

Auswaschung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen auf sandigen Lehmböden

Nadine Tauchnitz^{1*}, Holger Rupp², Kurzius Florian³, Christian Wolff¹ und
Ralph Meissner²

Zusammenfassung

Einträge von Pflanzenschutzmitteln (PSM) können natürliche Gewässer erheblich belasten. Schwerpunkt des vorliegenden Projektes war die Durchführung von PSM-Reduzierungsmaßnahmen auf sandigen Lehmböden in Norddeutschland in Lysimeter- und Parzellenversuchen. In den Versuchen wurden drei Versuchsvarianten 1) ohne PSM, 2) reduzierter und 3) konventioneller PSM-Einsatz auf relevante Parameter untersucht. Begleitend wurden Batchversuche im Labor durchgeführt, um Aussagen zum Abbau und zur Sorption der applizierten PSM bei den standortspezifischen Bodeneigenschaften zu erhalten. Bisherige Ergebnisse zeigten keine Auswaschung der im Versuch applizierten PSM. Demgegenüber wurde der Wirkstoff Tebuconazol im Sickerwasser aller Varianten nachgewiesen. Diese Positivbefunde sind vermutlich auf die Saatgutbehandlung aus vorhergehenden Versuchen zurückzuführen. Die Batchversuche ergaben für die meisten der applizierten PSM einen raschen Abbau im Oberboden. Im Unterboden wurde ein langsamerer Abbau ermittelt.

Schlagwörter: Abbau, Halbwertszeiten, Sorption, Persistenz, Wasserqualität

Summary

Pesticide inputs in natural waters may cause harmful effects on aquatic life communities. The present study focused on the implementation of reduction measures for pesticide application in lysimeter and field trials with sandy loam soils in northern Germany. Three different treatments were considered: 1) without pesticides, 2) reduced pesticide application and 3) conventional pesticide application. The treatments were analyzed for relevant parameters. Additionally, batch tests were performed to study sorption and degradation of applied pesticides at sitespecific soil properties. Previous results showed no leaching of actual applied pesticides in the trials. In contrast, tebuconazole was found in leachate of all treatments presumably associated with the seed treatment in previous lysimeter trials. Batch tests showed fast degradation for most of the applied pesticide substances in the topsoil. For the subsoil a slower degradation was determined.

Keywords: degradation, half-lives, sorption, persistence, water quality

Einleitung

Einträge von Pflanzenschutzmittel (PSM)-Wirkstoffen in die Gewässer können aus punktuellen sowie diffusen Quellen stammen (Munz et al. 2017) und die Gewässerqualität erheblich beeinträchtigen. Daher sind gezielt Maßnahmen zur Reduktion von PSM-Einträgen umzusetzen. Eine Identifizierung der Eintragsquellen ist oft problematisch, da

¹ State Institute for Agriculture and Horticulture Saxony-Anhalt, Centre for Agronomy and Crop Production, Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg; ² Helmholtz Centre for Environmental Research-UFZ, Dept. of Soil System Science, Lysimeter Station, Falkenberg 55, D-39615 Altmärkische Wische; ³ BGD ECOSAX GmbH, Tiergartenstraße 48, D-01219 Dresden

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

viele Wirkstoffe sowohl in der Landwirtschaft als auch in Siedlungsbereichen eingesetzt werden (Mutzner et al. 2019).

Mit dem Ziel, nähere Informationen zu möglichen PSM-Einträgen aus der Landwirtschaft über den Sickerwasserpfad zu erhalten und gezielt Reduzierungsmaßnahmen abzuleiten, wurden auf einem sandigen Lehmboden in der Altmark (Nordostdeutsches Tiefland) Lysimeter- und Parzellenversuche angelegt. Schwerpunkt der Versuche war die Quantifizierung der sickerwassergebundenen Verlagerung von PSM-Wirkstoffen. Dabei wurden die Versuchsvarianten 1) Null ohne PSM-Einsatz, 2) Reduzierter PSM-Einsatz und 3) Konventioneller PSM-Einsatz auf folgende Parameter untersucht: PSM- und Nährstoff-Austräge mit dem Sickerwasser, PSM-Konzentrationen im Boden und im Erntegut, Erträge sowie Unkrautbesatz, Schädlings- und Krankheitsbefall und Wirksamkeit chemischer und mechanischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Begleitend zu den Lysimeter- und Parzellenversuchen wurden Batchversuche zur Ermittlung von Abbau und Sorption der in den Versuchen applizierten PSM bei den standorttypischen Bodeneigenschaften durchgeführt.

