

Quantifizierung von Pflanzenschutzmittel(PSM)-Einträgen in Oberflächengewässern in einem Kleineinzugsgebiet (Querne/Weida)

Nadine Tauchnitz^{1*}, Matthias Schrödter¹, Gerd Schmidt², Barbara Hauser^{1a},
Petra Kasimir³ und Ralph Meißner⁴

Zusammenfassung

Pflanzenschutzmittel(PSM)-Einträge aus diffusen Quellen können erheblich zur Belastung der Gewässer beitragen. Zudem sind die Eintragspfade sehr komplex und aufgrund verschiedener Eintragsquellen (sowohl Landwirtschaft als auch Siedlungen) zum Teil schwer zu identifizieren. Im vorliegenden Projekt wurden zeitlich hoch aufgelöste Untersuchungen zum Auftreten von PSM-Wirkstoffen in Oberflächengewässern und im Boden im Einzugsgebiet der Querne/Weida (Mitteldeutschland) durchgeführt und den Anwendungsdaten aus der Landwirtschaft gegenübergestellt.

In bisherigen Untersuchungen war eine Vielzahl an PSM-Wirkstoffen (maximal 35) in den untersuchten Gewässern nachweisbar. Die Konzentrationen lagen jedoch nur in wenigen Fällen über den rechtlich geforderten Umweltqualitätsnormen. Die am häufigsten gefundenen Wirkstoffe waren Glyphosat (und AMPA), Bentazon, Diflufenican, Tebuconazol und Terbutylazin. Im Bereich von Siedlungen wurden vermehrt Wirkstoffe erfasst, die ebenfalls als biozide Wirkstoffe Anwendung finden. Eine Übereinstimmung zwischen der Häufigkeit des PSM-Einsatzes in der Landwirtschaft und der Fundhäufigkeit der PSM-Wirkstoffe in den Gewässern war nicht in jedem Fall gegeben. Im Boden wurden maximal 20 Wirkstoffe in sehr niedrigen Konzentrationen erfasst. Dabei waren einzelne Wirkstoffe bis in Tiefen von mehr als 4,50 m ohne zeitliche Nähe zur Applikation nachweisbar und deuten auf lange Verweilzeiten im Boden hin.

Schlagwörter: Biozide, Gewässerqualität, Umweltqualitätsnorm, Wasserrahmenrichtlinie

Summary

The input of pesticides from diffuse sources may affect the quality of surface waters substantially. In addition, input pathways are known to be very complex and due to different uses of the active substances, both for agricultural purposes as well as biocides in urban areas, the identification is often challenging.

Aim of the present study was a temporal highly resolved monitoring of relevant pesticides in surface waters and soils in the Querne/Weida river catchment (Central Germany). The detected substances were compared to pesticide application data from the farmers.

Numerous different pesticide substances (up to a maximum of 35) were detected in the studied surface waters, whereas the concentrations exceeded only in a few cases the environmental quality standards of the EU. Most of the substances in the surface water samples could be identified as glyphosate (and the metabolite), bentazone, diflufenican, tebuconazole and terbuthylazine. Substances which may use also as biocides were detected frequently close to urban areas. However, the frequency of detected substances in surface waters did not always correspond to the frequency of application for agricultural purposes. In the soil samples up to a maximum of 20 pesticide substances could be found, although the concentrations were quite low. Several substances were detected in depths of up to 4.5 m independently from the application time, therefore indicating long residence times of such substances in soils.

Keywords: biocides, water quality, environmental quality standards, EU-Water Framework Directive

Einleitung

Einträge von PSM-Wirkstoffen in die Gewässer können mit hoher zeitlicher Dynamik und Komplexität durch vielfältige Eintragspfade aus punktuellen (z.B. Hofabläufe, Kläranlagen) sowie diffusen Quellen (z.B. Dränagen, Oberflächenabfluss, Drift, atmosphärische Deposition, Regenwasserkanäle) erfolgen (Götz et al. 2010, Wittmer et al. 2014) und zu einer Belastung der Gewässer führen. Im Zuge

der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurden für Oberflächengewässer Umweltqualitätsnormen (UQN) für bestimmte PSM-Wirkstoffe festgelegt, die für die Erreichung eines guten chemischen Zustandes einzuhalten sind (OGewV 2016). Da zahlreiche Wirkstoffe sowohl in Pflanzenschutzmitteln als auch in Bioziden eingesetzt werden, ist eine Differenzierung zwischen Biozideinträgen aus Siedlungsbereichen und Einträgen aus der Landwirtschaft oft problematisch. Hierdurch wird eine gezielte Umset-

