiet und Probenstandorte

Als Kernuntersuchungsgebiet wurde die Region Uckermark im Nordosten Brandenburgs nördlich von Berlin mit dem Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin und dem Naturpark Uckermärkische Seen gewählt: eine Region mit hochwertigen Naturschutzflächen von europäischem Rang.

Der Bereich 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. Die Region wird gezielt für die Ansiedlung von Biobetrieben beworben und durch Landeseinrichtungen unterstützt, u.a. durch ein Flächenmanagement zur Verbesserung der Koexistenz mit konventionellen Betrieben.

Charakterisierend sind stark wechselnde Bodenarten von Braunerden, über Fahlerden bis hin zu hydromorphen Böden unterschiedlicher Güte mit sandig-lehmigen bis lehmigen Substraten. Auch in den landwirtschaftlich genutzten Flächen finden sich zahlreiche Bereiche mit hohem Naturschutzwert, u.a. auf Kuppen mit erodierten Böden Trockenrasen und Gehölze, eiszeitliche Relikte wie Findlinge und in abflusslosen Senken Moore und Kleingewässer, sogenannte Sölle, sowie ausgedehnte Waldgebiete und Seen.

Über das Kerngebiet hinaus wurden in 2014 der Fläming sowie in 2016 fünf weitere Regionen in Brandenburg mit Probenstandorten bedacht: Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe, Naturpark Stechlin-Ruppiner Land, Neuruppiner Land, Naturpark Märkische Schweiz, Naturpark Hoher Fläming.

Die Auswahl der Standorte wurde in enger fachlicher Abstimmung mit dem AG (LUGV-T14) vorgenommen, wobei die fachlichen Vorgaben und Referenzen des LUGV beachtet und eine Abstimmung der Probenahmestandorte mit vorhandenen Messnetzen (ggf. LUGV, UBA) erfolgte.

Einen Überblick über die Standorte und Proben findet sich in Tab. 1. Aufgeführt sind die Standorte aus beiden Probenahmen – der Herbstbeprobung in 2014 und der Frühjahrsbeprobung in 2016. Die Lage der Standorte ist in den Kartenskizzen in Abb. 1 und Abb. 2 verzeichnet. Eine Beschreibung der Standorte und Proben geht aus den Tab. 2 bis Tab. 4 sowie den Abb. 3 bis Abb. 26 hervor.

Herbstbeprobung 2014:

Der Standort in Wilmersdorf mit der Körnerfenchel-Kultur befindet sich in der Bioanbau-Region Schorfheide-Chorin. Es befinden sich dort in der Umgebung laut LEFL-PSD keine

konventionellen Betriebe (s. Bericht 2014), so dass Nahbereichseinflüsse aus Herbizidanwendungen für Pendimethalin und Prosulfocarb ausgeschlossen werden können. An dem Standort wurden in Zusammenarbeit mit dem AG zwei Körnerfenchel-Proben gezogen. Eine Probe (Fe31.1) wurde bei der vorzeitigen Ernte des Feldes Anfang September 2014 vor der Applikationsperiode von Pendimethalin entnommen. Hierbei wurden 5 Teilflächen stehen gelassen, die dann nach der Applikationsperiode (27.10.2014) für eine 5-Punkt-Stichprobe verwendet wurden (Fe31.2). Im Körnerfenchelfeld wurden dann über die Applikationsperiode von Ende September bis Ende Oktober die Passivsammler exponiert (P1). Nach Abschluss der Applikationsperiode erfolgte die Probenahme zum Luftgüte-Rindenmonitoring (L61).

Als Referenzstandort mit positiver Herbizid-Applikation wurde in ca. 10 km Entfernung südlich bei Altkünkendorf ein Betrieb ermittelt, der im Herbst Pendimethalin auf Wintergetreide-Flächen einsetzte. Prosulfocarb-Anwendungen sind in der Region laut LELF-PSD nicht bekannt. Dort wurden Passivsammler (P2) exponiert, Rindenproben (L61) gezogen und eine Grünkohl-Probe (GK42) entnommen.

Als Referenzstandort mit Prosulfocarb-Anwendung wurde ein Standort im Fläming südlich von Berlin ausgewählt, der das Herbizid im Frühjahr bei Kartoffelanbau anwendete. Hier erfolgte eine Rindenprobenahme (L69) als Mehrpunktstichprobe in der Umgebung des Feldes.

Im Kernuntersuchungsgebiet der Region Angermünde – Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin wurden 6 weitere Standorte für das Rindenmonitoring (L63-68) und 5 weitere für das Grünkohl-Monitoring (GK43-47) beprobt.

Insgesamt wurden im Herbst 2014 für das Rindenmonitoring 9 Standorte und für das Vegetationsmonitoring (Körnerfenchel, Grünkohl) 7 Standorte untersucht. Aus Abb. 1 und Tab. 1. gehen die Lage der Messstandorte sowie die Probenart hervor. Die Standorte wurden so angeordnet, dass unterschiedliche Entfernungsbereiche ausgehend von der Körnerfenchel-Kultur abgedeckt wurden. Die potentiell verfügbaren Standorte zum Vegetations-/Grünkohl-Monitoring waren hierbei limitiert und damit vorgegeben, so dass im Hinblick auf ein Gesamtbild die freier wählbaren Standorte zum Luftgüte-Rindenmonitoring entsprechend komplementär angeordnet wurden.

Frühjahrsbeprobung 2016:

Als Standort mit bekannter Herbizid-Applikation von Prosulfocarb wurde im Frühjahr 2016 eine Kartoffelkultur in Baumgarten bei Prenzlau gewählt (Abb. 3). Die Applikation erfolgte dort am 12. Mai 2016. An diesem Standort wurde nach Abschluss der Hauptapplikationsperiode von Prosulfocarb (Frühjahr/Frühjahr) am 31.5.16 eine Rindenprobe (L91) und dazu ergänzend eine Vegetationsprobe (V51) aus der Umgebung entnommen.

Als Referenzstandort fernab von Kartoffelanbau und Prosulfcarb-Applikation wurde ein Bereich bei Temmen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin gewählt. Dort wurden am 31.5.16 ebenfalls eine Rindenprobe (L92) sowie eine Vegetationsprobe (V52) entnommen.

In der Region wurden zwei weitere Standorte für das Rindenmonitoring ausgewählt: Einer im Bereich des Biosphärenreservats Schorfheide-Chorin zwischen Wolletz und Angermünde (L94), der andere bei Placht Weiler im Naturpark Uckermärkische Seen (L97). Ergänzend wurde im Schaugarten des VERN in Greiffenberg eine weitere Vegetationsprobe (V54) gezogen.

In der Region Neuruppiner Land wurde der Standort Rohrlack beprobt. Hier wurde auf einem Biobetrieb, der im Vorjahr mit einem Schadensfall mit Prosulfcarb-Kontamination betroffen war, eine Vegetationsprobe entnommen (V53) sowie in der Umgebung, in der konventioneller Kartoffelanbau stattfindet, eine Rindenprobe (L93).

Für das Rindenmonitoring wurden zusätzlich Proben, - jeweils abseits von Kartoffelkulturen - , aus 5 weiteren Regionen gezogen:

- L96 bei Heimland, Naturpark Stechlin-Ruppiner Land;
- L95 bei Jagel, Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe;
- L97 bei Placht Weiler, Naturpark Uckermärkische Seen;
- L98 bei Bollersdorf, Naturpark Märkische Schweiz;
- L99 bei Ragösen, Naturpark Hoher Fläming.

Gesamte Untersuchung 2014/2016:

Insgesamt wurden in den beiden Probenahmekampagnen 2014/2016 untersucht:

- 18 Standorte zum Luftgüte-Rindenmonitoring
- 2 Standorte zur Kalibrierung mittels Passivsammler
- 11 Standorte für das Grünkohl-/ Vegetationsmonitoring

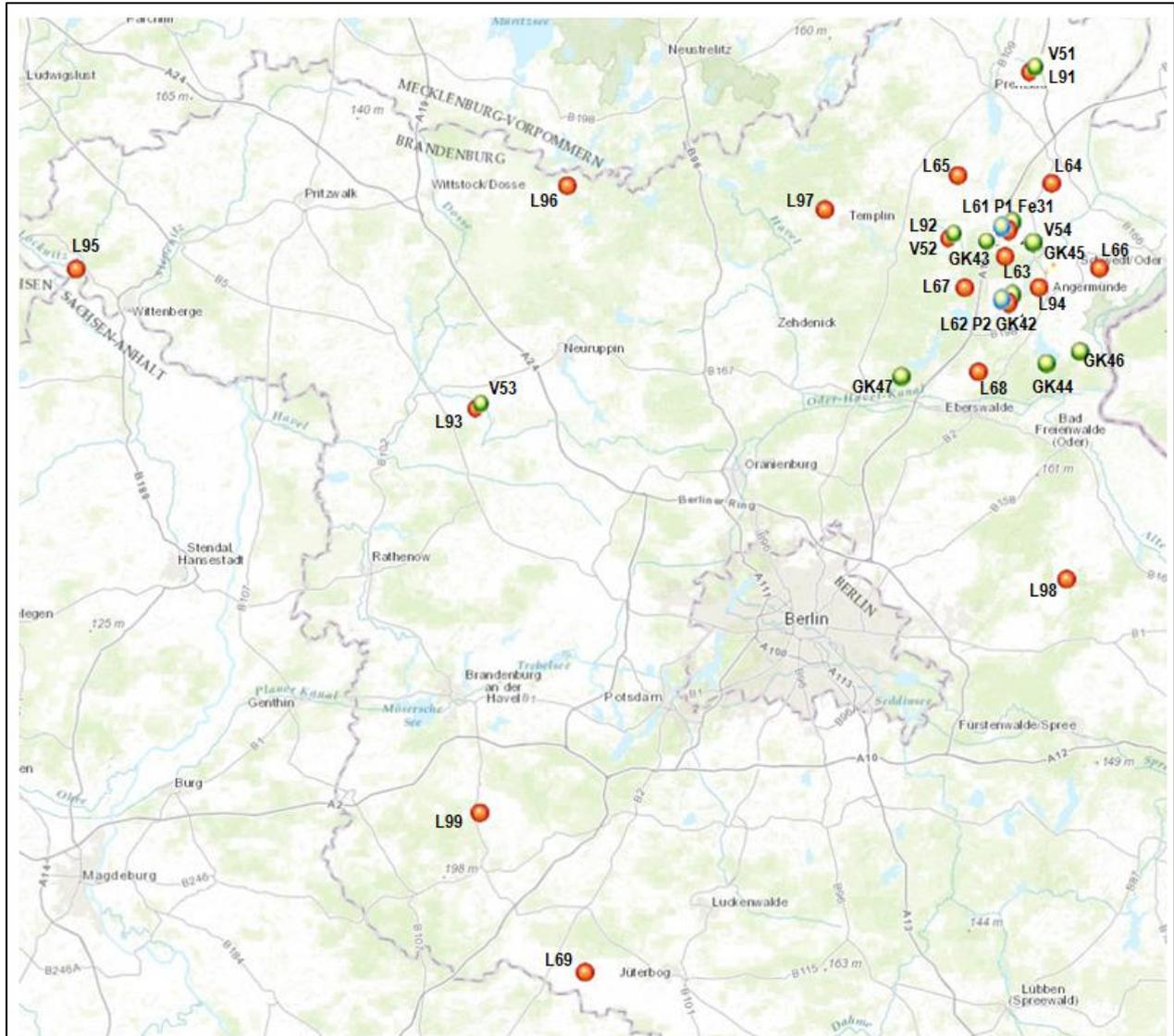


Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Probenstandorte

Standorte und Proben siehe Tab. 1

- Luftgüte-Rindenmonitoring
- Vegetations-Monitoring (V Vegetation, GK Grünkohl, Fe Körnerfenchel)
- Passivsammler

