

Lysimeter- und Parzellenversuche zur Verlagerung von Pflanzenschutzmittel(PSM)-Wirkstoffen bei konventioneller Bewirtschaftung und Erarbeitung von PSM-Reduktionsstrategien

NADINE TAUCHNITZ¹, HOLGER RUPP², FLORIAN KURZIUS³, CHRISTIAN WOLFF¹, ELKE BERGMANN¹, RAINER HAUPT⁴, MATTHIAS SCHRÖDTER¹, RALPH MEISSNER²

¹ Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg, e-mail: nadine.tauchnitz@llg.mule.sachsen-anhalt.de

² Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department für Bodenphysik, Falkenberg 55, D-39615 Altmärkische Wische/ Falkenberg (Germany)

³ BGD Ecosax GmbH, Tiergartenstrasse 48, 01219 Dresden

⁴ Amt für Landwirtschaft, Flurneuordnung und Forsten Altmark, Akazienweg 25, D-39576 Stendal

Zusammenfassung

Einträge von Pflanzenschutzmittel(PSM)-Wirkstoffen können erheblich zur Belastung von Grundwasser und Oberflächengewässern beitragen. Die Eintragsquellen sind oft schwer identifizierbar, da PSM-Wirkstoffe sowohl aus der Landwirtschaft als auch aus Siedlungen stammen können (=duale Wirkstoffe).

Schwerpunkt des vorliegenden Projektes ist die Untersuchung der Verlagerung von PSM-Wirkstoffen mit dem Sickerwasser bei konventioneller PSM-Anwendung und die Erarbeitung von Strategien zur Minderung des PSM-Einsatzes auf einem lehmigen Sandboden in der Altmark (Nordostdeutsches Tiefland) anhand von Lysimeter- und Parzellenversuchen. In den Versuchen wurden drei Versuchsvarianten (1) ohne PSM, 2) reduzierter und 3) konventioneller PSM-Einsatz) auf relevante Parameter untersucht. Parallel wurde ein PSM-Abbau-Versuch im Labor durchgeführt, um Aussagen zur Sorption und Persistenz der Wirkstoffe zu erhalten.

Im bisherigen Versuchszeitraum wurde bei allen Versuchsvarianten keine Verlagerung der applizierten PSM-Wirkstoffe ins Sickerwasser nachgewiesen. Der PSM-Abbauversuch zeigte bei fast allen berücksichtigten Wirkstoffen eine hohe Sorption an die Bodenmatrix und keinen nennenswerten Abbau der Wirkstoffe nach 71 Versuchstagen.

Schlagwörter: Biozid, EU-Wasserrahmenrichtlinie, Gewässerqualität, Sorption, Umweltqualitätsnormen

Abstract

The input of pesticides from diffuse sources may affect the quality of ground water and 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 the quantification of pesticide leaching by seepage water at conventional pesticide application and the preparation of reduction measures on a loamy sandy soil in northern Germany (northeastern lowland) by lysimeter and field trials. Trials with three treatments (1) without pesticide application, 2) reduced pesticide application and 3) conventional pesticide application) were performed. Above this a laboratory study of pesticide degradation

was performed to gain information about sorption and persistence of the considered pesticide substances.

The previous results showed no leaching of the applied pesticides in the lysimeter trial. The laboratory study showed a high sorption on soil matrix at most of the studied pesticide substances. After 71 study days no significant degradation of pesticides was observed.