¹ Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Strenzfelder Allee 22, D-06406 BERNBURG

^{1a} Schiepziger Straße 29, D-06120 HALLE (Saale)

² Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 HALLE (Saale)

³ Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), Willi-Brundert-Straße 05, D-06132 HALLE (Saale)

⁴ Helmholtz Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department für Bodenphysik, Falkenberg 55, D-39615 ALTMÄRKISCHE WISCHE/FALKENBERG

* Ansprechpartner: Dr. Nadine Tauchnitz, nadine.tauchnitz@llg.mule.sachsen-anhalt.de



zung von Reduzierungsmaßnahmen für PSM-Einträge in die Gewässer erschwert. Mehrere Untersuchungen in Schweizer Gewässern zeigten, dass Siedlungen ebenfalls Quellen für PSM-Einträge in die Gewässer darstellen können (Burkhardt et al. 2009, Wittmer et al. 2010) und im künftigen Gewässermonitoring verstärkt berücksichtigt werden sollten (Rüdel und Knopf 2012). In Deutschland gibt es mehr als 30.000 zugelassene Biozidprodukte (BAuA 2016). Daten über Biozid-Anwendungsmengen sowie Emissionsraten von Biozidwirkstoffen liegen jedoch bisher nur in geringem Umfang vor (Rüdel und Knopf 2012). Mit dem Ziel, Eintragspfade für PSM-Einträge zu identifizieren und gezielt Reduzierungsmaßnahmen abzuleiten, wurde im vorliegenden Projekt ein intensives PSM-Monitoring in einem abgegrenzten Kleinzugsgebiet (Querne/Weida) durchgeführt. Dabei wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Untersuchung von PSM-Wirkstoffen in ausgewählten Oberflächengewässern anhand von Stichproben und Sammelpflanzen (Wochenmischproben)
- Nachweis von PSM-Wirkstoffen im Boden am Gewässerrand erosionsgefährdeter Bereiche
- Anlage und Untersuchung von Tiefenprofilen (bis 5 m) auf PSM-Wirkstoffe im Boden landwirtschaftlich genutzter Flächen sowie
- Erhebung repräsentativer Anwendungsdaten zum PSM-Einsatz in der Landwirtschaft und deren Gegenüberstellung zu Wirkstoff-Funden.

Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im südöstlichen Harzvorland (Querfurter Platte) und umfasst eine Fläche von ca. 15.000 ha. Ein hoher Anteil der Fläche (ca. 14.500 ha) wird landwirtschaftlich genutzt. Hauptkulturarten sind Winterweizen (36 %), Silomais (16 %), Wintergerste und Winterraps (13 %), Zuckerrüben (6 %), Körnermais (4 %) und andere (<2 %). Im Gebiet befinden sich mehrere Siedlungen, wie z.B. Querfurt, Farnstädt und Gatterstädt (*Abbildung 1*).

Das Klima im Einzugsgebiet ist warm-gemäßigt und niederschlagsarm (mitteldeutsches Trockengebiet) mit langjährigen (1981-2010) jährlichen Niederschlagsmengen von 550 mm und langjährigen Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,0 °C (DWD-Station, Lodersleben). Im Untersuchungsgebiet sind vorwiegend Böden aus Löß und Lößlehm mit den vorherrschenden Bodentypen Normtschernosem und Braunerde-Tschernosem verbreitet.