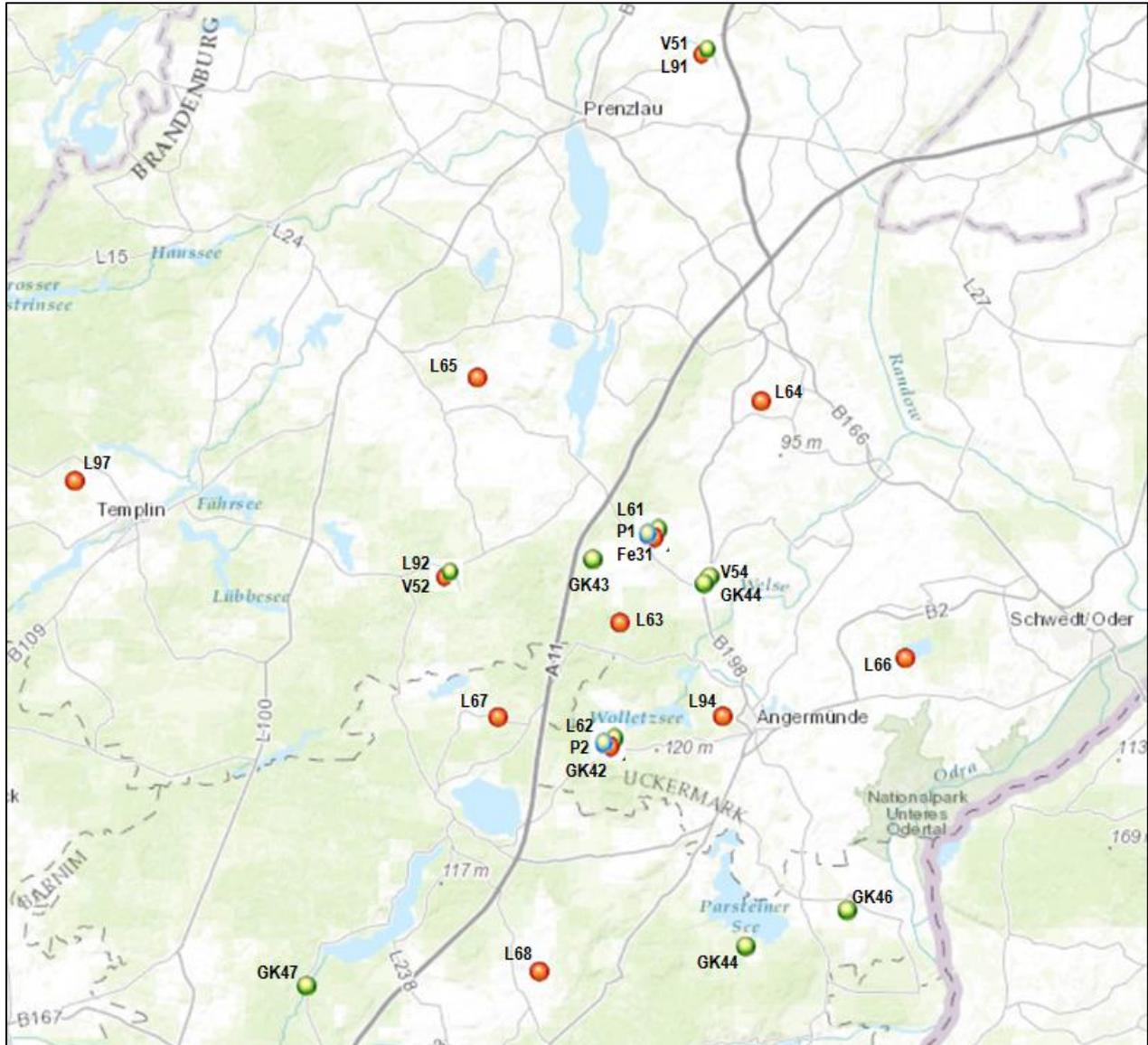


Abb. 2: Ausschnitt Kerngebiet Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin

Standorte und Proben siehe Tab. 1

- Luftgüte-Rindenmonitoring
- Vegetations-Monitoring (V Vegetation, GK Grünkohl, Fe Körnerfenchel)
- Passivsammler

Tab. 1: Überblick Untersuchungsstandorte, Verfahren und Proben
a) Herbstbeprobung 2014

Rinden-Monitoring	Passiv-Sammler	Vegetations-Monitoring	Bemerkung
<i>Region Biosphärenpark Schorfheide – Chorin, Uckermark</i>			
L61	P 01	Fe 31.1 Körnerfenchel Fe 31.2 Körnerfenchel	betroffene Körnerfenchelkultur bei Wilmersdorf Pendimethalin 17.9./27.10.14
L62	P 02	GK42 Grünkohl	Pendimethalin-Applikation Wintergetreide bei Altkünkendorf
L63			Peetzig Feldweg
		GK43 Grünkohl	Steinhöfel, Garten
L64			Meichow, Feldweg
		GK44 Grünkohl	Brodowin, Garten
L65			Gerswalde, Feldweg
		GK45 Grünkohl	Greiffenberg, Garten
L66			Felchower See
		GK46 Braunkohl	Lüdersdorf, Garten
L67			Parlow Allee
		GK47 Grünkohl	Schorfheide, Garten
L68			Britz-Chorin Allee
<i>Region Fläming</i>			
L69			Prosulfocarb-Applikation Kartoffelkultur, bei Danna

b) Frühjahrsbeprobung 2016

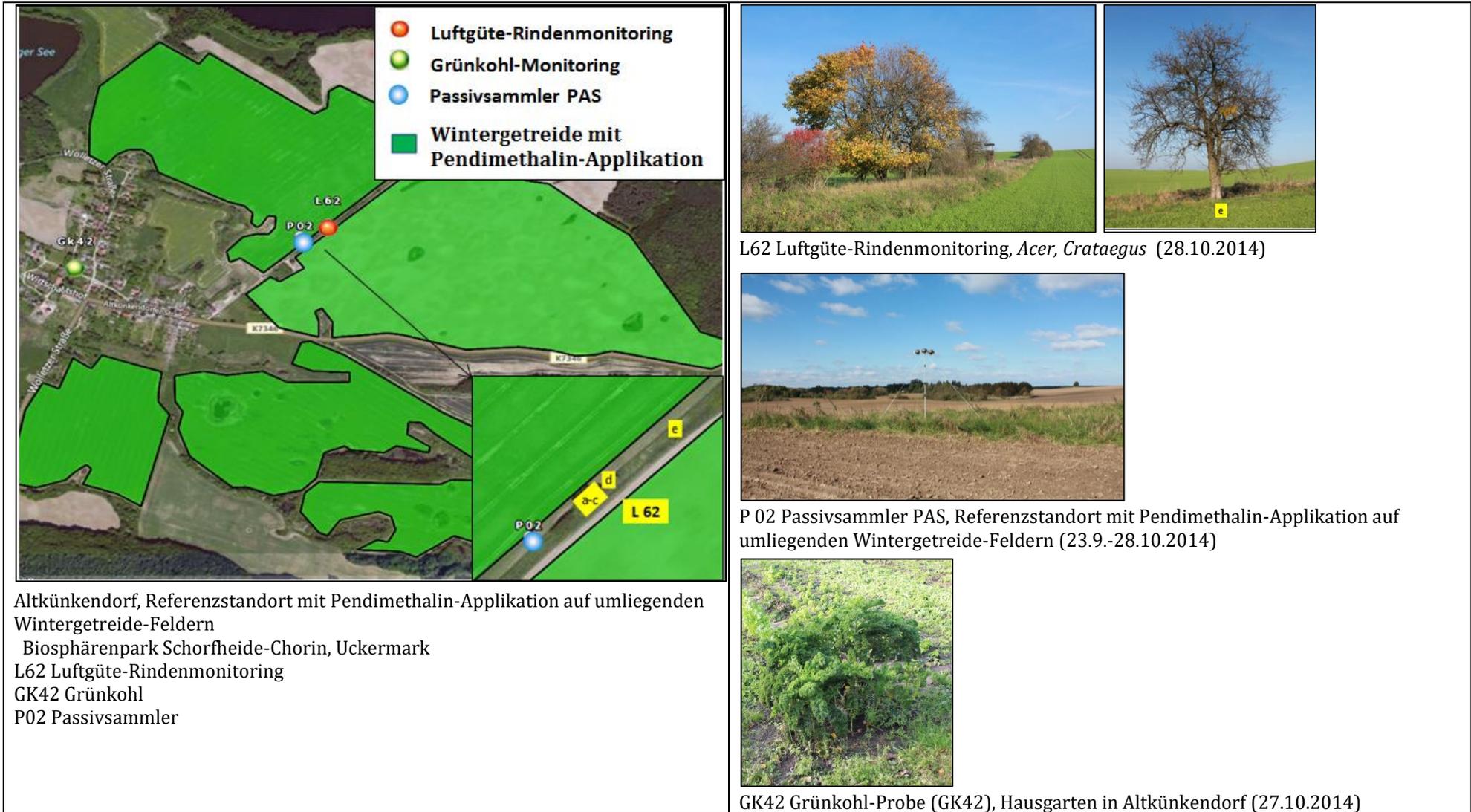
Rinden-Monitoring	Passiv-Sammler	Vegetations-Monitoring	Bemerkung
L91		V51 Schilf <i>Phragmites</i>	Prosulfocarb-Applikation Kartoffelkultur Gut Baumgarten bei Prenzlau, Uckermark
L92		V52 Liebstöckel <i>Levisticum off.</i>	Wildsamen-Insel bei Temmen, Uckermark, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Referenz fernab Applikation
L93		V53 Petersilie <i>Petroselinum ssp.</i>	Rohrlack, Ostprignitz-Ruppin Bioanbau, positiver Befund in 2015; konv. Kartoffelanbau in Umgebung (L93)
		V54 Pastinake <i>Pastinaca sat.</i>	Biologischer Garten VERN, Greiffenberg, bei Angermünde, Uckermark
L94			Wolletzer Feldweg bei Angermünde, Uckermark, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin
L95			Feldweg bei Jagel, Prignitz, Biosphärenre- servat Flusslandschaft Elbtalaue
L96			Feldweg bei Heimland, Ost-Prignitz- Ruppin, Naturpark Stechlin-Ruppiner Land
L97			Fahrweg bei Placht Weiler, Uckermark, Naturpark Uckermärkische Seen
L98			Söll bei Bollersdorf, Märkisch-Oderland, Naturpark Märkische Schweiz
L99			Baumreihe bei Ragösen, Potsdam Mittel- mark, Naturpark Hoher Fläming

Abb. 3: Standort Wilmersdorf, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: Fe31, L61, P01

Körnerfenchelkultur, Gut Wilmersdorf
 Bioanbauregion Biosphärenpark Schorfheide-Chorin,
 bei Angermünde, Uckermark
 Schadensfall, PSM-Belastung in den Vorjahren (Pendimethalin, Prosulfocarb)
 L61 Luftgüte-Rindenmonitoring
 Fe 31 Körnerfenchel
 P01 Passivsammler

2. Vorgehensweise

Abb. 4: Standort Altkünkendorf, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L62, P02, V42



Altkünkendorf, Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation auf umliegenden Wintergetreide-Feldern
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L62 Luftgüte-Rindenmonitoring
 GK42 Grünkohl
 P02 Passivsammler

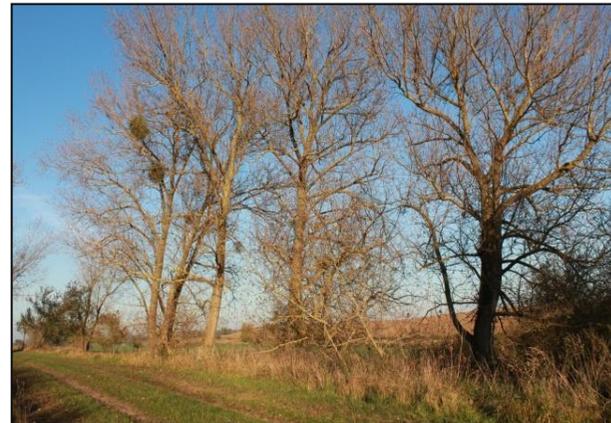
Abb. 5: Standort Peetzig, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L63



L63 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus* (28.10.2014)

Feldweg bei Peetzig
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L63 Luftgüte-Rindenmonitoring

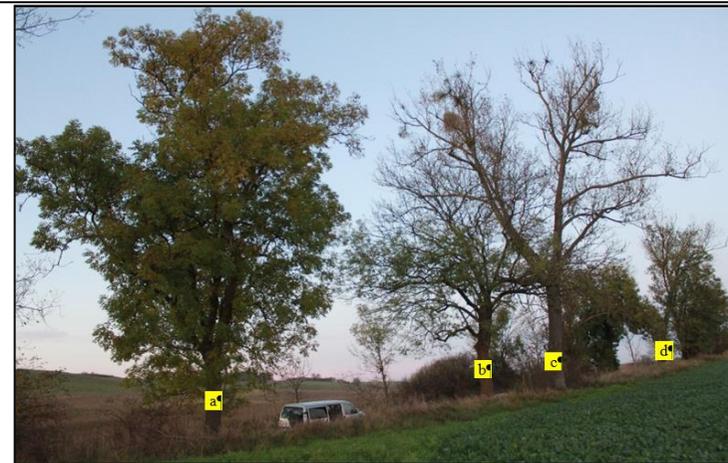
Abb. 6: Standort Meichow, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L64



L64 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus* (28.10.2014)

Feldweg bei Meichow
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L64 Luftgüte-Rindenmonitoring

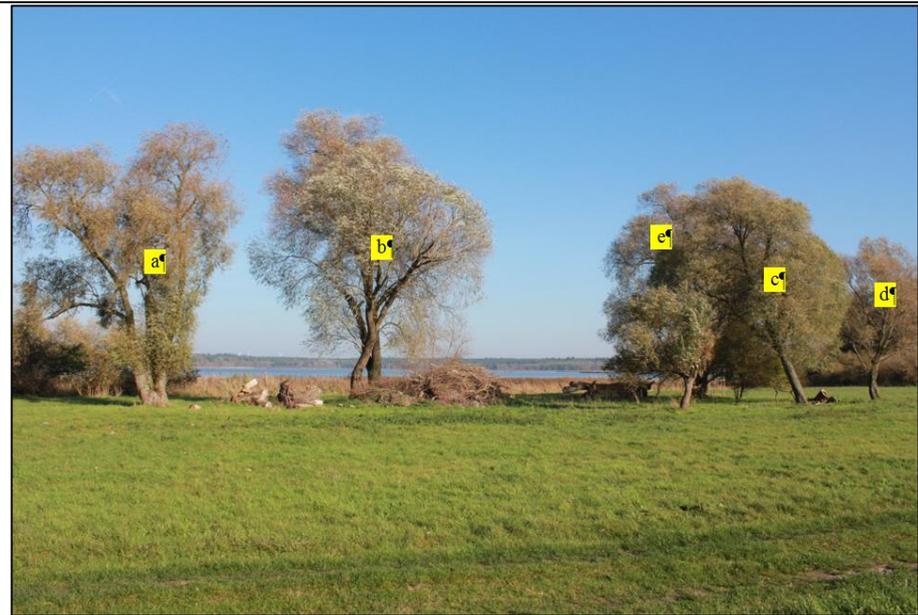
Abb. 7: Standort Gerswalde, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L65



L65 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus*, *Akazie* (28.10.2014)