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

1 Einleitung

Einträge von PSM-Wirkstoffen in die Gewässer können durch vielfältige Eintragspfade aus punktuellen (z.B. Hofabläufe, Kläranlagen) sowie diffusen Quellen (z.B. Dränagen, Oberflächenabfluss, Drift, atmosphärische Deposition, u.a.) 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). In zahlreichen Gewässern Deutschlands werden diese UQN überschritten (UBA, 2017). Daher sind gezielt Maßnahmen zur Reduktion von PSM-Einträgen umzusetzen. Eine Identifizierung der Eintragsquellen ist oft problematisch, da zahlreiche Wirkstoffe sowohl in der Landwirtschaft als auch in Siedlungsbereichen eingesetzt werden (=duale Wirkstoffe). Mehrere Untersuchungen in Schweizer Gewässern bestätigten, dass auch Siedlungen Quellen für PSM-Einträge in die Gewässer darstellen können (Burkhardt et al., 2009; Wittmer et al., 2010). Eigene Untersuchungen in einem abgegrenzten Einzugsgebiet (Mitteldeutschland, Pilotgebiet Querne/Weida) zeigten in den meisten Fällen keine Übereinstimmung zwischen der PSM-Anwendung in der Landwirtschaft und Wirkstoff-Funden im Oberflächengewässer (Tauchnitz et al., 2018). Die Ursache hierfür ist der Einfluss von Siedlungseinträgen (Punktquellen, Abwasser) sowie der lange Verbleib vieler Wirkstoffe im Boden.

Mit dem Ziel, nähere Informationen zu möglichen PSM-Einträgen aus der Landwirtschaft über den Sickerwasserpfad zu erhalten und gezielt Reduzierungsmaßnahmen abzuleiten, wurden auf einem lehmigen Sandboden in der Altmark (Nordostdeutsches Tiefland) Lysimeter- und Parzellenversuche angelegt. Schwerpunkt der Versuche ist die Quantifizierung der sickerwasser gebundenen Verlagerung von PSM-Wirkstoffen sowie die Erarbeitung von Strategien zur Minderung des PSM-Einsatzes. Neben der Verlagerung von PSM sollen auch die Auswirkungen einer intensiveren Bodenbearbeitung bei reduziertem PSM-Einsatz auf die Nährstoffausträge erfasst werden. Dabei werden die Versuchsvarianten 1) Null ohne PSM-Einsatz (mechanische Unkrautbekämpfung), 2) Reduzierter PSM-Einsatz und 3) Konventioneller (ortsüblicher) PSM-Einsatz auf folgende Parameter untersucht: PSM- und Nährstoff-Austräge mit dem Sickerwasser, PSM-Konzentrationen im Boden, Erträge und PSM-Konzentrationen im Erntegut sowie Unkrautbesatz, Schädlings- und Krankheitsbefall und Wirksamkeit chemischer und mechanischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Parallel zu den Lysimeter- und Parzellenversuchen wurde ein PSM-Abbau-Versuch durchgeführt, um Aussagen zur Sorption und Persistenz ausgewählter umweltrelevanter PSM-Wirkstoffe zu erhalten.

2 Material und Methoden

Die Versuche wurden im September 2018 in der nördlichen Altmark an der Lysimeterstation Falkenberg des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung-UFZ (Lysimeterversuch) und in Lückstedt (ca. 20 km entfernt) (Parzellenversuch) angelegt. Die klimatischen Bedingungen der Versuchsstandorte sind durch langjährige (1961-90) Jahresmitteltemperaturen von 8,5 °C und langjährige (1961-90) Niederschläge von 539 mm (DWD-Station, Seehausen) geprägt. Der Boden ist eine Pseudogley-Parabraunerde mit der Bodenart lehmiger Sand (0-30 cm: SI4, 30-100 cm: SI2) (Meißner et al., 2010). In den Versuchen wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Versuchsvarianten in dreifacher (Lysimeterversuch) bzw. vierfacher Wiederholung (Parzellenversuch) untersucht.