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.

- Parzellenversuch

Der Parzellenversuch (randomisiert) wurde in Lückstedt auf einem Praxis Schlag der Agrargenossenschaft Altmärkische Höhe e.G. angelegt (*Abbildung 1*).

Die Fruchtfolge auf den Parzellen war Winterweizen (2019), Wintergerste (2020) und Winterraps (2021). Im Versuch wurden bisher 6 PSM-Maßnahmen durchgeführt (vgl. *Abbildung 2*). Folgende Parameter wurden 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.

Tabelle 1: Versuchsvarianten.

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

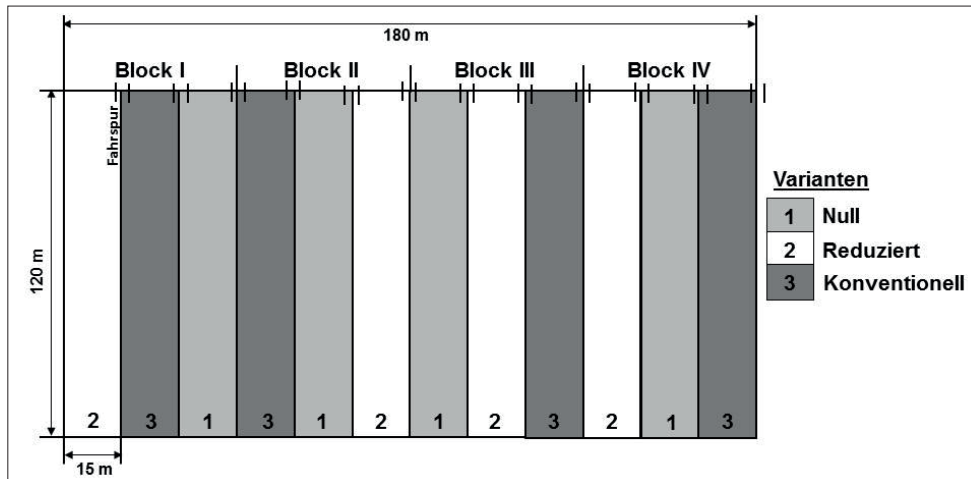


Abbildung 1: Versuchsaufbau Parzellenversuch.

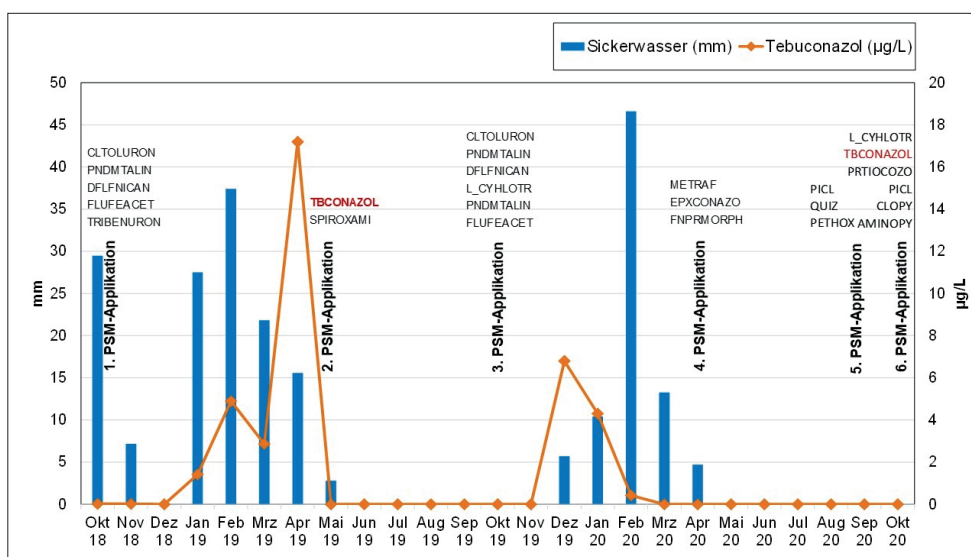


Abbildung 2: Sickerwassermengen und Tebuconalkonzentrationen im Sickerwasser der konventionellen Variante im Untersuchungszeitraum sowie Pflanzenschutzmittel(PSM)-Applikationen.

- 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 Fruchtfolge und PSM-Anwendung gestaltete sich analog zum Parzellenversuch. Die PSM-Applikation auf den Lysimetern wurde mittels Handspritze realisiert.