Für die Untersuchung von PSM-Wirkstoffen in den Gewässern wurden insgesamt 9 Messstellen an ausgewählten Oberflächengewässerabschnitten im Einzugsgebiet ausgewählt, an denen einmal monatlich stichprobenartig Schöpfproben entnommen wurden (*Abbildung 1*). Zusätzlich wurden mit Hilfe automatischer Sammler an zwei Stellen (Kriebuschbach, Weida-Gebietsauslass) Wochenmischproben entnommen. Die Wasserproben wurden auf insgesamt 52 PSM-Wirkstoffe mittels GC-MS (Gas Chromatography-Massenspektrometer), LC-MS (Liquid Chromatography-

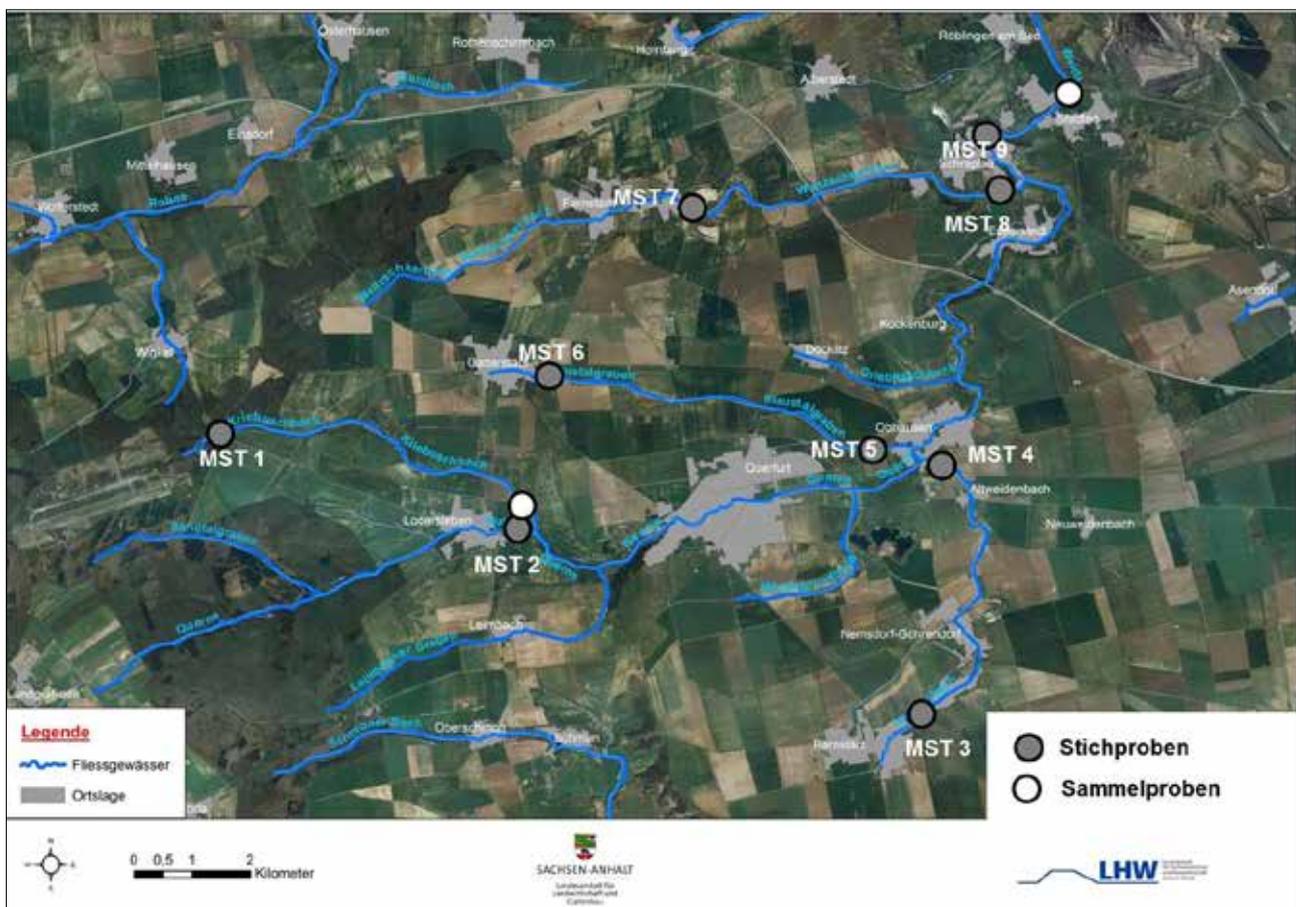


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet mit Lage der Messstellen (MST).