Tabelle 1: Versuchsvarianten

Variante	Null	Reduziert	Konventionell
Beschreibung	kein PSM-Einsatz, mechanische Unkrautbekämpfung	Reduzierter PSM-Aufwand	Orts- bzw. betriebsüblicher PSM-Einsatz
PSM-Einsatz			
Herbizide	-	<u>25 %</u> Reduktion zur konventionellen Variante	Praxisbetrieb (<u>100 %</u> PSM-Aufwand)
Fungizide	-	<u>33 %</u> Reduktion zur konventionellen Variante	Praxisbetrieb (<u>100 %</u> PSM-Aufwand)
Insektizide	-	nur Einsatz bei deutlicher Überschreitung der Richtwerte – dann 100 %	Praxisbetrieb (<u>100 %</u> PSM-Aufwand)
Wachstumsregulatoren	-	<u>25 %</u> Reduktion zur konventionellen Variante	Praxisbetrieb (100 % PSM-Aufwand)

Parzellenversuch

Der Parzellenversuch (randomisiert) wurde in Lückstedt auf einem Praxisschlag der Agrargesellschaft Altmärkische Höhe e.G. angelegt (Abb. 1).

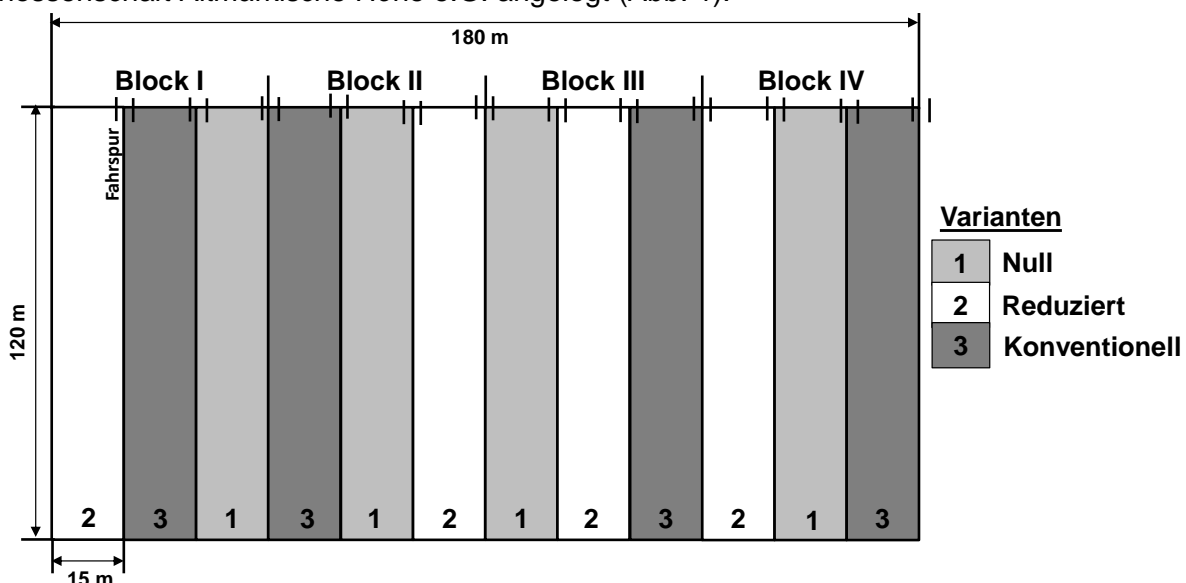


Abbildung 1: Versuchsaufbau Parzellenversuch

Die Aussaat Winterweizen erfolgte am 24.09.2018 und die erste PSM-Maßnahme (Herbizide) am 18.10.2018. Appliziert wurden 1,5 l/ha Trinity (Wirkstoffe Chlortoluron, Pendimethalin, Diflufenican), 0,25 l/ha Herold SC (Wirkstoffe Diflufenican, Flufenacet) und Pointer SX (Wirkstoff Tribenuron). Als fungizides Saatgutbehandlungsmittel des Winterweizens wurde Celest M mit dem Wirkstoff Fludioxonil angewandt. Folgende Parameter werden im Versuch untersucht: Konzentrationen applizierter PSM-Wirkstoffe im Boden, Erträge und Konzentrationen applizierter PSM-Wirkstoffe im Erntegut, Bestandesdichte, Unkrautbesatz, Schädlings- und Krankheitsbefall und Wirksamkeit chemischer und mechanischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Bisher wurden im Versuch folgende Bonituren vorgenommen: 24.10.18 Unkrautbonitur (Ausgangsbonitur Pfl./m²); Bestandesdichte (Kulturpflanze/afd. m), 05.10.18 Unkrautbonitur (Pfl./m²).