Feldweg bei Gerswalde
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L65 Luftgüte-Rindenmonitoring

Abb. 8: Standort Felchower See, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L66



L63 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Salix* (28.10.2014)

Südufer Felchower See
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L66 Luftgüte-Rindenmonitoring

Abb. 9: Standort Parlow, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L67



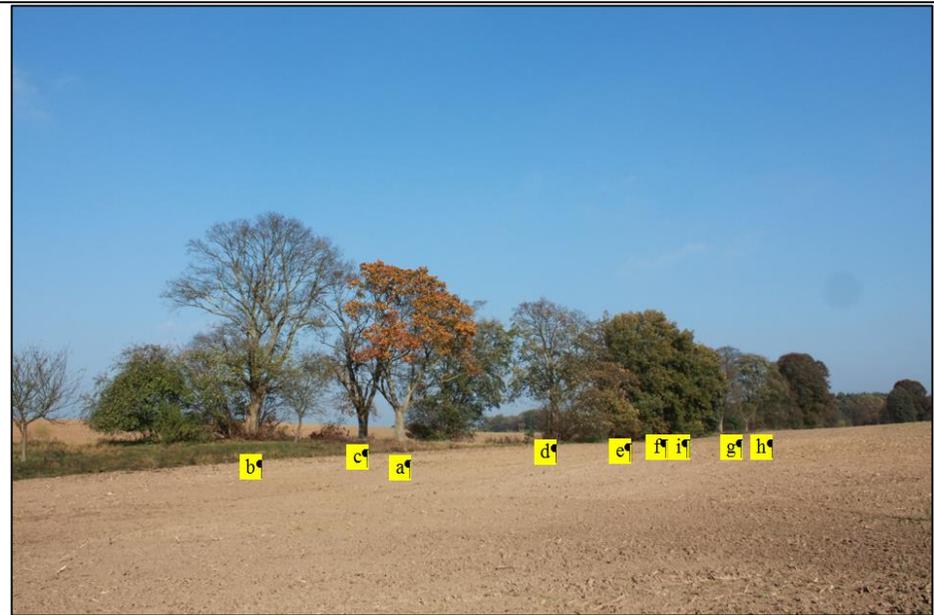
L67 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus*, *Quercus* (29.10.2014)

Allee bei Parlow
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L67 Luftgüte-Rindenmonitoring

Abb. 10: Standort Britz-Chorin, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark: L68



Allee bei Britz-Chorin
 Biosphärenpark Schorfheide-Chorin, Uckermark
 L68 Luftgüte-Rindenmonitoring

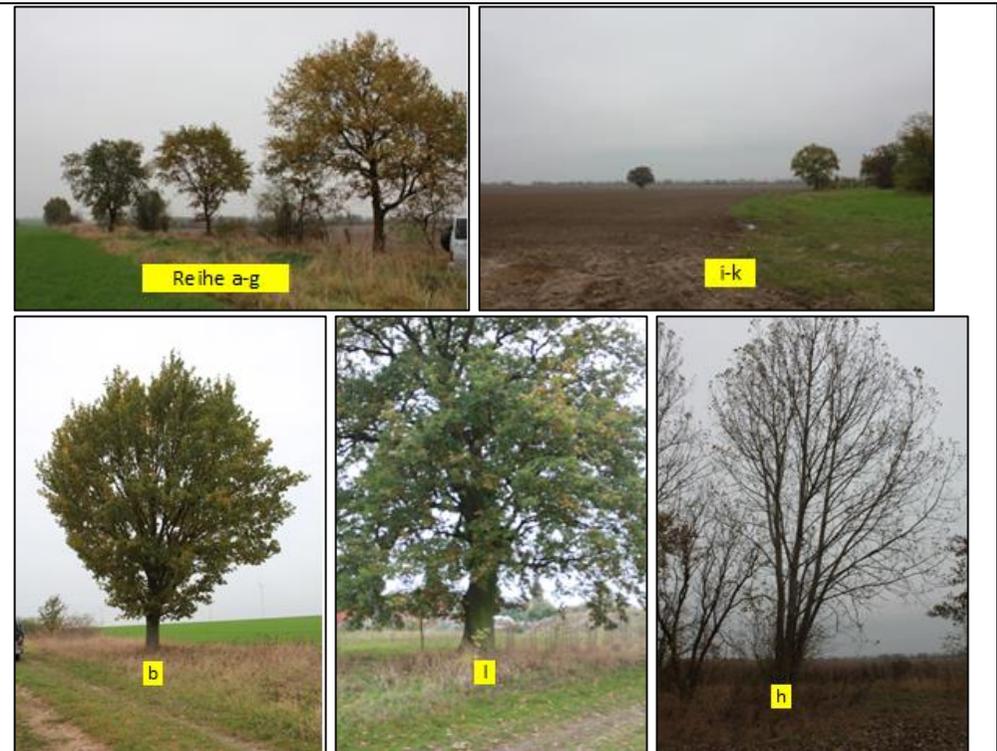


L68 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Acer*, *Quercus* (29.10.2014)

Abb. 11: Standort Danna, Fläming: L69



Kartoffelkultur mit Prosulfocarb-Anwendung im Frühjahr (April 2014),
 Beprobung Herbst 2014 (26.10.2014)
 bei Danna, Fläming
 L69 Luftgüte-Rindenmonitoring



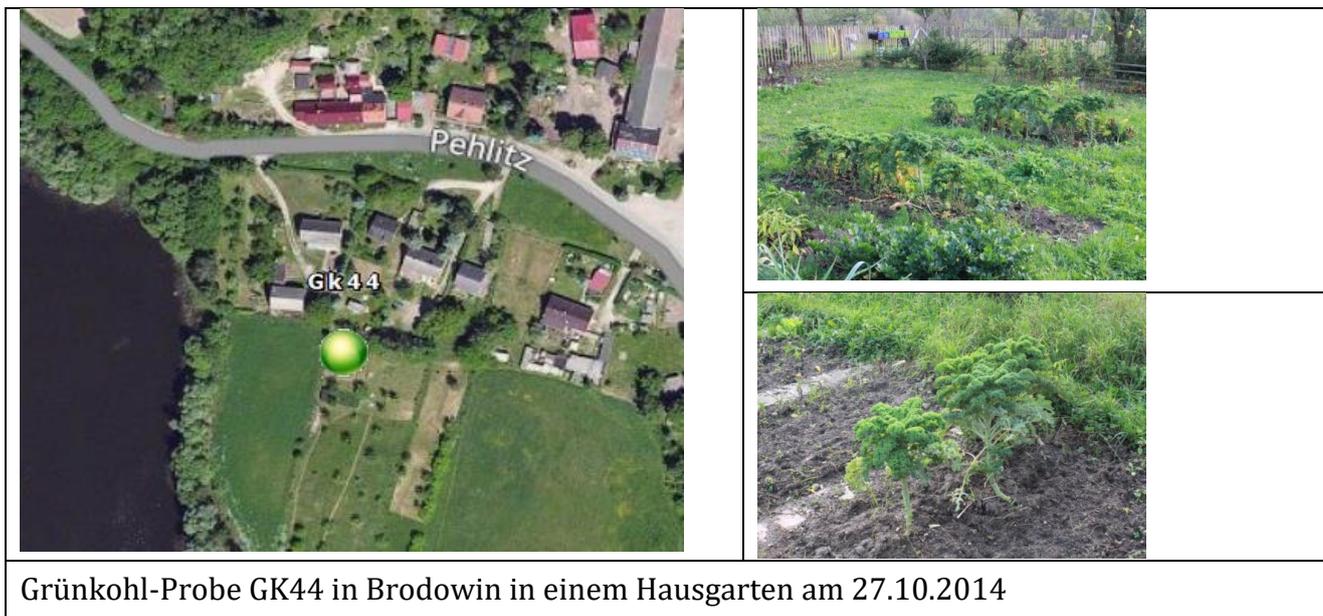
L69 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Quercus*, *Populus* (26.10.2014)

Abb. 12: Standort Steinhöfel, Schorfheide-Chorin: GK43



Grünkohl-Probe GK43 bei Steinhöfel in einem Hausgarten am 27.10.2014

Abb. 13: Standort Brodowin, Schorfheide-Chorin: GK44



Grünkohl-Probe GK44 in Brodowin in einem Hausgarten am 27.10.2014

Abb. 14: Standort Greiffenberg, Schorfheide-Chorin: GK45



Abb. 15: Standort Lüdersdorf, Schorfheide-Chorin: GK46

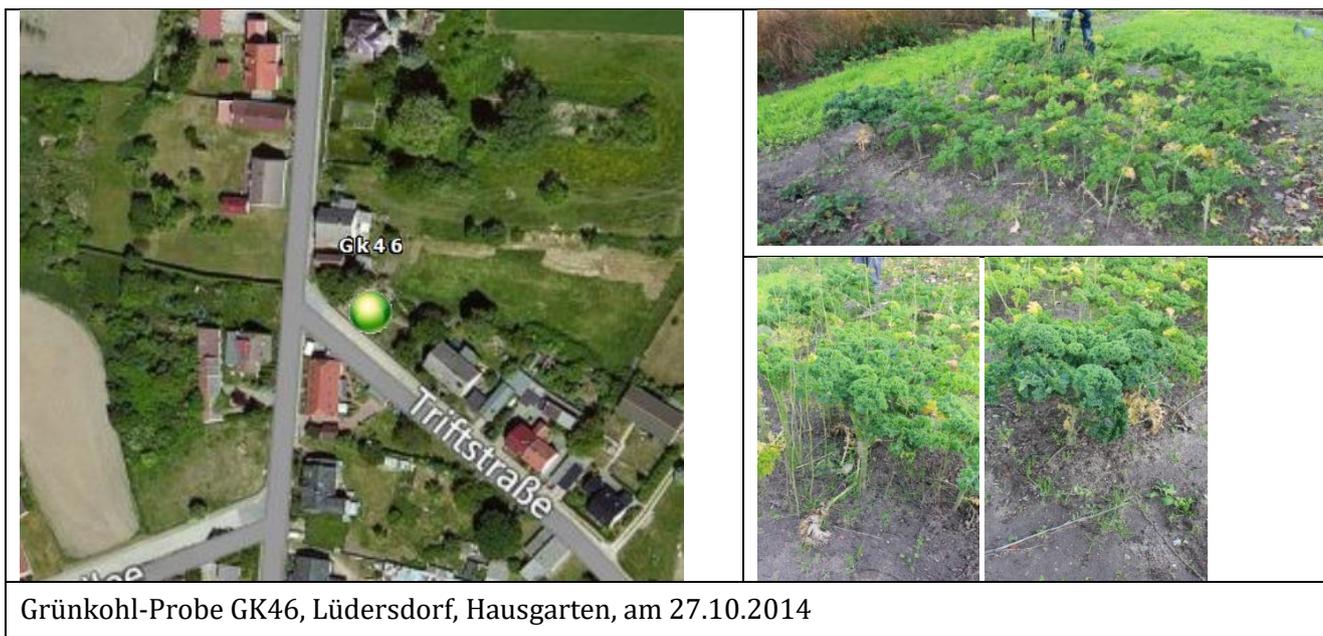


Abb. 16: Standort Eichhorst, Schorfheide-Chorin: GK47



Grünkohl-Probe GK47, Eichhorst, Hausgarten, am 26.10.2014

Abb. 17: Standort Baumgarten, Raum Prenzlau, Uckermark: L91, V21



Gut Baumgarten
 bei Prenzlau,
 Uckermark
 Referenz Prosulfocarb-Applikation Kartoffelanbau (K)
 20 m Randstreifen Weizen
 Feuchtgebiet mit *Phragmites* und Pappelwäldchen

 L91 Luftgüte- Rindenmonitoring
 V51 Vegetation



Kartoffelkultur, Prosulfocarb-Applikation 12.5.2016



V51 *Phragmites* spp. (Schilf), Feuchtgebiet ca. 50-100 m von Kartoffelkultur mit Prosulfocarb-Anwendung, dazwischen 20 m Weizen (31.5.2016)



L91 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus* (31.5.2016)

Abb. 18: Standort Temmen, Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin: L92, V52



L92 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Populus/Acer* (31.5.2016)



V52 Vegetation: *Levisticum off.* (Liebstöckel), blühend (31.5.2016)

Temmen, Uckermark
 Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin
 Wildsamen-Insel Kietsch
 Referenz im Biosphärenreservat fernab von Kartoffelanbau und Prosulfocarb-
 Applikation

L92 Luftgüte-Rindenmonitoring
 V52 Vegetation

Abb. 19: Standort Rohrlack, Raum Ostprignitz-Ruppin: L93, V53



Rohrlack, Ostprignitz-Ruppin
 V53 Vegetation, Bioanbau, Lindenhof (positiv Befund mit Schaden im Vorjahr)
 L93 Luftgüte-Rindenmonitoring
 konventioneller Kartoffelanbau in Umgebung (K)



V53 Vegetation: *Petroselinum* ssp. (Petersilie), Bioanbau (30.5.2016)



L93 Luftgüte-Rindenmonitoring, *Quercus* (30.5.2016)

Abb. 20: Standort Wolletzer Feldweg bei Angermünde, Uckermark, Biosphären-Reservat Schorfheide-Chorin: L94