Massenspektrometer) bzw. HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) nach DIN 38407-35, DIN 38407-6, DIN 38407 F22 mod. und EN 12918 mod. analysiert.

Für die Untersuchung von PSM-Wirkstoffen im Boden wurden insgesamt an 28 Stellen am Gewässerrand erosionsgefährdeter Bereiche Bodenproben entnommen und analog zum Wasser auf 52 PSM-Wirkstoffe mittels GC-MS und LC-MS analysiert. Zusätzlich wurden auf 5 ausgewählten landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen mittels Linerkernbohrungen bis in max. 5 m Tiefe Proben entnommen und auf 52 PSM-Wirkstoffe untersucht. Anwendungsdaten von PSM ausgewählter Betriebe wurden anhand der durch die Landwirte zur Verfügung gestellten Schlagkarteien ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

PSM-Wirkstoff-Funde in Oberflächengewässern

Die stichprobenartigen (monatlichen) Untersuchungen der Schöpfproben ausgewählter Oberflächengewässer zeigten

zahlreiche Wirkstoff-Funde im Untersuchungszeitraum (Tabelle 1).

An der Mehrzahl der Messstellen wurde an nahezu allen Probenahmeterminen mindestens ein Positivbefund oberhalb der Bestimmungsgrenze erfasst. Insgesamt waren 6 bis 35 verschiedene Wirkstoffe in den Oberflächenwasserproben nachweisbar. Eine Zunahme der Anzahl der Wirkstoff-Funde und des nachgewiesenen Wirkstoff-Spektrums innerhalb des Einzugsgebietes von der Messstelle 1 (ohne Siedlungseinfluss) bis hin zum Gebietsauslass (Messstelle 9, deutlicher Siedlungseinfluss) war feststellbar. In den analysierten Wochenmischproben am Kriebuschbach wurden in etwa 69 % der Fälle, d.h. in 42 von insgesamt 61 untersuchten Proben keine Positivbefunde ermittelt. Maximal waren 3 verschiedene PSM-Wirkstoffe pro Messtermin und insgesamt 11 Wirkstoffe im gesamten Untersuchungszeitraum nachweisbar (Abbildung 2a). Eine Überschreitung der rechtlich geforderten UQN wurde nicht registriert. Im Vergleich dazu zeigten die untersuchten Wochenmischproben am Gebietsauslass (Pegel Stedten) an der Weida deutlich mehr PSM-Wirkstoff-Funde und eine höhere Anzahl nachgewiesener Wirkstoffe (Abbildung 2b).

Tabelle 1: PSM-Wirkstoff-Funde im Oberflächengewässer (Zeitraum: 22.07.2015 bis 23.06.2016).

MST-Nr.	Gewässer	Nutzung	Anzahl Messungen mit Positivbefunden	Anzahl nachgewiesene Wirkstoffe	JD>UQN
1	Kriebuschbach	Wald, Landwirtschaft	3	6	1
2	Querne	Landwirtschaft, Siedlung	12	9	0
3	Weidenbach	Landwirtschaft, Siedlung	12	18	0
4	Weidenbach	Landwirtschaft, Siedlung	12	21	2
5	Klaustalgraben	Landwirtschaft, Siedlung	12	25	1
6	Klaustalgraben	Siedlung, Landwirtschaft	12	35	3
7	Weitzschker Bach	Landwirtschaft, Siedlung	11	17	0
8	Weitzschker Bach	Landwirtschaft, Siedlung	7	16	1
9	Weida	Siedlung, Landwirtschaft	11	23	1