Lysimeterversuch

Für den Lysimeterversuch wurden nicht wägbare Gravitationslysimeter mit einer quadratischen Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1,25 m genutzt. Vor Beginn des Versuches wurde ein PSM-Screening des Sickerwassers aller 9 Lysimeter auf insgesamt 54 Wirkstoffe mittels GC-MS (Gas Chromatography-Massenspektrometer), LC-MS (Liquid Chromatography-Massenspektrometer) bzw. HPLC (High Pressure Liquid Chromatography) nach DIN 38407-35, DIN 38407-6, DIN 38407 F22 mod. und EN 12918 mod. durchgeführt, um eine eventuelle Grundbelastung festzustellen. Für die regelmäßigen Sickerwasseranalysen nach Versuchsbeginn wurden Monatsmischproben gewonnen und auf alle im Versuch applizierten PSM-Wirkstoffe (inklusive Saatgutbehandlungsmittel) untersucht. Zudem wurden in den Sickerwasserproben Stickstoff(N)(NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻, N_t)- und Kohlenstoff(C_t, DOC)-Konzentrationen bestimmt. Die Aussaat des Winterweizens und PSM-Anwendung erfolgte analog zum Parzellenversuch. Die PSM-Applikation auf den Lysimetern wurde mittels Handspritze realisiert.

PSM-Abbauversuch

Im Labor der BGD-Ecosax GmbH wurden Bodensättigungsextraktionsversuche (BSE) gemäß LfUG (2014) sowie klassische Batchversuche durchgeführt, um die mikrobiellen Abbauraten ausgewählter PSM-Wirkstoffe unter kontrollierten Bedingungen sowie die Sorption der Wirkstoffe an die Bodenmatrix zu ermitteln. Dabei wurden die umweltrelevanten und in vorhergehenden Untersuchungen häufig nachgewiesenen Wirkstoffe Glyphosat, MCPA, Diflufenican, Epoxiconazol, Terbutylazin, Metazachlor und Imidacloprid berücksichtigt

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 PSM-Wirkstoffe im Sickerwasser (Lysimeterversuch)

Das PSM-Screening des Sickerwassers vor Anlage des Lysimeterversuches zeigte mit Ausnahme des Wirkstoffes Tebuconazol keine Positivbefunde der analysierten 54 Wirkstoffe. In der Lysimeterstation Falkenberg wurden bisher keine PSM-Maßnahmen auf den Lysimetern durchgeführt. Daher war auch der Nachweis von PSM-Wirkstoffen aus vergangenen Versuchen nicht zu erwarten. Die Positivbefunde des fungiziden Wirkstoffes Tebuconazol (0,079 µg/l) sind vermutlich auf den Einsatz von gebeiztem Saatgut aus vergangenen Versuchen zurückzuführen. Tebuconazol ist derzeit in 6 fungiziden Saatgutbehandlungsmitteln zur Bekämpfung von diversen Pilzkrankheiten in Getreide zugelassen (BVL, 2019). Zudem zählt Tebuconazol zu den sogenannten dualen Wirkstoffen, welche auch als Biozid, z.B. in Holzschutzmitteln (BAUA, 2016) sowie im Klein- und Hausgartenbereich (BVL, 2019) angewendet werden. Die Analysen des Sickerwassers nach PSM-Applikation zeigten im bisherigen Versuchszeitraum keinen Nachweis der applizierten Wirkstoffe (Tab. 2). Auch hier waren bei einem der 9 Lysimeter Positivbefunde von Tebuconazol im Sickerwasser nachweisbar. Die Sickerwassermengen im bisherigen Versuchszeitraum (09/2018 bis 12/2018) lagen im Bereich von 44 bis 68 mm. Die konventionelle

Variante wies die höchsten Sickerwassermengen auf. Die NO_3^- -Konzentrationen waren mit 132 bis 163 mg L^{-1} auf einem hohen Niveau und unterschieden sich nicht deutlich zwischen den Varianten. Im bisherigen Versuch wurden allerdings auch noch keine Bodenbearbeitungsmaßnahmen (mechanische Unkrautbekämpfung) durchgeführt, die Einfluss auf Mineralisationsprozesse und damit die NO_3^- -Dynamik haben können.

Tabelle 2: Sickerwasser(SW)-Mengen, Pflanzenschutzmittelwirkstoff- sowie Stickstoff(N)- und Kohlenstoff(C)-Konzentrationen im Sickerwasser [Mittelwert (\pm Standardabweichung)] im bisherigen Versuchszeitraum (09/2018 bis 12/2018)

Parameter	Varianten		
	Null	Reduziert	Konventionell
SW-Menge (mm)	44 (± 5)	49 (± 7)	68 (± 5)
Chlortoluron ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
Diflufenican ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
Fludioxonil ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
Flufenacet ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
Pendimethalin ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
Tebuconazol ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	0,016 (max. 0,054)
Tribenuron-Methyl ($\mu\text{g L}^{-1}$)	<BG	<BG	<BG
NO_3^- (mg L^{-1})	132,0 (± 13)	162,6 (± 21)	145,0 (± 27)
NH_4^+ (mg L^{-1})	0,01 ($\pm 0,00$)	0,01 ($\pm 0,00$)	0,01 ($\pm 0,00$)
NO_2^- (mg L^{-1})	0,03 ($\pm 0,02$)	0,09 ($\pm 0,06$)	0,10 ($\pm 0,08$)
TN (mg L^{-1})	37,2 (± 4)	44,8 (± 6)	37,6 (± 7)
TC (mg L^{-1})	65,4 (± 3)	61,1 (± 5)	51,8 (± 4)
DOC (mg L^{-1})	17,6 (± 2)	18,8 (± 1)	15,8 ($\pm 0,4$)

BG: Bestimmungsgrenze, TN: Total Nitrogen, TC: Total Carbon, DOC: Dissolved Organic Carbon

3.2 PSM-Abbau und Sorption

Der PSM-Abbau-Versuch zeigte, dass die Wirkstoffe Glyphosat und Diflufenican nach Zugabe einer hohen Konzentration des jeweiligen Wirkstoffes nicht im Bodensättigungsextrakt (Porenwasser) nachweisbar waren (Abb. 2). In den begleitenden Bodenuntersuchungen wurden hohe Konzentrationen an Glyphosat nachgewiesen, die darauf hinweisen, dass Glyphosat an die Bodenmatrix gebunden vorliegt (Tab. 3). Ein hohes Sorptionsvermögen von Glyphosat an Tonpartikel und organische Substanz und damit verbunden eine verzögerte mikrobielle Degradation wird auch in der Literatur bestätigt (Van Bruggen et al., 2018). Die Sorptionskoeffizienten werden mit K_f : 226 mL g^{-1} (9,4-700) und K_{foc} : 16.331 mL g^{-1} (1.600-60.000) angegeben (PPDB, 2019). Die ebenfalls nachgewiesene zunehmende Konzentration des Metaboliten AMPA deutet auf einen beginnenden Abbau hin. Der Wirkstoff Diflufenican war weder im Boden noch im Bodensättigungsextrakt nachweisbar. Das ist vermutlich auf die sehr geringe Löslichkeit der Reinsubstanz zurückzuführen, so dass in der applizierten Stammlösung nicht die gewünschte Konzentration erreicht werden konnte. Die Bodenuntersuchungen ergaben zudem eine vollständige Sorption von Epoxiconazol, eine hohe Sorption von Terbutylazin mit 97 %, 87 % von Imidacloprid und 82 % von Metazachlor am Boden (Tab. 3). Keine Sorption am Boden hingegen wurde bei dem PSM-Wirkstoff MCPA ermittelt. Mit Ausnahme von Epoxiconazol, das als leicht

mobil eingestuft wird, stimmen die in der Literatur angegebenen Sorptionseigenschaften (PPDB, 2019) überwiegend mit den praktisch ermittelten Sorptionsraten unter standortspezifischen Untersuchungsbedingungen überein

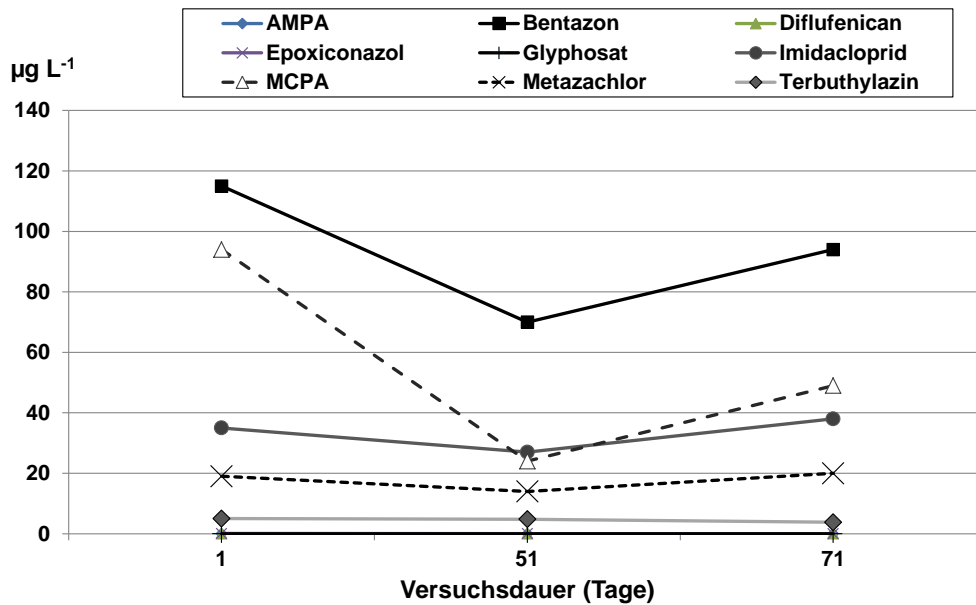


Abbildung 2: PSM-Konzentrationen im Bodensättigungsextrakt (Porenwasser) im PSM-Abbauversuch

Tabelle 3: PSM-Wirkstoffkonzentrationen im Boden und Sorption

PSM-Wirkstoffe	Konzentration Boden (mg kg ⁻¹ TS)	Sorption ¹ (%)	Sorptionskoeffizienten nach PPDB (2019) (mL g ⁻¹)	Beurteilung Mobilität
AMPA	1,23	-	-	-
Bentazon	0,04	52,4	K _f : 0,97 (0,02-3,06) K _{foc} : 59,6 (3,0-158,0)	mobil
Diflufenican	<BG	-	K _f : 65,9 (7,87-267,5) K _{foc} : 2.215 (1.532-7.431)	leicht mobil
Epoxiconazol	0,09	100	K _f : 12,2 (4,79-21,78) K _{foc} : 1.073 (280-2.641)	leicht mobil
Glyphosat	0,16	100	K _f : 226,3 (9,4-700) K _{foc} : 16.331 (1.600-60.000)	nicht mobil
Imidacloprid	0,07	86,8	K _f : 2,23 (0,96-4,18) K _{foc} : 225 (109-411)	mäßig mobil
MCPA	<BG	0	K _f : 0,94 (0,05-1,99) K _{foc} : 74 (38-157)	mobil
Metazachlor	0,03	82,2	K _f : 1,02 (0,37-2,20) K _{foc} : 79,6 (72,5-83,5)	mäßig mobil
Terbuthylazin	0,05	97,2	K _f : 5,1 (2,1-10,49) K _{foc} : 231 (151-333)	mäßig mobil

BG: Bestimmungsgrenze, ¹berechnet aus dem Quotienten der nachgewiesenen Stoffmenge im Boden und der Gesamtstoffmenge (Porenwasser+Boden)

Ein signifikanter Abbau im Versuchszeitraum von 71 Tagen konnte lediglich bei den Wirkstoffen MCPA und Bentazon beobachtet werden (Abb. 2). Bei allen anderen Wirkstoffen ist bisher kaum eine Änderung der Konzentrationen feststellbar. Das bestätigt bisherige Ergebnisse im Pilotgebiet Querne/Weida, bei denen die Wirkstoffe lange Zeit nach Applikation noch bis zum Teil in 5 m Tiefe in Tiefenprofilen im Boden nachgewiesen wurden (Tauchnitz et al., 2018).

4 Schlussfolgerungen

Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigten keine Auswaschung der applizierten Wirkstoffe nach der ersten PSM-Maßnahme im Winterweizen. Positivbefunde von Tebuconazol im Sickerwasser im Vorab-Screening und den ersten Messungen nach Versuchsbeginn weisen auf den Einsatz fungizider Saatgutbehandlungsmittel in vergangenen Versuchen hin. Die im PSM-Abbauversuch unter kontrollierten Bedingungen nachgewiesene hohe Sorption der meisten PSM-Wirkstoffe und eine eventuell damit verbundene verzögerte mikrobielle Degradation im Boden deuten darauf hin, dass die Wirkstoffe eine höhere Persistenz aufweisen als aus der Literatur bekannt. Es ist demzufolge anzunehmen, dass PSM-Austräge aus dem Boden auch stark zeitlich verzögert erfolgen können. Diese Erkenntnis sollte beim Gewässermonitoring und der Umsetzung von Reduzierungsmaßnahmen beachtet werden.

Literatur

- BAUA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin), 2016: www.baua.de/de/...Biozidverfahren/Biozide/Zulassungsstelle-Biozide.html.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), 2019: Zugelassene Pflanzenschutzmittel. Stand 08.01.2019: https://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelIPSM/01_OnlineDatenbank/psm_onlineDB_node.html;jsessionid=B76620943F913A6C0DE6702590CA7D04.2_cid332.
- 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.
- GÖTZ, C., KASE, R., HOLLENDER, J., 2010: Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser, Eawag, Dübendorf.
- LFUG (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE), 2004: Materialienband zur Altlastenbehandlung. Musterleistungsbeschreibung/ Musterleistungsverzeichnis: Laborative Untersuchungen zur Sickerwasserprognose im Rahmen der Detailerkundung.
- MEISSNER, R., RUPP, H., SEEGER, J.; OLLESCH, G.; GEE, G. W. (2010): A comparison of water flux measurements: passive wick-samplers versus drainage lysimeters. *British Society of Soil Science: European Journal of Soil Science*, 61, 609-621.
- OGEWV, 2016: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung), 20.06.2016.
- PPDB (Pesticide Properties DataBase), University of Hertfordshire, 2019: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>. (29.01.2019).
- TAUCHNITZ, N., SCHRÖDTER, M., SCHMIDT, G., HAUSER, G., 2018: Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in Oberflächengewässern – Eintragspfade und Reduzierungsmaßnahmen. *Julius-Kühn-Archiv*, 461, P 364.
- UBA (Umweltbundesamt), 2017: Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Dessau-Rosslau.
- VAN BRUGGEN, A.H.C., HE, M.M., SHIN, K., MAI, V., JEONG, K.C., FINCKH, M.R., MORRIS, J.G.JR., 2018: Review: Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Science of the Total Environment* 616-617, 255-268.
- 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.