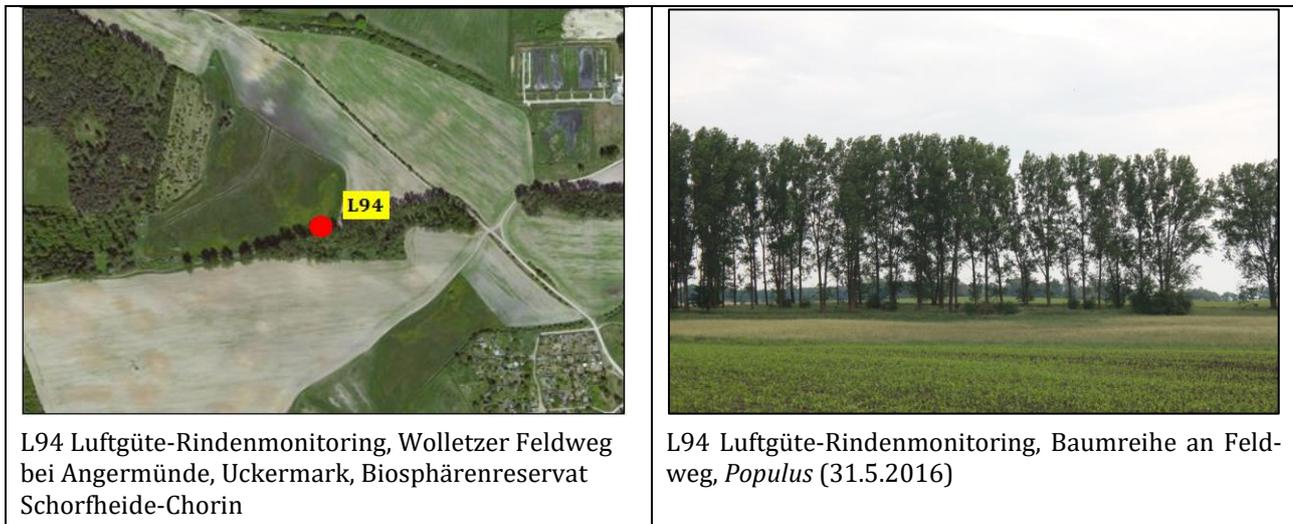


Abb. 21: Standort Greiffenberg, Raum Angermünde, Uckermark: V54

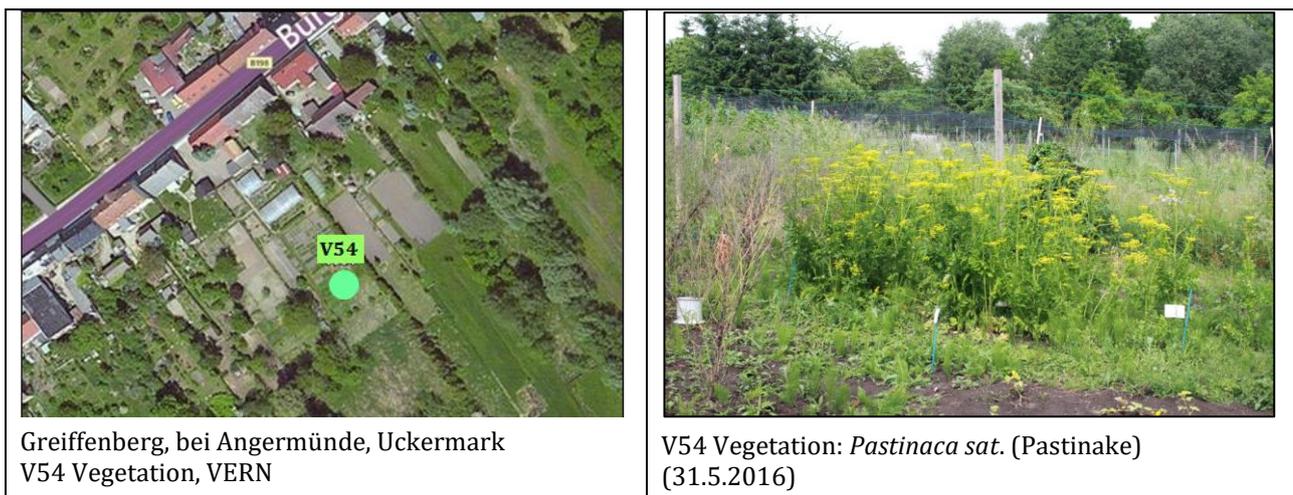


Abb. 22: Standort Jagel, Prignitz, Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbtal- aue: L95

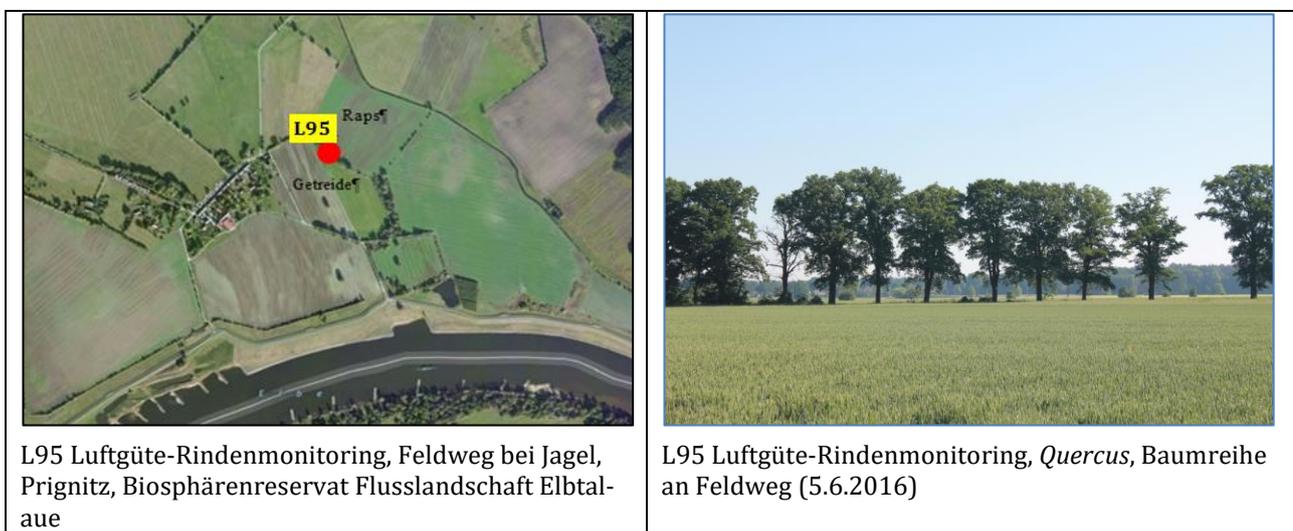


Abb. 23: Standort Heimland, Ost-Prignitz-Ruppin, Naturpark Stechlin-Ruppiner Land: L96

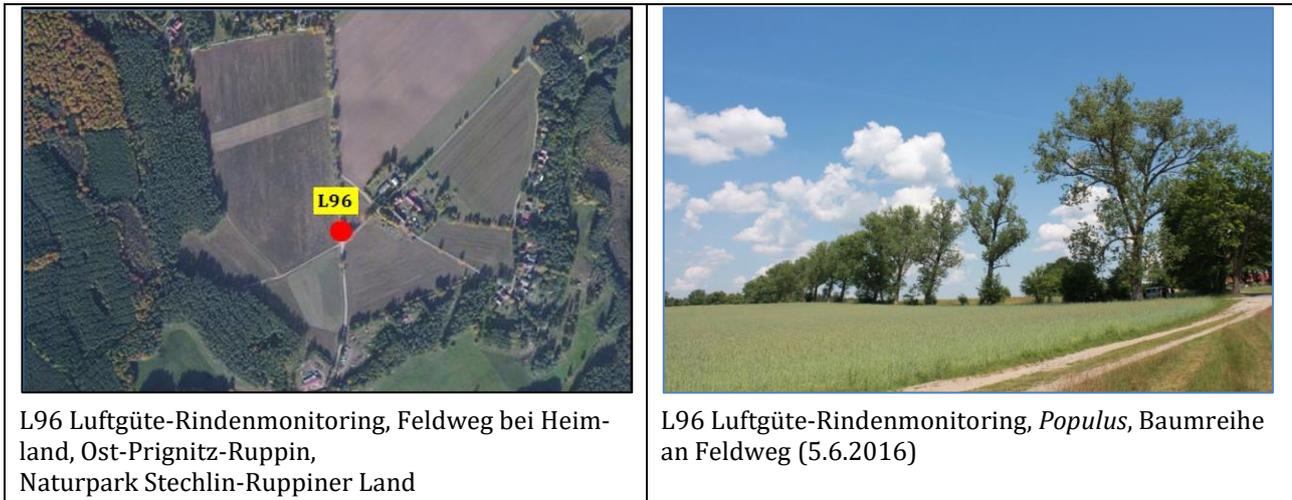


Abb. 24: Standort Placht Weiler, Uckermark, Naturpark Uckermärkische Seen: L97



Abb. 25: Standort Bollersdorf, Märkisch-Oderland, Naturpark Märkische Schweiz: L98

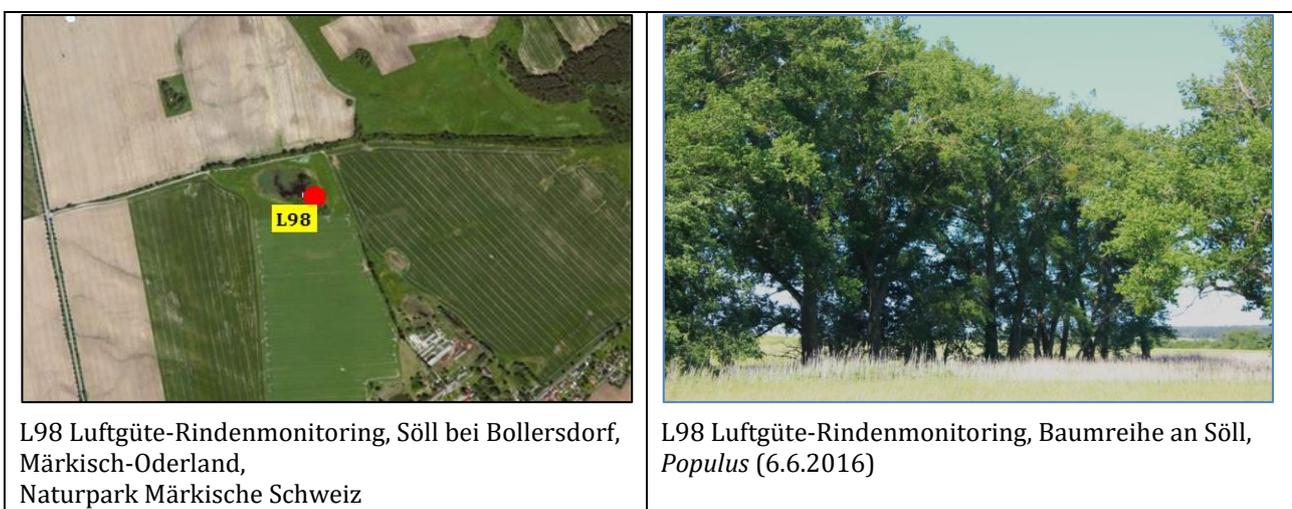


Abb. 26: Standort Ragösen, Potsdam Mittelmark, Naturpark Hoher Fläming: L99



L99 Luftgüte-Rindenmonitoring, Graben bei Ragösen, Potsdam Mittelmark, Naturpark Hoher Fläming



L99 Luftgüte-Rindenmonitoring, Baumreihe an Graben, *Populus* (5.6.2016)

Tab. 2: Beschreibung Standorte/Proben Rindenmonitoring
Probenahme Herbst 2014

ID	Baum a-z	Art	Umfang cm	Alter ca.	Exp 1-6	R NSWO	A I	Gew. g	Breite	Länge	Datum	Standort	Bemerkungen
L61	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
L62	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
L63	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	
L64	a-e	Pop	120-350	120	4	R	A	32	53,176355	14,004456	28.10.14 14:00	Meichow Feldweg	
L65	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	
L66	a-c	Salix	110-320	100	4	R	A	47	53,050191	14,119862	28.10.14 13:00	Felchower See	
L67	a-d e f	Pop Que	100-250 100-150	100	4	R	A	55	53,021508	13,791553	29.10.14 9:00	Parlow Allee	
L68	a-h i	Acer Que	150-240	100	4	R	A	51	52,897554	13,826754	29.10.14 11:00	Britz-Chorin Allee	
L69	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

Probenahme Frühjahr 2016

ID	Baum a-z	Art	Umfang cm	Alter ca.	Exp 1-6	R NSWO	A I	Gew. g	Breite	Länge	Datum	Standort	Bemerkungen
L91	a-g	Pop	150-260	60	4	R	A	35	53°20'40,4"	13°57'23,4"	31.5.16	Schenkenberg, UM Gut Baumgarten	Prosulfocarb-Applikation Kartoffelanbau 10.5.16; P21; V51
L92	a-f	Pop Acer	180-240	80	3-4	R	A	43	53°05'26,8"	13°45'12,5"	31.5.16	Temmen, UM Wildsamen-Insel	Null-Referenz fernab Applikation; Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin; P22; V52
L93	g h	Que	250-310	100	4	R	A	53	52°50'36,9"	12°35'45,0"	30.5.16	Rohrlack, OPR Feldweg	Bioanbau, Schadensfall in 2015 konv. Kartoffelanbau i.d. Umgebung; V53
L94	a-d	Pop	150-240	80	4	R	A	46	53°01'17,2"	13°58'16,0"	31.5.16	Angermünde, UM Wolletzer Feldweg	Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin; V54
L95	a-h	Que	210-300	>100	4	R	A	51	53°02'58,0"	11°36'58,0"	5.6.16	Jagel, PR Feldweg	Biosphärenreservat Flusslandschaft Elbe
L96	a-d	Pop	200-310	>80	4	R	A	32	53°10'20,5"	12°49'06,7"	5.6.16	Heimland, PR Feldweg	Naturpark Stechlin-Ruppiner Land
L97	a-e	Que	80-180	40-80	4	R	A	36	53°08'12,7"	13°26'57,7"	5.6.16	Joachimshof, UM Allee, Fahrweg	Naturpark Uckermärkische Seen
L98	a-e	Pop	240-380	>80	4	R	A	47	52°35'14,6"	14°02'25,8"	6.6.16	Bollersdorf, MOL Söll	Naturpark Märkische Schweiz
L99	a-d	Pop	180-280	60	4	R	A	41	52°14'11,6"	12°36'17,3"	6.6.16	Ragösen, PM Graben	Naturpark Hoher Fläming