MST: Messstelle, JD: Jahresdurchschnitt, UQN: Umweltqualitätsnorm

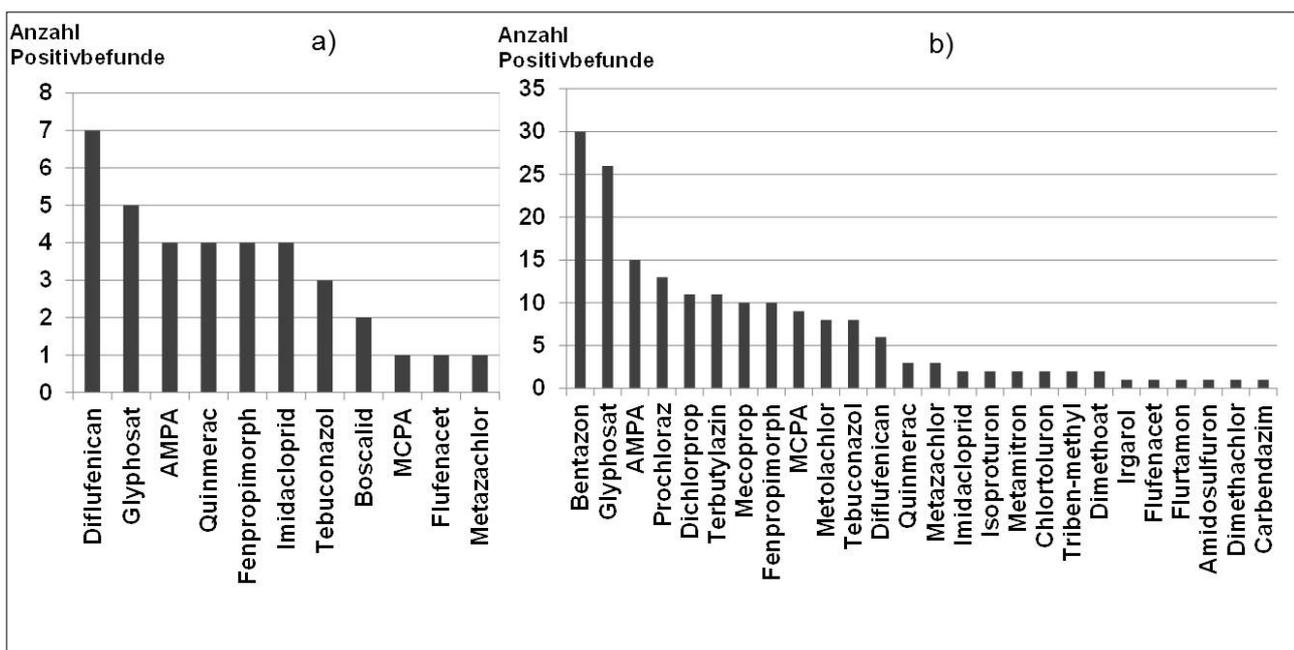


Abbildung 2: Positivbefunde in den Wochenmischproben a) am Kriebuschbach (Zeitraum 28.04.2015 bis 23.10.2016) und b) am Pegel Stedten (Weida) (Zeitraum 26.10.2015 bis 23.10.2016).

Tabelle 2: Häufigkeit der PSM-Wirkstoff-Funde in den Oberflächenwasserproben.

Wirkstoffe	Funde (Anzahl)	Ranking nach		Gus
		Fund- häufigkeit	Einsatz- häufigkeit ¹	
Glyphosat	106	1	1	-0,25
Bentazon	100	2	36	3,41
AMPA	86	3	1	
Diflufenican	50	4	18	1,51
Tebuconazol	44	5	7	2,85
Terbutylazin	40	6	6	3,07
Fenpropimorph	33	7	12	0,46
MCPA	31	8	16	2,94
S-Metolachlor	26	9	9	1,91
Mecocrop	25	10	139	2,29