- Batchversuche

Im Labor der BGD-Ecosax GmbH wurden klassische Batchversuche durchgeführt, um die mikrobiellen Abbauraten der im Versuch applizierten PSM-Wirkstoffe unter kontrollierten Bedingungen sowie die Sorption der Wirkstoffe an die Bodenmatrix zu ermitteln. Für

die Versuche wurden im Juli 2020 Bodenproben in 0-30 cm und 30-90 cm Tiefe vom Füllboden der verwendeten Lysimeter in gasdichten Probebeuteln entnommen.

Ergebnisse und Diskussion

PSM-Wirkstoffe im Sickerwasser (Lysimeterversuch)

Im bisherigen Versuchszeitraum wurden keine Positivbefunde der im Versuch applizierten PSM-Wirkstoffe im Sickerwasser ermittelt (Tabelle 2). Unabhängig von der PSM-Applikation zeigten demgegenüber alle Versuchsvarianten Positivbefunde des fungiziden Wirkstoffes Tebuconazol mit zum Teil sehr hohen Konzentrationen bis maximal 17,2 µg/l (konventionelle Variante (Abbildung 2)). Es wird vermutet, dass diese Positivbefunde auf den Einsatz von gebeiztem Saatgut aus vergangenen Lysimeterversuchen zurückzuführen ist. Mit Ausnahme von Beizmitteln wurden in den Lysimetern im Vorfeld der Versuche keine PSM-Wirkstoffe eingesetzt. Eine Grundbelastung mit Tebuconazol wurde bereits im PSM-Screening des Sickerwassers vor Versuchsbeginn festgestellt. Tebuconazol ist derzeit in 6 fungiziden Saatgutbehandlungsmitteln zur Bekämpfung von diversen Pilzkrankheiten in Getreide zugelassen (BVL 2021). Die Sickerwassermengen im bisherigen Versuchszeitraum (10/2018 bis 10/2020) lagen im Bereich von 176 bis 213 mm bei einer Niederschlagsmenge von 1047 mm (Tabelle 2). Die konventionelle Variante wies die höchsten Sickerwassermengen auf. In den Monaten Mai 2019 bis Dezember 2019 sowie Mai 2020 bis Oktober 2020 wurde bei allen Lysimetern kein Sickerwasser registriert.

Batchversuche

Auf Grundlage der Batchversuche kann für die meisten PSM-Wirkstoffe ein schneller Abbau im Oberboden (0-30 cm) abgeleitet werden (Tabelle 3). Die ermittelten Halbwertszeiten lagen in einem Bereich von 9 (Diflufenican) bis 49 Tage (Spiroxamin). Im Vergleich zum Oberboden zeigten die meisten Wirkstoffe im Unterboden einen langsameren Abbau insbesondere bei den Wirkstoffen Fenpropimorph (95 Tage) und Tebuconazol (73 Tage) (Tabelle 3).

Die in den Batchversuchen ermittelten Halbwertszeiten stimmen überwiegend sehr gut mit den Angaben aus der Literatur (PPDB 2021) überein. Für die Wirkstoffe lambda-Cyhalothrin, Diflufenican und Pendimethalin werden allerdings deutlich längere Halbwertszeiten in der Literatur dokumentiert. Als Ursache hierfür werden die standortspezifischen

Tabelle 2: Sickerwasser(SW)-Mengen und Niederschläge, Pflanzenschutzmittel(PSM)-Wirkstoff- sowie Stickstoff(N)- und Kohlenstoff(C)-Konzentrationen im Sickerwasser [Mittelwert (±Standardabweichung)] im bisherigen Versuchszeitraum (10/2018 bis 10/2020).

Parameter	Varianten		
	Null	Reduziert	Konventionell
Niederschlag (mm)	1047	1047	1047
SW-Menge (mm)	176 (±17)	185 (±6)	213 (±26)
nachgewiesene PSM-Wirkstoffe im SW	Tebuconazol	Tebuconazol	Tebuconazol
Konzentration PSM (µg L ⁻¹)	2,5 (±2,1)	3,0 (±3,0)	3,2 (±2,4)
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	132,0 (±13)	162,6 (±21)	145,0 (±27)
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	0,01 (±0,00)	0,01 (±0,00)	0,01 (±0,00)
NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,03 (±0,02)	0,09 (±0,06)	0,10 (±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 (±0,4)

Wirkstoffe	Halbwertszeiten (Tage) Batchversuche		Halbwertszeiten (Tage) Literatur (PPDB, 2021)	
	0-30 cm	30-90 cm	Min-Max (lab/field studies)	Einschätzung nach PPDB (2021)
Cyhalothrin, lambda	17	12	43-1000	persistent
Diflufenican	9	10	41-318	mäßig persistent
Epoxiconazol	20	31	127-1000	persistent
Fenpropimorph	22	95	10-124	nicht persistent
Flufenacet	21	29	7-37	nicht persistent
Glyphosat	27	39	1-68	nicht persistent
Pendimethalin	25	11	97-270	persistent
Spiroxamin	49	n.b.	20-145	mäßig persistent
Tebuconazol	32	73	26-92	mäßig persistent
Tribenuronmethyl	n.b.	n.b.	3-23	nicht persistent

n.b.: im bisherigen Versuchszeitraum nicht bestimmbar

Bodeneigenschaften gesehen. Es kann vermutet werden, dass der untersuchte sandige Boden aufgrund einer guten Durchlüftung einen rascheren Abbau aufweist. Der in den Batchversuchen ermittelte schnelle Abbau bestätigt die Sickerwasseruntersuchungen des Lysimeterversuches, bei denen keine Positivbefunde der applizierten Wirkstoffe nachgewiesen wurden. Allerdings kann die im Lysimeterversuch beobachtete Persistenz des Wirkstoffes Tebuconazol nicht anhand der Ergebnisse des Batchversuches nachvollzogen werden. Hier können eventuell die aktuell noch nicht abgeschlossenen Sorptionsversuche weitere Hinweise geben. Es ist aus der Literatur bekannt, dass die Sorption von PSM-Wirkstoffen an Ton, organische Substanz bzw. Ton-Humus-Komplexe und die Bildung von nicht extrahierbaren Rückständen im Boden den mikrobiellen Abbau einschränken (Al-Rajab et al. 2008). Hierdurch können PSM-Rückstände über längere Zeit im Boden akkumulieren und zu zeitlich verzögerten Austrägen führen, wie bereits in vorhergehenden Untersuchungen ermittelt (Tauchnitz et al. 2020).

Schlussfolgerungen

Im bisherigen zweijährigen Versuchszeitraum wurde keine Auswaschung der im Versuch applizierten PSM nachgewiesen. Diese Ergebnisse werden durch den in den Batchversuchen ermittelten schnellen Abbau der berücksichtigten PSM bestätigt. Allerdings weisen die Positivbefunde von Tebuconazol im Sickerwasser aller Varianten unabhängig von der Applikation auf eine ausgesprochene Persistenz des zur Saatgutbehandlung vor Versuchsbeginn eingesetzten Wirkstoffes hin, die anhand der Ergebnisse des Batchversuches nicht bestätigt wird. Es wird angenommen, dass aufgrund von Sorption und Bildung nicht extrahierbarer Rückstände der Wirkstoff im Boden akkumulierte und zu zeitlich verzögerten Austrägen führte. Diese Vermutung sollte in fortsetzenden Untersuchungen berücksichtigt werden, um gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität abzuleiten.

Literatur

Al-Rajab A.J., Amellal S., Schiavon M. (2008) Sorption and leaching of ¹⁴C-glyphosate in agricultural soils. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 419-428.

BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2021) Zugelassene Pflanzenschutzmittel. Stand 22.01.2021: <https://app2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.

Tabelle 3: Ermittelte Halbwertszeiten für die berücksichtigten Wirkstoffe in den Batchversuchen (=vorläufige Ergebnisse) sowie Literaturvergleich (PPDB, 2021).

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.

Munz N.A., Burdon F.J., de Zwart D., Junghans M., Melo L., Reyes M., Schönenberger U., Singer H.P., Spycher B., Hollender J., Stamm C. (2017) Pesticides drive risk of micropollutants in wastewater-impacted streams during low flow conditions. *Water Research* 110, 366-377.

Mutzner L., Mangold S., Dicht S., Bohren C., Vermeirssen E.L.M., Scheidegger A., Singer H., Ort C. (2019) Mikroverunreinigungen aus Siedlungen. Messungen mit 20 Mischwasserentlastungen mit Passivsammlern. *Aqua & Gas* 10, 28-35.

PPDB (Pesticide Properties DataBase), University of Hertfordshire (2021) <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/> (letzter Zugriff am 27.01.2021).

Tauchnitz N., Kurzius F., Rupp H., Schmidt G., Hauser B., Schrödter M., Meissner R. (2020) Assessment of pesticide inputs into surface waters by agricultural and urban sources – A case study in the Querne/Weida catchment, central Germany. *Environmental Pollution* Vol. 267, 115186.