Tab. 3: Beschreibung Standorte/Proben Passivsammler SIP

ID	Probe	Typ	Beginn	Ende	Dauer d	Breite	Länge	Exp- Grad	Höhe m	Standort	Bemerkungen
P01	11 12	SIP	23.9.14 09:00	27.10.14 11:00	34	53,111080	13,918002	4	2,5	Körnerfenchel-Kultur Wilmsdorf, UM Gut Wilmsdorf	keine Applikation von Pendimethalin oder Prosulfocarb im Expositionszeit- raum; L61; Fe31.1, Fe31.2
P02	13 14	SIP	23.9.14 11:00	27.10.14 14:30	34	53,009559	13,884714	4	2,5	Wintergetreide Altkünkendorf, UM	Referenzfläche bei Altkünkendorf mit Pendimethalin-Applikation (Winter- getreide) im Expositionszeitraum; keine Applikation von Prosulfocarb im Expositionszeitraum L62; GK42

Tab. 4: Beschreibung Standorte/Proben Vegetations-/Grünkohl-Monitoring

Passives Biomonitoring, Ziel: Immissionsbelastung

Vegetationsproben: Jeweils 2 Unterproben (a, b) mit je mindestens 2 Pflanzen analog VDI 3957 Bl 3 für Grünkohl, zur Prüfung der Immissionsbelastung Analyse ungewaschen

Probenahme Herbst 2014

ID	Probe	Datum	B	L	Kultur	Exp	Standort	Bemerkungen
FE 31.1		17.9.2014	53°06'39,9	13°55'04,8	Körnerfenchel	4	Wilmsdorf	1. Beprobung Ernte, vorzeitig (LELF-PSD)
FE 31.2	5 a-e	27.10.14 11:00						2. Beprobung zur Erntereife
GK42	A B	27.10.14 14:00	53°00'32,1	13°52'28,2	Grünkohl	3	Altkünkendorf	Garten
GK43	A B	27.10.14 10:00	53°05'53,9	13°52'06,4	Grünkohl	2-3	Steinhöfel	Garten
GK44	A B	27.10.14 16:00	52°54'31,0	13°59'30,4	Grünkohl	3	Brodowin	Garten
GK45	A B	27.10.14 8:30	53°05'18,2	13°57'33,6	Braunkohl	3	Greiffenberg	Schaugarten
GK46	A B	27.10.14 15:00	52°55'35,4	14°04'26,1	Grünkohl	3	Lüdersdorf	Garten
GK47	A B	26.10.14 16:00	52°53'22,9	13°38'07,7	Grünkohl	3	Eichhorst	Garten

Probenahme Frühjahr 2016

ID	Probe	Datum	B	L	Kultur	Exp	Standort	Bemerkungen
V51	a b	31.5.16 14:00	53°20'42,6"	13°57'25,6'	<i>Phragmites ssp.</i> , Schilf	4	Schenkenberg, UM Gut Baumgarten	Prosulfocarb-Applikation Kartoffelanbau 10.5.16 Probenahme in 50-100 m Entfernung; L91; P21
V52	a b	31.5.16 11:30	53°05'26,6"	13°45'12,7"	<i>Levisticum off.</i> , Liebstöckel	4	Temmen, UM Wildsamen-Insel	Null-Referenz fernab Applikation; Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin; P22; L92
V53	a b	30.5.16 18:00	52°51'05,3"	12°36'37,4"	<i>Petroselinum ssp.</i> , Petersilie	4	Rohrlack, OPR Lindenhof	Bioanbau, Schadensfall in 2015 konv. Kartoffelanbau i.d. Umgebung; L93
V54	a b	31.5.16 15:00	53°05'17,5"	13°57'34,3"	<i>Pastinaca sat.</i> , Pastinake	3	Greiffenberg VERN	Biologischer Schau- und Lehrgarten Raum Angermünde, L94

2.2 Untersuchungsmethoden

2.2.1 Luftgüte-Rindenmonitoring

Für die Erfassung der standörtlich mittleren Immissionsbelastung wurde in beiden Untersuchungen der Jahre 2014 und 2016 das Luftgüte-Rindenmonitoring eingesetzt. Die Arbeiten wurden vom Ökologiebüro in Bremen, Dipl.-Biol. F. Hofmann, durchgeführt.

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 Stoffwechselforgänge 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, so dass mit einer einzigen Beprobung die Bestimmung der mittleren Luftschadstoff-Belastung für zahlreiche akkumulierbare und persistente Umweltschadstoffe auf vergleichbare Weise ermöglicht wird. Die Ergebnisse charakterisieren eine integrierte standörtliche Immissionsbelastung und geben unmittelbar damit die relativen Unterschiede der standörtlichen Belastung wieder.

Das Verfahren wurde im Untersuchungsprogramm im Jahre 2014 erfolgreich für Pestizide eingesetzt (Hofmann & Schlechtriemen 2015). Für weitere Ausführungen zum Verfahren sei auf diesen Bericht hier verwiesen. Über parallele Immissionsmessungen mit den Passivsammlern PAS an zwei Standorten erfolgte in 2014 eine Kalibrierung mit Bezug auf eine integrierte Immissions-Konzentration an den Untersuchungsstandorten. Hierbei ist zu beachten, dass beide Sammelverfahren eine über den jeweiligen Sammelzeitraum integrierte Massenbilanz (Integral über eine kontinuierliche Bilanz von Ein- und Austrägen) erfassen. Während der Passivsammler PAS aktiv über einen definierten Zeitraum exponiert wird (meist 1-3 Monate), ist die Rinde den Luftschadstoffen erheblich länger ausgesetzt, so dass sich auch weiter zurückliegende Ereignisse erfassen lassen. Für volatile und semi-volatile Stoffe wie den beiden Wirkstoffen Pendimethalin und Prosulfocarb gilt, dass die Repräsentanz abnimmt, je weiter das Ereignis zurückliegt. Die Konzentrationsangaben für das Luftgüte-Rindenmonitoring beziehen sich daher auf den Passivsammler PAS und dessen Norm-Zeitraum von 3 Monaten (Koblickova et al. 2012a,b) und sind entsprechend als Äquivalent-Konzentration zu verstehen. Im Expositionszeitraum der Passivsammler der Untersuchungen im Herbst 2014 wurde an einem Standort aktiv Pendimethalin ausgebracht, so dass hier ein Referenzstandort mit aus-

reichend starkem Signal für eine valide Kalibrierung zur Verfügung stand. Desweiteren lagen stoffspezifische Daten zu den PAS-Sammelkoeffizienten für PSM, hier Pendimethalin, vor. Für Prosulfocarb war ein allgemeiner Sammelkoeffizient anzunehmen und die für Pendimethalin ermittelte Beziehung wurde übernommen. Die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring in 2016 wurden für eine vergleichbarer Ergebnisdarstellung mit denselben Beziehungen wie in 2014 kalibriert.

Für das Luftgüte-Rindenmonitoring in 2016 wurden insgesamt 9 Standorte untersucht. Die Beschreibung der Proben und Standorte wird in Kapitel 2.1 gegeben.

Die Probenahmen wurden nach Abschluss der Hauptapplikationsperiode von Prosulfocarb im Frühjahr 2016 zwischen dem 31.5. und 6.6.2016 wie in 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.



Abb. 27: Standardisierte Entnahme der äußeren Rinde zum Luftgüte-Rindenmonitoring mit dem Rindenprobenehmer (Archivbild Hofmann)

Die Analytik auf die beiden Herbizid-Wirkstoffe Pendimethalin und Prosulfocarb sowie weiterer PSM wurde vom akkreditierten Labor KWALIS GmbH, Fulda, durchgeführt. Die Rindenproben wurden homogenisiert und dann für die Analyseverfahren entsprechend aufgeteilt.

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 Ergebnisse auf Trockengewicht bezogen angegeben.

Über Pendimethalin und Prosulfocarb hinaus wurde ein umfassendes Screening nach >500 PSM-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 d₅.

Die Auswertung im Hinblick auf die Immissionsbelastung erfolgt zunächst über die Relativgehalte. Für Rückschlüsse aus der Rinden-Konzentration auf eine über 3 Monaten integrierte Luft-Konzentration der beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb erfolgte die Kalibrierung über die Passivsammler PAS. Hierbei wurde zur Gewährleistung einer bestmöglichen Vergleichbarkeit zu den Ergebnisse 2014 dieselben Beziehungen aus der dort vorgenommenen Kalibrierung (siehe Hofmann & Schlechtriemen 2015) angenommen.

Ergänzend zum Auftrag wurde gemäß Standard des Luftgüte-Rindenmonitorings eine Element-Analytik vorgenommen, deren Ergebnisse nicht Bestandteil dieses Berichtes zu den PSM sind, der Vollständigkeit wegen aber erwähnt werden. 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). 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 = µg/g TG] der Elemente werden über einen mitlaufenden internen Rindenstandard (RS2) kalibriert und standardisiert (s. Hofmann et al. 2001).

2.2.2 Passivsammler (PAS)

Um Vergleichswerte zur Luftkonzentration für das Biomonitoring zu erhalten wurden in 2014 an zwei 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 zur Verfügung stellte und die Analytik und Auswertung vornahm. Die Eurofins GfA GmbH ist anerkannte Messstelle nach §§ 29b BImSchG und darüber hinaus ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.

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 bis zu 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, außer unseren Untersuchungen, nicht bekannt.

Die Durchführung der Messungen erfolgte über spezielle Passivsammler für Außenluft der Firma Tisch Environment (Abb. 28). Es wurden pro Messpunkt 2 Sammler in 2,5 m Höhe parallel für Doppelbestimmungen mit dem Sammelmedium SIP exponiert. Das Sammelmedium ist ein Polyurethanschaum (PUF) mit 14 cm Durchmesser und 1,35 cm Höhe (Tisch Environmental; Abb. 28) der für eine bessere Adsorptionsrate entsprechend der Vorgaben von Shoeib et al. (2008) gereinigt und mit XAD-4 modifiziert wurde (SIP: Sorbent Impregnated Polyurethan Foam Disk).

Die beiden Passivsammler wurden zu Beginn der Probenahme am 18.4.2016 mit den Probenahmemedien (SIP) bestückt. Am Ende der Expositionszeit (31.5.2016) wurden die Sammelmedien entnommen, einzeln in Aluminiumfolie und PE-Probenahmebeutel verpackt und bei -18°C zwischengelagert. Ein dritter Sammler wurde für interne Referenzzwecke verwendet. Die Analytik erfolgte über Eurofins. Zur Inhaltsstoffanalyse wurden die Sammelmedien mit Ethylacetat bei Ultraschallunterstützung extrahiert. Die Bestimmung der über den Sammelzeitraum integrierten Wirkstoffmassen 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) in 2014 abgeschätzt. Für Pendimethalin wurden zudem stoffspezifische Sammelraten für europäische Standorte in Paris (Frankreich) und Kosetice (Tschechien) veröffentlicht (Koblizkova 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.



Abb. 28: Technische Passivsammler PAS

a) Passivsammler des Global Atmospheric Passive Sampling Networks GAPS (Tisch Environmental);

b) Sammelmedium: Sorbent Impregnated Polyurethane Foam Disk (SIP)

Zwei Sammler für Parallelmessungen in 2,5 m Höhe, ein dritter für Referenzzwecke

Die Erfassung der Herbizid-Immissionen mit den Passivsammlern wurde für eine quantitative Kalibrierung an 2 Messstandorten in 2014 vorgenommen. Die Beschreibung der Standorte und Proben wird in Kap. 2.1 gegeben:

- Messpunkt P01 befand sich auf der Körnerfenchel-Kultur in Wilmersdorf in der Bioanbauregion Schorfheide-Chorin, Uckermark ohne PSM-Applikation in der Umgebung. Die Passivsammler wurden in 2,5 m Höhe frei exponiert, so dass bodennahe Einflüsse ausgeschlossen werden konnten.
- Messpunkt P02 lag an einem Referenzstandort mit bekannter Pendimethalin-Applikation (Wintergetreide) während der Expositionsperiode in Altkünkendorf, Biosphärenpark Schorfheide-Chorin.

Beide Messstandorte sind frei anströmbar und zeigen ideale Probenahmebedingungen.

Die Messdauer erfolgte über 34 Tage vom 27.9. bis 31.10.2014.

2.2.3 Vegetations-Monitoring (Körnerfenchel, Grünkohl und weitere)

Ergänzend erfolgte in 2014 und in 2016 ein Vegetations-Monitoring. Hierzu wurden in 2014 neben der betroffenen Körnerfenchel-Kultur ein passives Grünkohl-Monitoring an 6 Standorten sowie in 2016 an 4 Standorten weitere Pflanzen mit ähnlich dem Körnerfenchel und Grünkohl bekannt guten Akzeptor-Eigenschaften beprobt. Eine Beschreibung der Standorte und Proben geht aus den Abbildungen in Abschnitt 2.1 hervor:

In 2014 wurde folgende Vegetationsproben untersucht:

- Vom Körnerfenchelfeld bei Wilmersdorf wurden zwei Körnerfenchelproben gezogen (Abb. 3): Die Probe Fe31.1 wurde bei der vorzeitigen Ernte am 17.9.2014 vor der Ausbringungszeit von Pendimethalin-Präparaten in der Region durch den LELF-PSD entnommen. Die Haupternte erfolgte in dem Jahr versuchsweise ca. 1 Monat vor Erreichen der Erntereife unter Inkaufnahme von Verlusten. Fünf Teilflächen der Fenchelkultur wurden für eine 2. Beprobung (Fe31.2) zur üblichen Erntezeit bei Abreife (Ende Oktober/Anfang November) belassen. Die Probenahme erfolgte am 27.10.2014 nach Beendigung der Herbizidausbringungs-Periode zeitgleich mit den anderen Probenahmen zum Rindenmonitoring 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 ein passives Grünkohl-Monitoring an 6 Standorten im Kernuntersuchungsraum Schorfheide-Chorin durchgeführt, d.h. es wurden vorhandene Grünkohl-Pflanzen in ländlichen Hausgärten beprobt (GK42 – GK47) Eine Beschreibung der Proben und Standorte wird in Kapitel 2.1 gegeben (Abb. 4, Abb. 12-Abb. 16).

Die Untersuchungen in 2016 umfassten folgende Vegetationsproben:

- Eine Vegetationsprobe (V51) wurde am Referenzstandort mit Prosulfocarb-Applikation in einer Brachfläche als Mischprobe in ca. 50-100 m Entfernung von der Kartoffelkultur in Baumgarten bei Prenzlau, Uckermark, gezogen (s. Abb. 17). Zur Auswahl kamen Schilfblütenstände aus der Vorsaison.
- Am Referenzstandort fernab von Prosulfocarb-Applikation und Kartoffelanbau auf einer Halbinsel bei Temmen (Wildsamen-Insel) im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin wurde eine Liebstöckel-Kultur beprobt (V52, s. Abb. 18).
- Die Probe V53 entstammt einer Petersilien-Kultur eines Biobetriebes in Rohlack, Ost-Prignitz, der im Vorjahr einen Schadensfall mit hohen PSM-Belastungen berichtete (s. Abb. 19).
- Die Probe V54 besteht aus Pastinake (Blattmaterial). Die Beprobung erfolgte im Schaugarten des VERN in Greiffenberg in der Region Schorfheide-Chorin (s. Abb. 21).

Die Entnahme des Pflanzenmaterials erfolgte an mindestens 4 Pflanzen, jeweils in 2 Unterproben, mittels Keramikmessern in Anlehnung an VDI 3957 Bl. 3 (2000). Das Blattmaterial wurde in 100 µm-Aluminiumfolie verpackt und tiefgekühlt.

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 Vegetationsproben 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.

3. Ergebnisse mit Diskussion

3.1 Luftgüte-Rindenmonitoring

Die Ergebnisse der Analysen zu den Konzentrationen der beiden Herbizide Prosulfocarb und Pendimethalin in der Matrix Rinde gehen aus Tab. 5 hervor. Aufgeführt sind die Ergebnisse aus beiden Messkampagnen im Herbst 2014 sowie Frühjahr 2016. Pendimethalin als auch Prosulfocarb wurden sowohl in der Beprobung im Herbst 2014, als auch in der aktuellen im Frühjahr 2016 festgestellt.

Pendimethalin wurde in der Herbstbeprobung 2014 an allen Standorten und in Konzentrationen deutlich über 10 ng/g nachgewiesen. Die Belastung am Referenzstandort L62 mit der Pendimethalin-Applikation war mit einem Wert von 602 ng/g erwartungsgemäß am höchsten, der zweithöchste Wert betrug 190 ng/g am Standort L69 im Fläming. In der Messkampagne vom Frühjahr 2016 wurde Pendimethalin an 8 von 9 Standorten mit Werten über der Bestimmungsgrenze von 2 ng/g erfasst, obgleich der Wirkstoff vornehmlich im Herbst eingesetzt wird. Auch am Referenzstandort fernab von Applikation bei Temmen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin wurde Pendimethalin mit 22 ng/g deutlich nachgewiesen. Die Konzentrationen am Standort L91 im Anbauggebiet bei Prenzlau zeigte den höchsten Wert mit 178 ng/g; damit lag die Belastung dort deutlich niedriger als am Referenzstandort mit Applikation von 2014, etwa in vergleichbarer Höhe wie am Standort L69 aus 2014 in der Intensivlandwirtschaft Fläming. Lediglich die Probe L67 vom Standort im Naturpark Stechlin-Ruppiner Land wies keine nachweisbare Belastung mit Pendimethalin auf. Alle anderen Proben der 5 Regionen zeigten Belastungen mit Pendimethalin mit Werten im Bereich von 7 bis 50 ng/g an. Für keinen der Standorte ist eine Pendimethalin - Applikation im Frühjahr 2016 bis zum Ende der Probenahme am 6. Juni 2016 aus der Umgebung bekannt.

Prosulfocarb wurde in 2014 an allen Standorten, in 2016 an 6 von 9 Standorten nachgewiesen. Prosulfocarb wird vor allem im Frühjahr angewendet; als eine typische Anwendung gilt der Kartoffelanbau. Der Wert am Referenzstandort L91 mit bekannter Prosulfocarb-Applikation (12.5.16) wies einen erwartungsgemäß hohen Wert von 551 ng/g auf. Dies liegt in vergleichbarer Höhe zum Pendimethalin-Wert von 602 ng/g an dessen Applikationsort in 2014. Ein noch höherer Wert wurde am Standort L93 in der Umgebung einer Kartoffelkultur in der Region Neuruppiner Land mit 831 ng/g gemessen, so dass dies auf eine aktuelle Applikation hinweist. Am Referenzstandort L69 aus 2014 im Fläming, der im Herbst beprobt wurde, zeigte sich eine Konzentration von 119 ng/g, den Einfluss aus der bekannten, zurückliegenden Applikation im Frühling auf dem anliegenden Kartoffelfeld widerspiegelnd. Am Referenzstandort L92 bei Temmen - fernab von Applikationen - im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin wurde 2016 Prosulfocarb noch mit 3 ng/g nachgewiesen. Drei weitere Standorte

zeigten in 2016 Prosulfocarb-Werte zwischen 3 und 4 ng/g. An drei Standorten lagen die Werte unter der Bestimmungsgrenze (2 ng/g).

Tab. 5: Konzentration von Pendimethalin und Prosulfocarb in den Rindenproben

Ergebnisse aus beiden Messkampagnen Herbst 2014 und Frühjahr 2016

	Standorte	Pendimethalin ng/g TG	Prosulfocarb ng/g TG
Probenahme Herbst 2014	L61	35	4
	L62	602	5
	L63	25	3
	L64	110	8
	L65	74	6
	L66	109	3
	L67	30	6
	L68	17	4
	L69	190	119
Probenahme Frühjahr 2016	L91	178	551
	L92	7	3
	L93	22	831
	L94	47	<2
	L95	38	4
	L96	<2	3
	L97	32	3
	L98	50	<2
	L99	18	<2

Die abgeleiteten Werte zur Luftkonzentration für Pendimethalin und Prosulfocarb an den Standorten des Rindenmonitorings gehen aus Tab. 6 hervor.

Die Ergebnisse in Tab. 10 ergaben für die mittlere Luftkonzentrationen von **Pendimethalin** an den Standorten aus der Messkampagne 2014 einen Wertebereich von 3 bis 107 ng/m³ (mittlere Abschätzung). Für die Standorte aus 2016 wurde ein Wertebereich von unter der Bestimmungsgrenze von 0,4 ng/g bis 31,5 ng/g ermittelt. Der höchste Wert mit 107 ng/m³ war dem Referenzstandort L62 mit der Pendimethalin-Applikation aus 2014 zuzuordnen. Die beiden Referenzstandorte mit Prosulfocarb-Applikation aus 2014 (L69) im Fläming sowie aus 2016 (L91) bei Prenzlau in der Uckermark, die beide einen intensiv landwirtschaftlich genutzten Raum ohne direkte Pendimethalin-Anwendung auf benachbarten Feldern kennzeichnen, wurden Konzentrationswerte von 34 ng/m³ bzw. 31,5 ng/m³ erfasst. Für 2016 ergaben die Analysen eine Luftkonzentration am Referenzstandort fernab von Applikationen bei Temmen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin von 1,2 ng/m³. Lediglich am Standort L96 bei Heimland im Naturpark Stechlin-Ruppiner Land ist die Belastung unter der Bestimmungsgrenze von 0,4 ng/m³ einzuordnen. Die anderen Standorte lagen im Bereich von 3,2 bis 8,9 ng/m³.

Für **Prosulfocarb** schwanken die Werte zur ermittelten Luftkonzentration aus der Erhebung in 2016 zwischen Werten unter der Bestimmungsgrenze von 0,4 ng/m³ (3 Standorte) bis 147 ng/m³ am Standort L93 im Neuruppiner Land. Der Referenzstandort L91 mit bekannter Prosulfocarb Applikation bei Prenzlau, Uckermark, erreicht 97,5 ng/m³. Die Werte für die anderen Standorte schwanken zwischen 0,5 und 0,8 ng/m³.

Breit basierte Vergleichswerte zur Luftkonzentration sind lediglich aus Monitoring-Untersuchungen in Frankreich aus den Jahren 2001 und 2002 für Pendimethalin 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. Die hier ermittelten Konzentrationen gehen damit an einigen Standorten deutlich darüber hinaus.

Mit Pendimethalin und Prosulfocarb wurden >500 Wirkstoffe (s. Anhang 6.1) im Luftgüte Rindenmonitoring geprüft. Insgesamt wurden 36 PSM-Wirkstoffe in der Sammelmatrix der Rinden nachgewiesen, die Ergebnisse sind in Anhang 6.2 verzeichnet. Pendimethalin wurde an 17 von 18 Standorten (94 %) und Prosulfocarb an 15 Standorten (83 %) nachgewiesen. Die beiden Wirkstoffe führen damit die Liste der am häufigsten nachgewiesenen Pestizide in der Immissionsbelastung an. Zu den 11 häufigsten gehören desweiteren DDT-pp, DDT-op, DDE-pp, Metolachlor, Terbutylazin, Prothioconazol-desthio, Terbutylazin-desethyl, HCH-gamma und Metazachlor. Die anderen 25 Pestizide beschränkten sich in ihrem Vorkommen auf wenige bis einzelne Standorte.

Tab. 6: Luftkonzentration für Pendimethalin und Prosulfocarb an den Standorten des Luftgüte-Rindenmonitorings der beiden Messkampagnen 2014 und 2016

Basis: Integrierte mittlere Luftkonzentration C_{PAS} in ng/m^3 über Normzeitraum 3 Monate;
 Beziehung aus Kalibrierung 2014: $C_{PAS} [\text{ng}/\text{m}^3] = 0,1777 C_{Rinde} [\text{ng}/\text{m}^3]$
 Unsicherheit aus den Parallelmessungen und den 3 Kennlinien des PAS: Faktor 2

	Standorte	Pendimethalin ng/m^3	Prosulfocarb ng/m^3
Probenahme Herbst 2014	L61	6,2	0,7
	L62	106,6	0,9
	L63	4,4	0,5
	L64	19,5	1,4
	L65	13,1	1,1
	L66	19,3	0,5
	L67	5,3	1,1
	L68	3,0	0,7
	L69	33,6	21,1
Probenahme Frühjahr 2016	L91	31,5	97,5
	L92	1,2	0,5
	L93	3,9	147,0
	L94	8,4	<0,4
	L95	6,8	0,8
	L96	<0,4	0,6
	L97	5,7	0,6
	L98	8,9	<0,4
	L99	3,2	<0,4

3.2 Passivsammler

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).

Tab. 7: Pendimethalin und Prosulfocarb ($\mu\text{g}/\text{Probe}$) in den Sammelmedien der Passivsammler

Messzeitraum: 23.09.2014 bis 27.10.2014

Probennummer	Probenbezeichnung	Sammelmedium	Pendimethalin ($\mu\text{g}/\text{Probe}$)	Prosulfocarb ($\mu\text{g}/\text{Probe}$)
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 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.

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-Messtation für Tschechien) und Paris in einem ca. 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.

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

Messzeitraum: 23.09.2014 bis 27.10.2014

Probennummer	Probenbezeichnung	Sammelmedium	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)

3.3 Vegetations-Monitoring

Die Analyse der Grünkohl-, Körnerfenchel- und weiteren Vegetations-Proben erfolgten im Landeslabor Berlin-Brandenburg (LLBB). In Tab. 9 sind die Ergebnisse aus der Messkampagne 2014 aufgeführt. Die Ergebnisse aus 2016 liegen noch nicht vor und wären dann entsprechend zu ergänzen.

Tab. 9: Ergebnisse der Untersuchung von Körnerfenchelproben und Grünkohlproben

Beprobung Ende Oktober 2014

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	Wilmsdorf	0,06	0,02
GK42	Grünkohl	Altkünkendorf	0,02	0,02
GK43	Grünkohl	Steinhöfel	0,02	<0,02
GK44	Grünkohl	Brodowin	0,02	0,02
GK45	Braunkohl	Greiffenberg	0,03	0,03
GK46	Grünkohl	Lüdersdorf	0,06	0,06
GK47	Grünkohl	Schorfheide	<0,02	<0,02

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.

4. Bewertung der Immissionsbelastung

4.1 Pendimethalin und Prosulfocarb

Für eine Bewertung der Immissionsbelastung von Pendimethalin und Prosulfocarb wurden die Ergebnisse aus dem Luftgüte-Rindenmonitoring und den Passivsammlern in den Abb. 29 und Abb. 30 aus beiden Messkampagnen 2014 und 2016 zusammenfassend dargestellt und mit vorhandenen Literaturwerten verglichen.

Die linke senkrechte Achse gibt hierbei die ermittelte Luftkonzentration in ng/m^3 an, die rechte Achse die Konzentration der Rinde, die über den Skalierungsfaktor aus der Kalibrierung bezogen sind. Beide Achsen sind für eine vergleichende Darstellung der Werte, die mehrere Größenordnungen umspannen, in LOG10 angegeben.

Die ermittelte Immissions-Belastung von Pendimethalin über das Rindenmonitoring ist rot-gelb gekennzeichnet, die senkrechten Balken weisen die Bandbreite der Fehlerabschätzung aus der Kalibrierung aus. 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 1 bis $107 \text{ ng}/\text{m}^3$ hervor. Zum Vergleich sind die Hintergrundwerte der Pendimethalin-Luftkonzentration unbelasteter Bereiche der Nord- und Ostsee ($0,005$ bis $0,013 \text{ ng}/\text{m}^3$, 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 Kositice ($0,061 \text{ ng}/\text{m}^3$) an und die graue Linie einen Vergleichswert von Paris ($0,19 \text{ ng}/\text{m}^3$); beide Werte wurden über das gleichen Passivsammler-Verfahren im Rahmen des internationalen GAPS-Monitoring-Programmes gewonnen (Koblizkova et al. 2012). Der höchste Wert stammt aus der Herbstbeprobung 2014 mit $107 \text{ ng}/\text{g}$ vom Referenzstandort mit Pendimethalin-Applikation. Die Wertebereiche der Herbstbeprobung 2014 fallen im Mittel etwas höher aus als die der Frühjahr-Beprobung 2016. Dies spiegelt den vornehmlichen Einsatz von Pendimethalin im Herbst wider sowie „das Gedächtnis“ des Akkumulationsindikators Rinde.

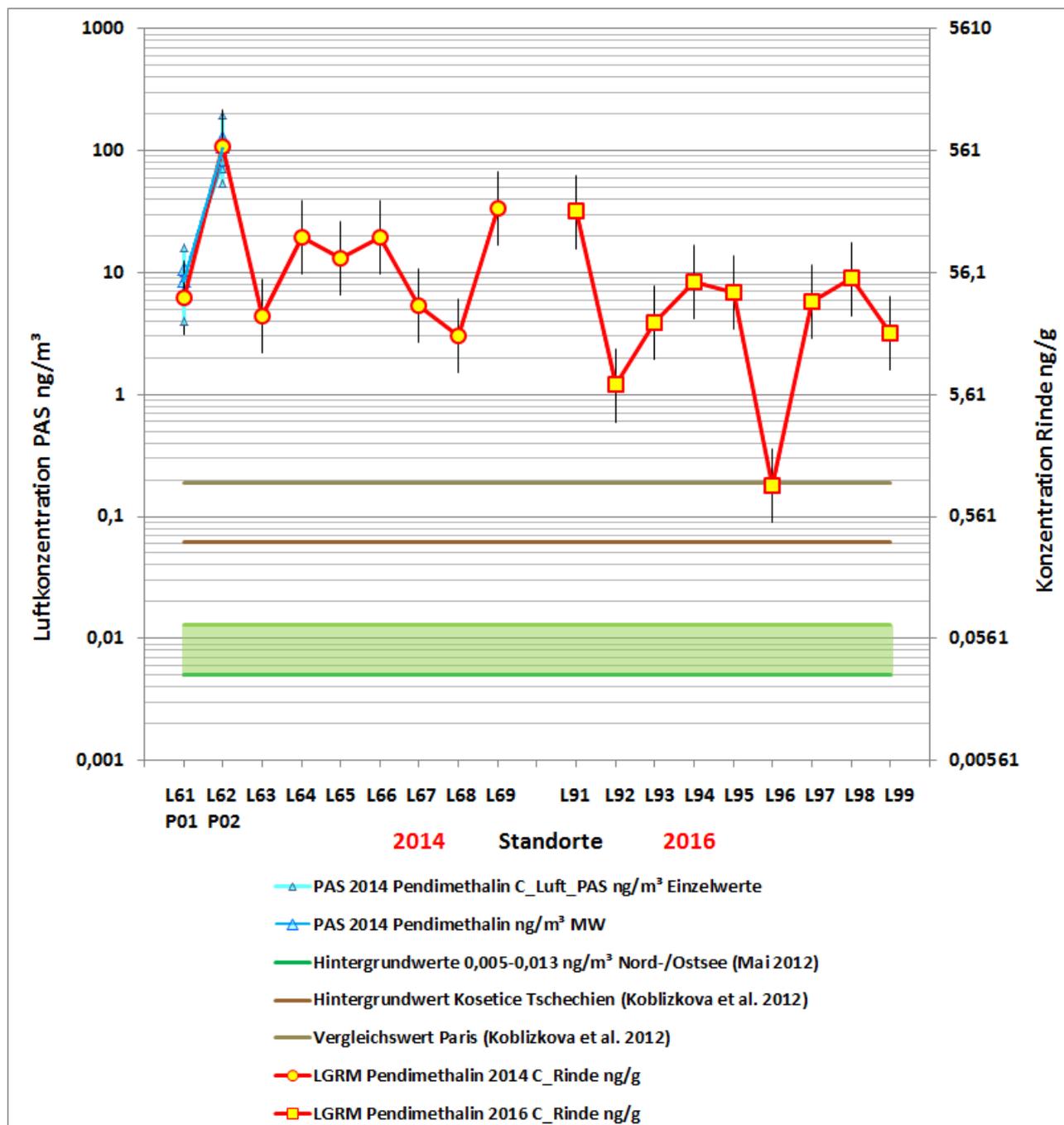


Abb. 29: Immissionsbelastung für Pendimethalin mit Vergleichswerten

Luftkonzentration $C_{\text{Luft,PAS}}$ in $\mu\text{g/m}^3$; Konzentration Rinde C_{Rinde} ng/g ; Normzeitraum 1 Monat
 Beziehung Passivsammler (PAS) – Rindenmonitoring (LGRM) für Pendimethalin über Standorte L61/P01 und L62/P02: $C_{\text{Luft,PAS}} [\text{ng/m}^3] = 0,1777 C_{\text{Rinde}} [\text{ng/g}]$

Fehlerabschätzung über PAS-Einzelwerte aus Parallelmessungen und den 3 Abschätzungen:
 Bandbreite ca. Faktor 2

Werte unter Bestimmungsgrenze von 2 ng/g TG wurden mit der halben BG berücksichtigt [1 Wert: L96]

In der folgenden Abb. 30 sind die Ergebnisse zu Prosulfocarb mit eingearbeitet. Die beiden höchsten Werte stammen aus der Frühjahr-Beprobung in 2016. Prosulfocarb wird vor allem im Frühjahr bis Sommer bei Kartoffelkulturen eingesetzt. Am Referenzstandort L91 mit bekannter Prosulfocarb-Applikation wurden 97,5 ng/g gemessen, so dass der noch höhere Wert von 147 ng/g am Standort L93 in der Umgebung einer Kartoffelkultur auf eine zeitnah stattgefundene Ausbringung hinweist.

Auch bei der Herbstbeprobung in 2014 wurde eine Immissions-Belastung von Prosulfocarb sowohl im Rindenmonitoring (rosa Quadrate) als auch bei den Passivsammlern (lila Quadrate) festgestellt, obwohl eine Applikation Monate vor der Expositionszeit der Passivsammlers im Herbst 2014 erfolgte.

Die Werte aus dem Rindenmonitoring für Prosulfocarb weisen am Referenzstandort im Fläming (L62) mit bekannter Prosulfocarb-Applikation aus dem Frühjahr noch einen Wert von 21 ng/m³ auf. Das ist immer noch ein Fünftel dessen, was bei aktueller Ausbringung von Prosulfocarb am Probenstandort L91 in 2016 gemessen wurde.

Prosulfocarb wurde in beiden Messkampagnen an insgesamt 15 der 18 Standorte aus den 6 Regionen nachgewiesen, selbst an Standorten fernab jeglicher Applikation wie dem Referenzstandort bei Temmen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin.

Der Nachweis von Prosulfocarb in den Passivsammlern im Herbst 2014 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 indiziert eine noch bestehende Luftverfrachtung. Eine Ursache kann in dem (bekannt) ungünstigen Dampfdruck des Wirkstoffes ($7,9 \times 10^{-4}$ Pa bei 20°C; UBA 2012) gesehen werden 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)“. Dies begünstigt eine Verflüchtigung des Stoffes auch nach der Applikation über längere Zeiträume und damit eine weiträumige Luftverfrachtung. 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 %.

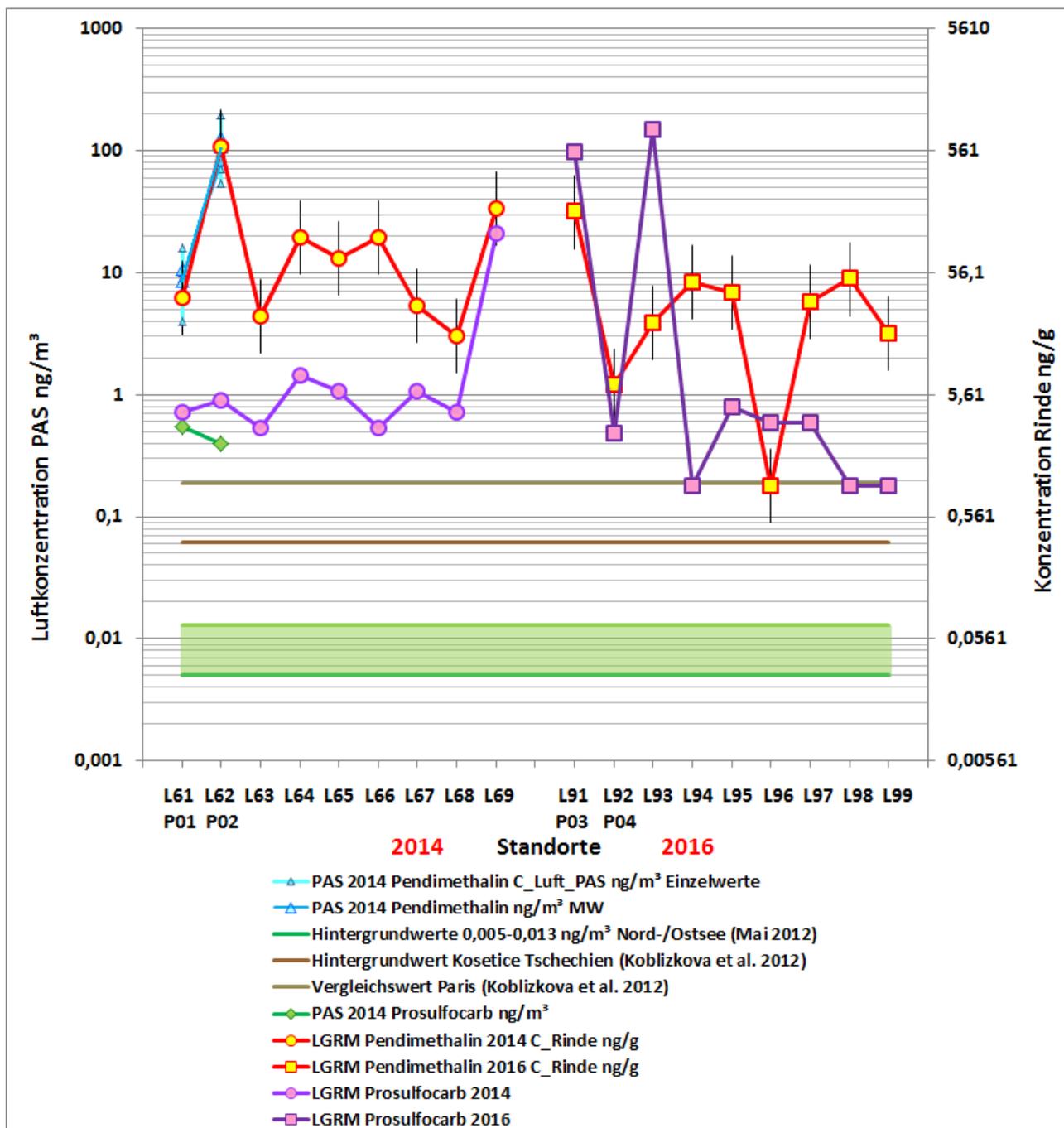


Abb. 30: Immissionsbelastung für Pendimethalin- und Prosulfocarb mit Vergleichswerten

Luftkonzentration C_{Luft_PAS} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Konzentration Rinde C_{Rinde} ng/g; Normzeitraum 1 Monat
 Beziehung Passivsammler - Rindenmonitoring basierend auf Pendimethalin

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

Fehlerabschätzung über PAS-Einzelwerte aus Parallelmessungen und den 3 Abschätzungen:
 Bandbreite ca. Faktor 2

Werte unter Bestimmungsgrenze von 2 ng/g TG wurden mit der halben BG berücksichtigt
 [Pendimethalin: L96; Prosulfocarb: L94, L98, L99]

4.2 Weitere Pestizide

Im Luftgüte-Rindenmonitoring der beiden Messkampagnen 2014 und 2016 wurden insgesamt 18 Standorte verteilt über 6 Regionen in Brandenburg berücksichtigt. Von den geprüften >500 Wirkstoffen (s. Anhang 6.1) wurden 36 PSM-Wirkstoffe in der Immissionsbelastung der Rinden nachgewiesen (s. Anhang 6.2). In Tab. 10 sind die 11 häufigsten Pestizide zusammengefasst. Pendimethalin wurde im Luftgüte-Rindenmonitoring an 17 von 18 Standorten (94 %) und Prosulfocarb an 15 Standorten (83 %) nachgewiesen. Die beiden Wirkstoffe führen damit die Liste der am häufigsten nachgewiesenen Pestizide in der Immissionsbelastung an.

Zu den 11 häufigsten mit einem Vorkommen an >20 % der Standorte sind folgende zu zählen: Pendimethalin, Prosulfocarb, DDT-pp, DDT-op, DDE-pp, Metolachlor, Terbutylazin, Prothioconazol-desthio, Terbutylazin-desethyl, HCH-gamma und Metazachlor.

Die anderen Pestizide beschränkten sich in ihrem Vorkommen auf wenige bis einzelne Standorte, so dass hier eher lokale Einflüsse anzunehmen sind.

Tab. 10: Die 11 häufigsten Pestizid-Wirkstoffe in der Immissionsbelastung des Rindenmonitorings 2014 und 2016

Ergebnisse aus beiden Messkampagnen Herbst 2014 und Frühjahr 2016 zusammengefasst.
Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe: 36; Anzahl der Standorte: 18

PSM-Wirkstoff	Nachweis an Standorten	Prozentuale Nachweishäufigkeit
	Gesamt: 18	in % der Standorte
Pendimethalin	17	94%
Prosulfocarb	15	83%
DDT-pp	14	78%
DDT-op	8	44%
DDE-pp	5	28%
Metolachlor	10	56%
Terbutylazin	8	44%
Prothioconazol-desthio	7	39%
Terbutylazin-desethyl	7	39%
HCH-gamma	6	33%
Metazachlor	4	22%

Die Spannbreite der Immissionsbelastung aus dem Rindenmonitoring für die 11 häufigsten der untersuchten Pestizide ist in Abb. 31 dargestellt. Aus der Grafik geht hervor, dass Pendi-methalin und Prosulfocarb nicht nur in der Häufigkeit vorkommender Belastung eine Spitzenstellung einnehmen, sondern auch in der Höhe der Belastung auffällig in Erscheinung treten. Beide Herbizide weisen Konzentrationsbereiche auf, die im Belastungsbereich bekannter POPs wie Lindan und DDT liegen bzw. übersteigen diese.

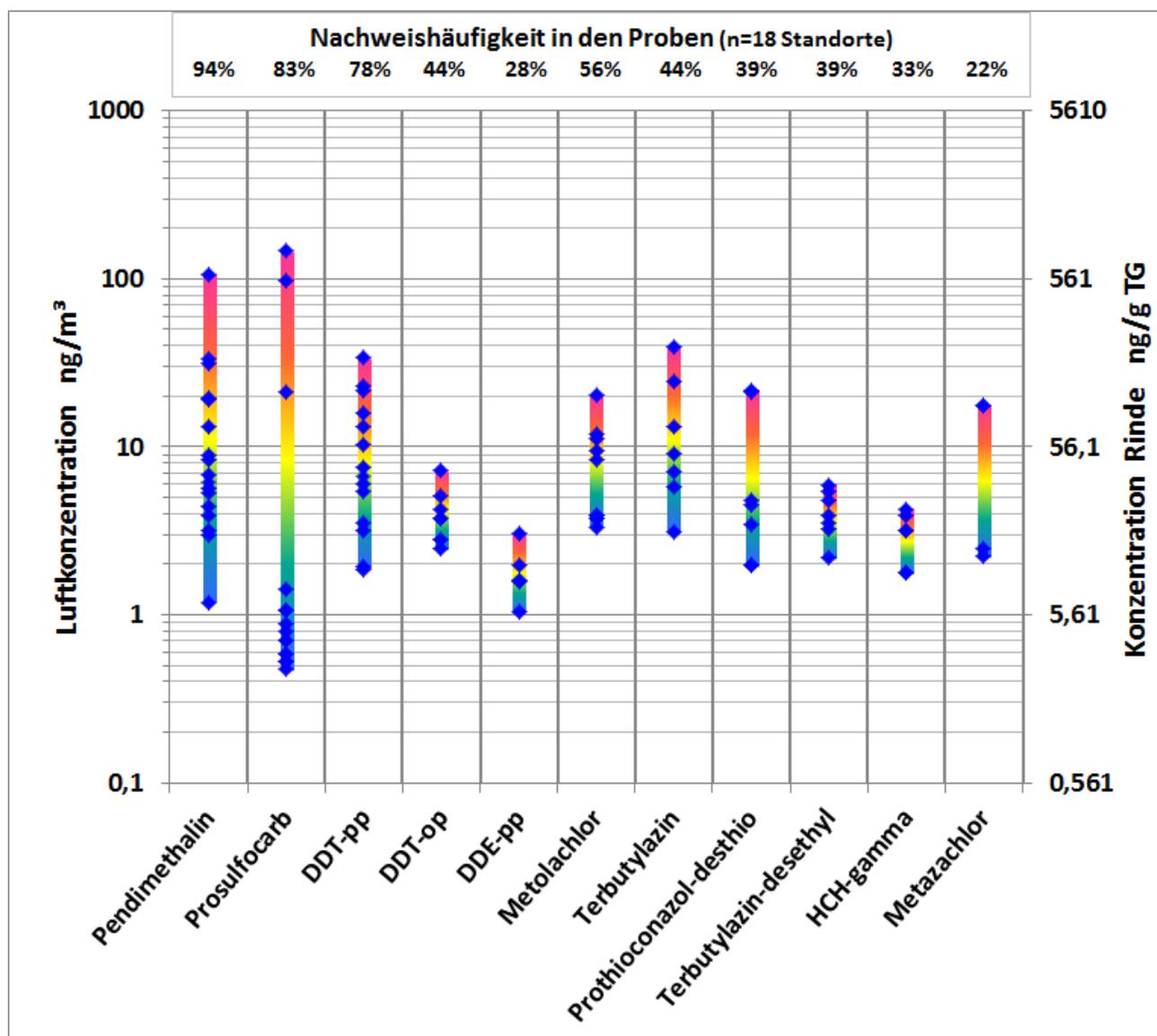


Abb. 31: Immissionsbelastung der 11 häufigsten Pestizid-Wirkstoffe über das Rindenmonitoring aus den Messungen in 2014 und 2016

18 Standortproben: 9 Herbst 2014, 9 Frühjahr 2016

Bezug: Integrierte Luftkonzentration $C_{\text{Luft}} [\text{ng}/\text{m}^3] = 0,1777 C_{\text{Rinde}} [\text{ng}/\text{g}]$

Herbizide 6, Insektizide 4, Fungizide 1

Nachweis insgesamt: 36 PSM Wirkstoffe

Die Ergebnisse aus dem Rindenmonitoring in 2016 bestätigen die Befunde aus 2014 sowie aus den berichteten Grünkohl- und anderen Lebensmittelproben der Vorjahre im Hinblick auf eine wesentliche und weiträumige Belastung für die beiden Herbizide Pendimethalin und Prosulfocarb.

4.3 Fazit

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 und Regionen hinausgehende Belastung aus.
- Belastungen wurden auch an Standorten fernab von Applikationskulturen, u.a. auch in Schutzgebieten festgestellt.
- Die Datenlage aus unseren und anderen Untersuchungen lassen den übereinstimmenden Schluss auf eine weiträumige und anhaltende Verbreitung von Pendimethalin und Prosulfocarb in der Umwelt zu.
- Hierbei werden Konzentrationen erreicht, die im Bereich problematisch eingestuftes POPs wie Lindan und DDT liegen.
- Die Ergebnisse des Screenings zur weiträumigen Verteilung zeigen in dem festgestellten Ausmaß ein auffällig hohes Niveau und sollten weiter abgesichert werden.
- Während für Pendimethalin das Problem der weiträumigen Verbreitung und der physikalischen Eigenschaften des niedrigen Dampfdruckes bereits seit einigen Jahren in Fachkreisen diskutiert wird, ist die Datenlage zu Prosulfocarb ungleich geringer. Hier gilt es, die gewonnenen Ergebnisse zum Anlass für weitergehende Untersuchungen zu nehmen.

Aus den Ergebnissen werden folgende Empfehlungen abgeleitet

- Pendimethalin einer vertieften Prüfung der 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 herstellerseits wirksam minimiert wird.
- Zeitnah die Verbreitung der PSM im überregionalen Massstab abzuklären. Hierzu zeigt sich eine Kombination von Rindenmonitoring mit technischen Sammlern als eine zuverlässige und effiziente Maßnahme.

5. Literaturverzeichnis

- 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, Kiekbusch 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
- European Environment Agency (EEA) (2001): Late lessons from early warnings: the precautionary principle. 1896-2000. EEA Report No 22/2001. Copenhagen, Denmark.
- European Environment Agency (EEA) (2013): Late lessons from early warnings II: science, precautions, innovations. EEA Report No 1/2013. Copenhagen, Denmark.
- 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 (2013): Herbizid-Kontamination der Umwelt – Pendimethalin, Prosulfocarb. Ökologiebüro Bremen, unveröff. Recherche im Auftrag des LUGV Brandenburg (Dr. Kretschmer), Eberswalde.
- 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, Schlechtriemen U (2015): Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. Fachbeiträge des LUGV, Heft 147, Ministerium f. Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft, Potsdam. http://www.lfu.brandenburg.de/media_fast/4055/fb_lugv-147.pdf
- Hofmann F, Schlechtriemen U (2015): Luftgüte-Rindenmonitoring für ein Screening der Immissionsbelastung Deponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven. Gutachten TIEM Integrierte Umweltüberwachung. Magistrat der Seestadt Bremerhaven, Umweltamt.
http://www.bauumwelt.bremen.de/sixcms/media.php/13/TIEM-Bericht-LGRM-DeponieGW-Brhvn_20150928.pdf
- 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 Entwicklungsvorhabens. Ecomed, Landsberg, 156 S. Gate to EHS;
http://www.oekologiebuero.de/Hofmann_etal_2001_Rindenmonitoring.pdf
- 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.
- 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/Pflanzenschutzmittelrueckstaende_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 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
Benthiavalicarb-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
Brompropylat	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
Chlorthal dimethyl (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- tol- uamid)	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-keton	GC	0,010
Ethoprophos	LC	0,010
Ethoxyquin	GC	0,010
Etofenprox	GC	0,010
Etoxazol	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
Haloxifop (Summe)		
Haloxifop	LC	0,010
Haloxifop-ethoxyethyl	LC	0,010
Haloxifop-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
Mepanipyrim	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
Methoxyfenozid	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
Naphtoxyessigsäure (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

Pyrifenox	LC	0,010
Pyrimethanil	LC	0,005
Pyriproxyfen	GC	0,010
Quinalphos	GC	0,010
Quinoxyfen	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
Tepraloxydim	LC	0,010
Terbacil	GC	0,010
Terbumeton	LC	0,010
Terbuthylazin-desethyl	LC	0,010
Terbutryn	GC	0,010
Terbuthylazin	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

6.2 Liste der nachgewiesenen Wirkstoffe in den Rindenproben mit Nachweishäufigkeit

Anordnung nach Häufigkeit der Nachweise

in ng/g TG	Messprogramm Herbst 2014									Messprogramm Frühjahr 2016									Nachweis an Standorten	Nachweishäufigkeit
	L61	L62	L63	L64	L65	L66	L67	L68	L69	L91	L92	L93	L94	L95	L96	L97	L98	L99	Gesamt: 18	in %
Pendimethalin	35	602	25	110	74	109	30	17	190	178	7	22	47	38		32	50	18	17	94%
Prosulfocarb	4	5	3	8	6	3	6	4	119	551	3	831		4	3	3			15	83%
DDT-pp	38	75	122	11	18	20	58	129	43	11		192	34	90			31		14	78%
DDT-op	16	24	29				16	21	14			41		21					8	44%
DDE-pp										6		17		11		9	9		5	28%
Metolachlor		22		22				114		19			21	21	53	63	67	47	10	56%
Terbutylazin										33		74	222	40	18	139	51		7	39%
Prothioconazol-desthio										122		120	27		11	26	19	11	7	39%
Terbutylazin-desethyl										20		22	31	27		33	18	12	7	39%
HCH-gamma		24	18				10	10				22		18					6	33%
Metazachlor						14	100	100									13		4	22%
Diflufenican														21			48	23	3	17%
Epoxiconazol										32		38		15					3	17%
Metribuzin										15		30						43	3	17%
Tebuconazol										61							15	12	3	17%
Boscalid												25				16			2	11%
Clomazon		18				10						9							3	17%

in ng/g TG	Messprogramm Herbst 2014									Messprogramm Frühjahr 2016									Nachweis an Standorten	Nachweis-häufigkeit
	L61	L62	L63	L64	L65	L66	L67	L68	L69	L91	L92	L93	L94	L95	L96	L97	L98	L99	Gesamt: 18	in %
2-Phenylphenol										11						12			2	11%
Carbendazim													47					19	2	11%
Chlorpyriphosethyl										6	7								2	11%
Chlorthalonil m PSA										28					11				2	11%
DCBP												6		13					2	11%
Dimethenamid																30		20	2	11%
Prochloraz M95										44		19							2	11%
Flufenacet		25				12													2	11%
Chlorfenson								33	29										2	11%
Cyprodinil																	17		1	6%
Ethofumesat										31									1	6%
Fenpropimorph														7					1	6%
Methoxychlor										12									1	6%
Prochloraz										11									1	6%
Prochloraz M96										25									1	6%
Propiconazol										13									1	6%
Propyzamid										185									1	6%
Terbacil																		20	1	6%
Metalaxyl									24										1	6%