¹Heyer, W., 2015, GUS: Groundwater Ubiquity Score

Hier waren nur in 3 von insgesamt 52 Wochenmischproben keine Positivbefunde feststellbar. Maximal wurden 8 verschiedene Wirkstoffe pro Messtermin und insgesamt 26 Wirkstoffe erfasst. Die Wirkstoff-Funde an der Messstelle am Kriebuschbach, welche keinen Siedlungseinfluss zeigt und durch eine ausschließlich landwirtschaftliche Nutzung im Umfeld charakterisiert ist, traten nur saisonal (potentielle Applikationszeiten) auf. Diese Beobachtung wird auch anhand anderer Studien landwirtschaftlich genutzter Einzugsgebiete bestätigt (Steinmann und Niederhauser 2008). Demgegenüber waren am Pegel Stedten mehrere Wirkstoffe konstant über längere Zeiträume ohne ausgeprägte saisonale Dynamik nachweisbar. Ein eher konstantes Auftreten von Bioziden im Abfluss aus Siedlungsbereichen wurde auch in anderen Untersuchungen beobachtet (Wittmer und Burkhardt 2009). Zudem wurden an beiden Messstellen verschiedene PSM-Wirkstoffe nachgewiesen. An der Messstelle am Kriebuschbach wurden Wirkstoffe, die größtenteils auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden, erfasst. Demgegenüber erfolgte am Pegel Stedten (Weida) der Nachweis mehrerer PSM-Wirkstoffe, deren Einsatz auch als Biozide in Siedlungen bekannt ist, wie beispielsweise Mecocrop (Bitumenbahnen), Isoproturon (Wandfarben), Irgarol (Fassaden), Carbendazim (Fassadenbeschichtungen) u.a. (UBA 2016) und die durch Auswaschungen von Fassadenflächen bzw. Dächern über Regenwasserkanäle in die Gewässer gelangen können (Burkhardt et al. 2009). Da gerade im ländlichen Raum viele Ortschaften noch über eine dezentrale Abwasserentsorgung verfügen, sind auch hier Belastungen der Gewässer über diesen Pfad nicht auszuschließen (Burkhardt 2012).

Die in allen Oberflächenwasserproben im Einzugsgebiet am häufigsten gefundenen Wirkstoffe waren Glyphosat, Bentazon, AMPA, Diflufenican, Tebuconazol und Terbutylazin (Tabelle 2). Hierunter sind auch Wirkstoffe, die auf der Grundlage ihres Auswaschungsgefährdungs-Indexes (GUS: Groundwater Ubiquity Score) als auswaschungsgefährdet eingestuft werden. Eine Ausnahme bildet Glyphosat, das eine geringe Auswaschungsgefährdung aufweist. Die hohe Fundhäufigkeit ist vermutlich auf den häufigen Einsatz sowohl in der Landwirtschaft als auch in Siedlungsbereichen bei diesem Wirkstoff zurückzuführen. Eine Übereinstimmung zwischen der Häufigkeit des Einsatzes der Wirkstoffe in der Landwirtschaft und der Fundhäufigkeit ist nicht bei allen Wirkstoffen gegeben, wie beispielsweise bei Mecocrop (Biozid). Hier deutet sich ebenfalls der Einfluss der Siedlungsbereiche im Einzugsgebiet an.

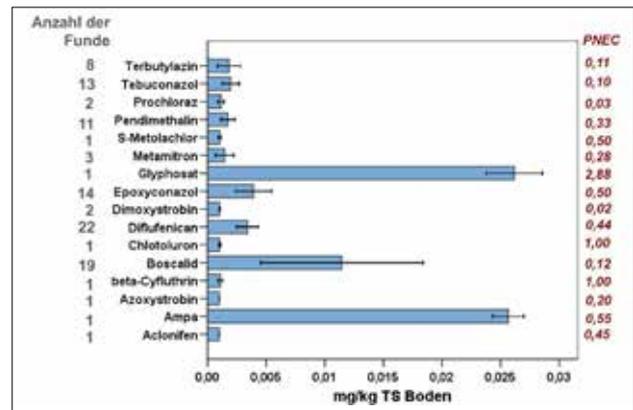


Abbildung 3: PSM-Wirkstoff-Funde in Bodenproben am Gewässerrand (n=28).

crop (Biozid). Hier deutet sich ebenfalls der Einfluss der Siedlungsbereiche im Einzugsgebiet an.

PSM-Wirkstoff-Funde im Boden

Die Bodenuntersuchungen am Gewässerrand erosionsgefährdeter Bereiche ergaben den Nachweis von insgesamt 16 Wirkstoffen (Abbildung 3). Am häufigsten wurde der Wirkstoff Diflufenican nachgewiesen, der anhand der Halbwertszeit von > 1 Jahr auch als ein relativ persistenter Stoff einzuschätzen ist (Pesticides Properties Database 2016). Die Konzentrationen waren deutlich unter den Konzentrationen, die eine schädigende Wirkung auf Bodenorganismen (Predicted No Effect Concentration: PNEC) erwarten lassen und zeigen daher im Vergleich zu den Oberflächenwasserproben eine geringere Belastung an.

Die Ergebnisse der Tiefenbohrungen zeigten Funde von PSM-Wirkstoffen hauptsächlich im Oberboden (0-30 cm) (Tabelle 3). Hier wurden 20 verschiedene Wirkstoffe in sehr geringen Konzentrationen (von 0,002 mg/kg –Metamitron bis 0,17 mg/kg- AMPA) nachgewiesen. Einige Wirkstoffe, wie Metolachlor, Pendimethalin, Glyphosat sowie MCPA wurden auch im Unterboden gefunden. Erstaunlich war, dass der Wirkstoff MCPA über das gesamte Tiefenprofil bis in eine Tiefe von 4,80 m nachweisbar war. Die Wirkstoff-Funde zeigten in vielen Fällen keine zeitliche Nähe zum Applikationszeitpunkt der PSM auf den Flächen (Tabelle 4). Einige Wirkstoffe (z.B. Pendimethalin, MCPA, Glyphosat, Prochloraz) wurden im gesamten Beobachtungszeitraum nicht angewandt. Hieraus lassen sich zum Teil sehr lange Verweilzeiten ableiten, die nicht unmittelbar mit den für die Wirkstoffe angegebenen Halbwertszeiten im Einklang stehen (Bsp. Glyphosat, Tabelle 4). Der Wirkstoff Prochloraz wird auch in Beizmitteln verwendet (BVL 2016) und kann so mit dem Saatgut auf die Flächen gelangt sein. Der Wirkstoff Pendimethalin ist bekannt für sein hohes Abdriftpotential bei der Ausbringung (BVL 2016). Daher wurden Einträge des Wirkstoffes über Ferntransporte bereits oft in den Medien diskutiert.

Schlussfolgerungen

Vorliegende Untersuchungen zeigten, dass diffuse Einträge von PSM-Wirkstoffen neben der landwirtschaftlichen Anwendung ebenso auch aus Siedlungsbereichen stammen können. Diese Einträge sollten bei künftigen Gewässerü-

Tabelle 3: Nachgewiesene PSM-Wirkstoffe in den Tiefenprofilen (n=5).

	Nachweis in Tiefen [cm]															
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480
AMPA	x															
Azoxystrobin	x															
Boscalid	x															
Diflufenican	x	x														
Dimoxystrobin	x															
Epoxiconazol	x	x														
Glyphosat	x						x									
Imidacloprid	x															
lambda-Cyhalothrin	x															
Metamitron	x															
Metazachlor	x															
Metolachlor	x	x	x	x												
MCPA	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pendimethalin	x	x	x									x				
Prochloraz	x															
Propiconazol	x															
Pyraclostrobin	x															
Quinmerac	x															
Tebuconazol	x	x														
Terbutylazin	x															

Tabelle 4: Applikationszeiten der PSM-Wirkstoffe und Halbwertszeiten (DT50) der Wirkstoffe.

Wirkstoffe	DT50 ¹	Fläche				
		1	2	3	4	5
		Applikationsjahr				
AMPA	135-218	2011	k.A.	2015	2006	2015
Azoxystrobin	121-262	-	k.A.	2013	k.A.	2013
Boscalid	28-208	-	2013	-	-	-
Diflufenican	224-621	2011	2015	2003	2015	-
Dimoxystrobin	2-39	-	2013	-	-	2013
Epoxiconazol	44-124	2015	2015	-	2015	-
Glyphosat	6-41	2011	k.A.	2015	2006	2015
Imidacloprid	174	-	k.A.	-	-	-
lambda-Cyhalothrin	27	-	2007	-	-	-
Metamitron	7-22	-	-	-	2011	-
Metazachlor	3-21	-	2007	-	-	-
Metolachlor	11-31	2013	-	2006	2014	2006
MCPA	25	-	2014	k.A.	k.A.	k.A.
Pendimethalin	40-187	k.A.	k.A.	k.A.	-	k.A.
Prochloraz	2-73	2014	k.A.	k.A.	k.A.	-
Propiconazol	113-120	2015	-	-	-	-
Pyraclostrobin	32	2015	-	-	-	-
Quinmerac	5-14	-	k.A.	-	-	-
Tebuconazol	26-92	2015	2013	2015	2012	2014
Terbutylazin	10-36	2013	-	2006	2014	-

¹ Pesticide Properties Database, University of Hertfordshire; k.A. keine Anwendung im Beobachtungszeitraum (10-20 Jahre)

berwachungsprogrammen stärker Berücksichtigung finden. Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung von PSM-Wirkstoffen wird anhand der Ergebnisse deutlich, dass vor allem Wirkstoffe, die sehr häufig und in hohen Mengen angewandt werden auch am häufigsten in den Gewässern nachweisbar waren. Zudem zeigte sich, dass einige Wirkstoffe über sehr lange Verweilzeiten im Boden verfügen. Minderungsstrategien sollten daher bei einer Sensibilisierung und Information der Landwirte ansetzen, um gemeinsame praktikable Lösungsvorschläge zu erarbeiten (wie bspw. Vermeidung eines einseitigen Einsatzes bestimmter PSM-Wirkstoffe, z.B. Glyphosat, Alternativen zum Einsatz sehr

persistenter Wirkstoffe, Anlage von Gewässerrandstreifen, Maßnahmen zur Reduzierung des PSM-Aufwandes, Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz, Erosionsschutz, u.a.). Zur Begleitung von Reduzierungsmaßnahmen sind eine Fortsetzung des Monitorings und eine weitere Erhebung von Anwendungsdaten anzustreben.

Literatur

- BAUA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) (2016) www.baua.de/de/...Biozidverfahren/Biozide/Zulassungsstelle-Biozide.html.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2016) Zugelassene Pflanzenschutzmittel. http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/05_Verzeichnis/psm_ZugelPSM_Verzeichnis_node.html.
- Burkhardt M., Junghans M., Zuleeg S., Schoknecht U., Lamani X, Bester K., Vonbank R., Simmler H., Boller M. (2009) Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer. Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung 21, 36-47.
- Burkhardt M. (2012) Auswaschung von Baumaterialien als Quelle von Mikroverunreinigungen in Gewässern. http://www.bafg.de/DE/05_Wissen/02_Veranst/2012/2012_06_19_burkhardt.pdf?__blob=publicationFile.
- Götz C., Kase R., Hollender J. (2010) Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser, Eawag, Dübendorf.
- Heyer W. (2015) PSM-Wirkstofffranking Sachsen-Anhalt 2015. Studie im Auftrag des LHW. www.lhw.sachsen-anhalt.de/.../LHW/...PDF/.../PSM-Wirkstofffranking-2015_Bericht.pdf.
- OGEWV (2016) Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung), 20.06.2016.
- Pesticide Properties DataBase (PPDB), University of Hertfordshire (2016) <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. (01.09.2016).

- Rüdel H., Knopf H. (2012) Vorbereitung eines Monitoring-Konzepts für Biozide in der Umwelt. Bericht zu FKZ36004036, Umweltbundesamt IV 1.2.-81043/22.
- Steinmann P., Niederhauser P. (2008) Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach Würenlos und Glatt vor Rhein im Jahr 2007. Bericht, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (A-WEL), Zürich. <http://www.gewaesserqualitaet.zh.ch/internet/bd/awel/gq/gq/de/doku/dokumente.html> (15. 12. 2008).
- UBA (Umweltbundesamt) (2016) Biozidportal: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/biozide/biozidprodukte>.
- Wittmer I.K., Burkhardt M. (2009) Dynamik von Biozid und Pestizideinträgen. Eawag News 67d, Juni 2009. www.eawag.ch/medien/publ/eanews/news_67/en67d_wittmer.pdf.
- Wittmer I.K., Bader H.P., Scheidegger R., Singer H., Lück A., Hanke I., Carlsson C., Stamm C. (2010) Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. *Water Research* 44, 2850-2862.
- Wittmer I., Junghans M., Singer H., Stamm C. (2014) Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf.