



Maßnahmen zum nachhaltigeren Umgang mit Pestiziden und deren Transformationsprodukten im Regionalen Wassermanagement



ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE PRAXIS

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



MUTREWA - MASSNAHMEN ZUM NACHHALTIGEREN UMGANG MIT PESTIZIDEN UND DEREN TRANSFORMATIONSPRODUKTEN IM REGIONALEN WASSERMANAGEMENT

KERNBOTSCHAFTEN

Für die untersuchten Pflanzenschutzmittel (PSM) und Biozide konnte eine Vielzahl von Transformationsprodukten (TP) nachgewiesen werden. Diese weisen oftmals eine höhere Mobilität in aquatischen Systemen auf als die Muttersubstanzen, sowie eine vergleichbare Persistenz und Toxizität bei Bakterien.

- > Im Gegensatz zu den PSM konnten einige TP als langfristige Hintergrundbelastung im Grundwasser und in Oberflächengewässern durch Messungen nachgewiesen und durch Modellierungen bestätigt werden.
- > Die Belastungen von Grundwasser, Fließgewässern und Söllen mit PSM und TP-Rückständen liegen teils oberhalb von Umweltqualitätsnormen (UQN) und gesundheitlichen Orientierungswerten (GOW). Um das Grundwasser nachvollziehbar bewerten zu können, ist eine Vereinheitlichung der Schwellen- und Richtwerte notwendig. UQNs für TP in Oberflächengewässern fehlen bislang.
- > Als End-of-Pipe-Maßnahmen können Retentionsteiche bei Basisabfluss und Feuchtflächen bei Ereignisabfluss einen Beitrag zur Reduktion von Pestizid- und TP-Einträgen in angrenzende Gewässer leisten. Über hydrologische Tracer und das OTIS-Modell sind Aussagen zur Effizienz verschiedener Maßnahmen möglich.
- > In Siedlungsgebieten muss bei Regenwasserversickerung mit einem Eintrag von bioziden Wirkstoffen aus Fassaden in das Grundwasser gerechnet werden. Deshalb sollte die Filterwirkung von Anlagen zur Regenwasserversickerung für Biozide und TP überprüft werden. Da es eine Vielzahl von Eintragspfaden gibt, sind Maßnahmen an der Quelle notwendig.



Bild 1: Fluoreszenztracer dienen der Erforschung von Stoffausbreitung in Gewässern, © Jens Lange, 2018

GEWÄSSER NACHHALTIG VOR PESTIZIDEN SCHÜTZEN

Im Zuge europäischer Umweltgesetzgebung wurden in den letzten Jahren zahlreiche Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen (GBM) zur Verbesserung des chemischen und ökologischen Zustands von Grund- und Oberflächengewässern initiiert.

Jedoch werden bei der Bewertung dieser Maßnahmen mögliche Effekte auf eine verstärkte Mobilisierung von organischen Spurenstoffen und insbesondere ihrer Transformationsprodukte (TP) vernachlässigt. Transformationsprodukte von Pestiziden in der wässrigen Phase, die nicht mehr im Sinne der Muttersubstanz aktiv sind, wurden bisher nicht ausreichend untersucht und deshalb nicht entsprechend im Gewässermanagement berücksichtigt. Hier haben die Partner des Verbundprojekts MUTReWa mit Ihren Untersuchungen angesetzt. Weiterhin wurde die Effektivität und Nachhaltigkeit ausgewählter Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen zur Verbesserung des chemischen und ökologischen Zustands von Grund- und Oberflächengewässern bewertet. Daraus abgeleitete Empfehlungen wurden bereits und werden auch zukünftig in Kooperation mit der Praxis in das regionale Wassermanagement implementiert.

Das Projekt MUTReWa ist eines von 15 Verbundprojekten in der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland“ (ReWaM). ReWaM ist Teil des BMBF-Forschungsschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA3).

ZIELE

Im Fokus von MUTReWa standen das Transformationsverhalten sowie die Eigenschaften von Pestiziden. Um den Eintrag dieser Stoffe in die Gewässer zu minimieren, haben die an dem Verbundprojekt beteiligten Partner geeignete Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen erarbeitet und validiert. Weitere Ziele des Projekts waren:

- > Verbesserung des Prozessverständnisses zur Mobilisierung und Transformation von Pestiziden in Flusseinzugsgebieten.
- > Bestimmung aktueller Belastungen durch ausgewählte Pestizide und deren Transformationsprodukte sowie der ökotoxikologischen Relevanz und des Gefährdungspotentials für das Trinkwasser.
- > Bewertung der Effektivität und Nachhaltigkeit ausgewählter Maßnahmen und Strategien zur Eintragsminimierung von Pestiziden und deren TP.
- > Erarbeitung von Empfehlungen zur Anpassung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen zur Reduktion von Pestizideinträgen in die Umwelt.
- > Zusammenarbeit mit zentralen Akteuren der Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Umwelt.

MODELLREGION TIEFLAND-EINZUGSGEBIET: KIELSTAU

Das Einzugsgebiet (EZG) der 17 km langen Kielstau ist ca. 5.000 ha groß und befindet im Norden Schleswig-Holsteins. Die Region ist vorwiegend ländlich geprägt und ca. 55 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche werden als Ackerfläche, ca. 26 % als Grünland genutzt. Die Jahresmitteltemperatur beträgt 8.9 °C und der mittlere Jahresniederschlag 885 mm.

Die dominierenden Bodentypen im EZG sind Pseudogleye (Stauwasserböden), in den Flusstälern finden sich moorige Böden. Zahlreiche kleine Zuflüsse, offene Entwässerungsgräben und Drainagen entwässern in die Kielstau. Das Einzugsgebiet weist typische Merkmale des Tieflandes auf und kann daher als Modellregion für die Norddeutsche Tiefebene herangezogen werden. Charakteristika für diese Region sind die hohe Drainagedichte bei Ackerflächen von ca. 38 % und geringe Hangneigungen von < 10 %, hoch anstehendes oberflächennahes Grundwasser und geringe hydraulische Gradienten. Landwirtschaftliche Betriebe liegen meist außerhalb der Ortschaften und ihre Hofabläufe sind nicht an die zentralen Kläranlagen angeschlossen. Das Kielstau EZG ist seit 2010 ein Unesco Demonstrationsgebiet.

MODELLREGION MITTELGEBIRGS-EINZUGSGEBIET: MÜHLBACH

Das 140 km² große Einzugsgebiet des Mühlbachs liegt im Süden Baden-Württembergs unmittelbar südwestlich der Stadt Freiburg. Es steht als Modellregion für Intensivlandwirtschaft mit hauptsächlich Sonderkulturen (Weinanbau) und hoher Dominanz einer Monokultur (Maisanbau) sowie für eine dynamische urbane Entwicklung (Stadt Freiburg) am Rande eines Mittelgebirges. Seine Oberläufe entwässern steile, bewaldete Hänge des Hochschwarzwalds. Die Abflussbildung wird dominiert durch schnellen Interflow und Sättigungsflächenabfluss. Auf ihrem Weg zur flachen Oberrheinebene mit ihren fluvialen Sedimenten und landwirtschaftlichen Monokulturen durchqueren die Bäche die südlichen Stadtteile von Freiburg und erfahren so urbane Regenwassereinleitungen.

Andere Zuflüsse, wie das Studiengebiet des Löchernbachs (Eichstetten am Kaiserstuhl), entwässern durch Intensivlandwirtschaft (v. a. Weinbau) geprägte Hangla-

gen des Tunibergs oder Kaiserstuhls. Hier kann es bei Starkregenereignissen zu Oberflächenabfluss und markanten Hochwässern kommen. Diese mobilisieren viel Sediment und potenziell auch applizierte Pestizide. Im Gebiet wurden zahlreiche Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen zur Umsetzung der EU-WRRL projektiert und teilweise auch schon verwirklicht.

MODELLSUBSTANZEN

Im MUTReWa-Projekt wurden acht Pestizide, vier Pflanzenschutzmittel (PSM) und vier Biozide untersucht. Bei den PSM handelt es sich um die Herbizide Metazachlor und Flufenazet, welche im Studiengebiet Kielstau, Schleswig-Holstein, weitverbreitet zum Einsatz kommen sowie um die Fungizide Boscalid und Penconazol, die im Studiengebiet Mühlbach, Baden-Württemberg, vor allem im Weinanbau Verwendung finden.

Diese Auswahl steht unter verschiedenen Aspekten für ein großes Spektrum von in der Landwirtschaft verwendeten PSM. Es sind Herbizide und Fungizide, die sich in Art, Zeit und Menge der Ausbringung sowie ihren physikochemischen Eigenschaften unterscheiden. Sie gehören darüber hinaus zu unterschiedlichen chemischen Stoffgruppen. Dies lässt durch unterschiedliche hydro-meteorologische Bedingungen und Transportwege unterschiedliche Transformationsprozesse und Transformationsprodukte mit wiederum unterschiedlichen Eigenschaften erwarten.

Neben den PSM aus der Landwirtschaft wurden auch Biozide untersucht, die in urbanen Gebieten über Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen (GBM) in den Wasserkreislauf eingetragen werden können. In Deutschland werden in Fassadenfarben vorwiegend die Substanzen Diuron, Terbutryn und Octhilinon (OIT) eingesetzt und treten wie auch Mecoprop im Niederschlagswasser- und Dachabfluss auf.

Daher konzentrierte sich die Untersuchung auf diese vier bioziden Wirkstoffe, von denen die ersten beiden prioritäre Stoffe laut EU-Richtlinien für Oberflächenwasserqualität sind. Interessanterweise waren sie früher als PSM zugelassen (in Europa und in den meisten Staaten sind sie mittlerweile nicht mehr als PSM zugelassen).

BESTIMMUNG UND BEWERTUNG VON TRANSFORMATIONSPRODUKTEN, DIE IN GEWÄSSERN NICHT MINERALISIERT WERDEN

Bei der Bewertung von Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen (GBM) zur Verbesserung des ökologischen Zustands von Grund- und Oberflächengewässern wurden mögliche Effekte auf eine verstärkte Mobilisierung von Pestiziden und insbesondere der Produkte ihres unvollständigen Abbaus bislang vernachlässigt. In der aquatischen Umwelt sind biologischer Abbau, Photolyse und Hydrolyse die relevanten Prozesse für Um- und Abbau von chemischen Substanzen. Daten über Transformationsprodukte (TP) und deren Eigenschaften sind daher notwendig um Risiken einschätzen zu können. Die untersuchten Pestizide sind teilweise schon sehr lange auf dem Markt und im Rahmen der gesetzlich geforderten Zulassungen werden u. a. Untersuchungen zum Abbau verlangt. Dennoch fehlen gerade in diesem Bereich Informationen zum Abbau in der aquatischen Umwelt und zu möglicherweise entstehenden TP.

In den letzten Jahren hat es sich gezeigt, dass TP zwar oft polarer sind als ihre Muttersubstanz (MS) und damit mobiler in der aquatischen Umwelt, aber die Annahme, dass sie dadurch generell besser biologisch abbaubar wären, hat sich nicht bestätigt. Dieses ist, neben der Tatsache, dass eine entsprechende Analytik wie die Massenspektroskopie lange nicht verfügbar war, vielleicht auch einer der Gründe, warum TP generell lange unterschätzt wurden.

Im Falle der Pflanzenschutzmittel (PSM) sind im Rahmen des Zulassungsverfahrens zwar Untersuchungen zur Abbaubarkeit in Böden und in geringem Umfang im Wasser notwendig, jedoch wurden bisher TP, die nicht mehr im Sinne der MS aktiv sind, in der wässrigen Phase zu wenig betrachtet. Sie stellen jedoch eine Eintragsquelle für Stoffe bis ins Trinkwasser dar. Eigenschaften und Umweltverhalten dieser TP sind größtenteils noch unbekannt und konnten daher bisher nicht bewertet bzw. nicht ins Gewässermanagement einbezogen werden.

ERGEBNISSE

Ergänzend zu Informationen aus der Fachliteratur wurde die Entstehung von TP bei unterschiedlichen Abbauprozessen im Labor untersucht.

Hierzu wurden die Wirkstoffe zunächst in wässriger Lösung mit UV-Licht bestrahlt (photolysiert). Die resultierenden Lösungen wurden anschließend auf biologische Abbaubarkeit mit unterschiedlichen Bakteriendichten geprüft.

Diese Versuche stellen eine schnelle und kostengünstige Labormethode dar, um Aspekte des Umweltverhaltens von Pestiziden in Oberflächengewässern zu untersuchen. Die Abbautests wurden sowohl mit den reinen Ausgangssubstanzen als auch mit den Mischungen aus TP und MS durchgeführt. Die gebildeten TP wurden mit (hochauflösender) Massenspektrometrie (gekoppelt mit Flüssigchromatographie) soweit möglich identifiziert und mit der Literatur abgeglichen. Die Kombination aus Photoabbau und Bioabbau mit stoffspezifischer Analytik hat die Identifikation der TP ermöglicht, die in Gewässern nicht mineralisiert werden.

Es wurden insgesamt 32 TP von 8 Ausgangsstoffen identifiziert, von denen 13 bisher unbekannt waren. Somit hat sich die Anzahl potenziell umweltrelevanter Stoffe vervierfacht (Abb.1).

Die aus den Laboruntersuchungen abgeleiteten physikochemischen Eigenschaften wurden unter Berücksichtigung der chemischen Strukturen der einzelnen TP mit Methoden der Chemieinformatik (Struktureigenschaftenbeziehungen,

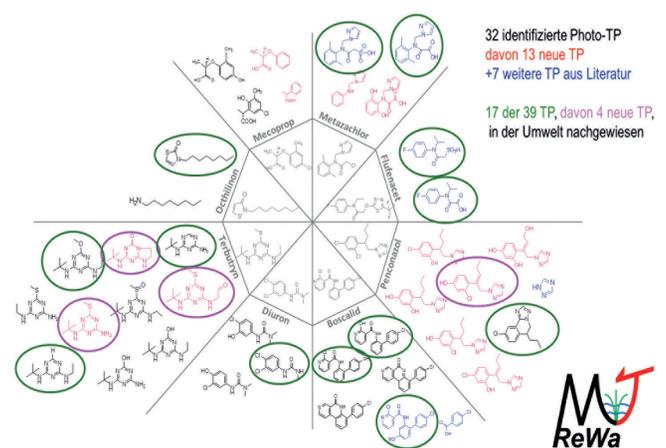


Abb. 1: Ausgehend von den 8 untersuchten Pestiziden konnten 32 photo-TP identifiziert werden. 13 TP (rot) waren bisher unbekannt. Aus Literaturrecherchen ergaben sich 7 weitere in Böden gebildete Abbauprodukte (blau). 17 TP der insgesamt 39 analysierten TP wurden in MUTReWa Umweltproben gefunden (eingekreist).

QSPR) ebenfalls berechnet und ergänzt. Die für die Mobilität und Persistenz ermittelten Stoffeigenschaften lassen vermuten, dass von den 32 identifizierten TP 30 TP mobiler als ihre MS und 28 TP genauso persistent wie ihre MS sind.

Um erste Kenntnisse über die Toxizität der TP im Verhältnis zu den MS zu gewinnen, wurden Proben aus den Abbauteams untersucht – jeweils vor und nach dem entsprechenden Abbauteam. Als erster Eingangstest diente die Untersuchung der Wachstums- und Leuchthemmung (akut und chronisch) in einem modifizierten Leuchtbakterientest. Eine anschließende Untersuchung der Gentoxizität erfolgte mit dem umuC-Test (ISO13829). Für die weitere Charakterisierung ihres Umweltrisikos wurden für die einzelnen TP die toxischen Eigenschaften ebenfalls mit Methoden der Chemieinformatik (Strukturaktivitätsbeziehungen, QSAR) berechnet. Experimentelle Untersuchungen zur Gentoxizität von MS und TP zeigten keinerlei Effekte, jedoch lieferten QSAR-Modelle für Diuron, Metazachlor, Boscalid und vier der sechs Boscalid TP Hinweise auf Gentoxizität bzw. Mutagenität.

Darüber hinaus ergaben die Berechnungen in Übereinstimmung mit der Literatur Effekte im Bereich der Teratogenität (Fehlbildungen erzeugende Wirkung von chemischen Verbindungen) für MS und TP der Pestizide Mecoprop, Diuron, Terbutryn und Penconazol. Bakterientoxizitätstests lieferten für Octhilinon, Metazachlor, Penconazol und deren photolytische Abbauprodukte Effekte, insbesondere im chronischen Leuchtbakterientest. Auffällig waren die photolytischen Abbauprodukte von Mecoprop, die im Gegensatz zur MS deutlich höhere Effekte in den Bakterientoxizitätstests aufwiesen. Berechnungen zur Bakterientoxizität der einzelnen TP bestätigten diese Ergebnisse mit Positivbefunden für zwei von vier Mecoprop TP und für Mecoprop selbst sowie für Penconazol und eines der sieben TP.

Darüber hinaus wurden Hinweise auf positive Effekte für Boscalid und alle fünf identifizierten TP sowie für die drei Diuron-TP gefunden.

In weiteren Laborexperimenten zur Untersuchung der Auswirkungen von Metazachlor und Flufenacet auf Makrophyten wurde deutlich, dass beide Stoffe in höheren Konzentrationen deutlich negative Auswirkungen auf die Mehrheit der untersuchten heimischen Makrophytenarten haben.

Die Ergebnisse aus dem Monitoring in den MUTReWa Untersuchungsgebieten haben gezeigt, dass sich neben 5 bekannten in Böden gebildeten Abbauprodukten insgesamt 12 der 32 im Labor experimentell ermittelten TP in Proben aus Grundwasser und Oberflächengewässer nachweisen lassen. In Kombination mit zum Teil hohen TP-Konzentrationen in Grund- und Oberflächenwasser zeigen die Ergebnisse zum Abbauverhalten der MS, der Mobilität, Persistenz sowie Human- und Ökotoxizität der TP, dass eine Gefährdung für das Trinkwasser und das Ökosystem nicht auszuschließen ist.

FAZIT

Die Anzahl potenziell umweltrelevanter Stoffe wurde durch ihren unvollständigen Abbau unter simulierten Umweltbedingungen vervierfacht. Aufgrund zum Teil abweichender Stoffeigenschaften der TP ändert sich auch das Umwelverhalten dieser Stoffe im Vergleich zu ihren MS. Durch eine Kombination aus modernen wissenschaftlichen Methoden zeigte sich, dass die Toxizität der TP nicht zu vernachlässigen ist und daher ein Risiko nicht ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus können Langzeiteffekte das Risiko steigern. Dabei bleibt trotz des hier gezeigten innovativen Ansatzes eine grundsätzliche Problematik der TP: Wir wissen nicht, ob alle analytisch erfasst werden konnten, auch wurden nur einige wenige Toxizitätspunkte gemessen bzw. berechnet. Die Vielzahl der neuen TP, die aus einzelnen Ausgangssubstanzen gebildet werden und bei denen es sich in der Regel um neue Stoffe handelt, müssten für weitere Untersuchungen erst synthetisiert werden. Aber selbst wenn wir alle TP analysieren könnten und als Einzelstoffe zur Verfügung hätten, würden wir bzgl. der Risikobewertung schnell an unsere zeitlichen und finanziellen Grenzen kommen: eine Vielfalt an MS, die sich laufend hinsichtlich Menge und Art ändern können, bilden je nach Bildungsbedingungen eine Vielzahl an TP, die wir in einer großen Zahl humantoxikologischer und ökotoxikologischer Tests untersuchen müssen. Die Identifizierung und Bewertung aller TP, im Sinne einer von der Spurenstoffstrategie des Bundes empfohlenen Festlegung auf relevante Spurenstoffe, ist de facto eine unlösbare Aufgabe.

Daher sollte als alternativer Ansatz zum Messen und Bewerten der Fokus auf Maßnahmen an der Quelle gelegt werden und es sollten vermehrt Stoffe zum Einsatz kommen, die besser abbaubar sind und keine bedenklichen TP bilden.

RÜCKSTÄNDE VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN LÄNDLICHEN GRUND- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSERN, STUDIENGEBIET KIELSTAU, SCHLESWIG-HOLSTEIN

Ziel war es, Transport und Transformationsprozesse der untersuchten Pflanzenschutzmittel (PSM)-Wirkstoffe in verschiedenen Gewässertypen zu erfassen, deren Effekte auf Makrophyten abzuschätzen und Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen (GBM) mit den Beteiligten vor Ort zu entwickeln. Im Einzugsgebiet (EZG) der Kielstau wurden dazu in mehreren Messkampagnen von Herbst 2015 bis 2017 Sölle, Fließgewässer (Kielstau), Grundwasser und ein Retentionsteich beprobt. Zudem wurden Uferpflanzen und Makrophyten in den Standgewässern kartiert.

ERGEBNISSE

Fließgewässer

Die Konzentrationen der Transformationsprodukte (TP) lagen deutlich höher als die der Muttersubstanz (MS) und wurden auch ein Jahr nach Applikation mit Konzentrationen bis zu 1 µg/L gemessen. Die Umweltqualitätsnormen (UQN) für Flufenacet und Metazachlor wurden in Abflusspeaks nach stärkeren Niederschlagsereignissen überschritten. MS und TP wurden synchron z. T. deutlich ausgetragen, was auf ähnliche Transportpfade schließen lässt. Die Messkampagnen erfolgten in zwei hydrologisch sehr unterschiedlichen Jahren. Es zeigte sich, dass die Kombination von (Stark-) Niederschlägen mit Applikationsterminen einen wesentlichen Einfluss auf die Austräge hatte. In Anbetracht der Klimaprognosen mit Zunahme an Starkregenereignissen muss mit steigenden Austrägen gerechnet werden.



Bild 2: Sölle, © Uta Ulrich, 2018

Sölle

Die Einträge der Zielsubstanzen in die Sölle waren sehr variabel, was vermutlich auf die unterschiedliche hydrologische Anbindung der Sölle an ihre Umgebung zurückzuführen ist. Die TP-Konzentrationen lagen um ein Vielfaches höher als die der MS und konnten auch ein Jahr nach Applikation der MS noch eindeutig detektiert werden. UQN wurden für Flufenacet teilweise überschritten, für die TP liegen keine UQN vor. In allen 10 Söllen wurden in beiden Messkampagnen beim Pestizidscreening Hintergrundkonzentrationen für die Maisherbizide Terbutylazin, Metolachlor und das TP Desethylterbutylazin gemessen, ohne dass diese im gleichen Jahr appliziert worden waren. Damit muss ein räumlich weiterer und zeitlich längerer Transport der PSM als bisher vermutet in Betracht gezogen werden.



Bild 3: Retentionsteich Winderatt, © Frank Steinmann, 2018

Retentionsteich

Der untersuchte Retentionsteich wurde durch Drainagewasser gespeist und konnte lediglich bei Basisabfluss PSM zurückhalten. Bei hohen Drainageabflüssen erfolgte der Transport überwiegend direkt quer durch den Teich, wodurch die Verweilzeit für einen Teil der PSM sehr kurz war. Das gesamte Teichvolumen wurde nicht ausreichend in den Rückhalt einbezogen.

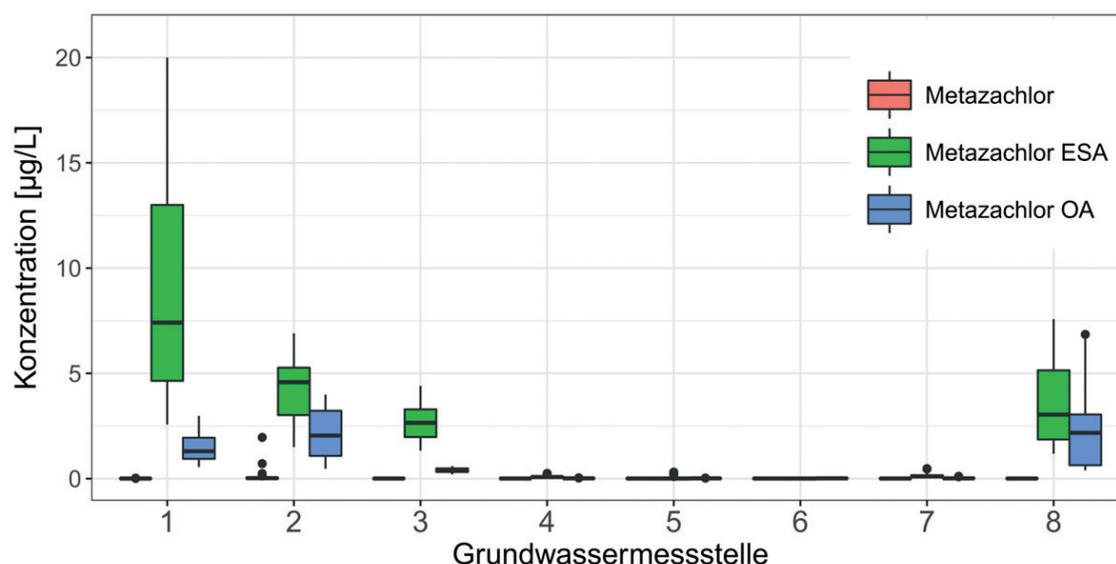


Abb. 2: Konzentrationsverteilung für Metazachlor und der TP Metazachlor-Sulfonsäure (ESA) und – oxalsäure (OA) in monatlichen Grundwasserproben der 8 untersuchten Grundwassermessstellen in Schleswig-Holstein für September 2015 bis September 2017 (n = 24 pro Messstelle).

Grundwasser

Der Wirkstoff Flufenacet wurde in den untersuchten Grundwassermessstellen einmalig nachgewiesen (0,014 µg/L). Die TP konnten hingegen mehrmals nachgewiesen werden (Sulfonsäure: 0,03 – 0,38 µg/L; Oxalsäure: 0,03 – 0,04 µg/L). Der existierende Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) für Flufenacet-Sulfonsäure von 1,0 µg/L wurde während des Untersuchungszeitraums nicht überschritten. Metazachlor wurde mehrmals in Konzentrationen unterhalb des Schwellenwertes nach Grundwasserverordnung (0,1 µg/L) nachgewiesen (0,01 – 0,09 µg/L). Nach extremen Niederschlagsereignissen sind jedoch Überschreitungen des Schwellenwertes festzustellen (0,13 µg/L – 1,96 µg/L). Der GOW der Sulfonsäure (3 µg/L) und der Oxalsäure (1 µg/L) wurde zumindest temporär oder dauerhaft überschritten. An einer Messstelle mit sandigem Untergrund konnten Konzentrationen von Metazachlor-Sulfonsäure von bis zu 20 µg/L festgestellt werden (Abb. 2).

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass eine hohe Bodenfeuchte sowie hohe Niederschlagsmengen und -intensitäten nach der Wirkstoffapplikation den Eintrag von Metazachlor in das oberflächennahe Grundwasser begünstigen. Das Eintragspotential für die Flufenacet-TP und die MS selbst schien für die untersuchten Grundwassermessstellen grundsätzlich niedrig zu sein.

Dies wurde durch die niedrigen Konzentrationsnachweise der TP unterhalb des GOW bestätigt. Für die Metazachlor-TP ergab sich dagegen ein weitaus größeres Eintragspotential.

Makrophyten in Söllen

Um mögliche Effekte von PSM auf die Makrophyten-Vegetation (Ufer- und Gewässerpflanzen) der heimischen Kleingewässer zu untersuchen, wurden zehn Kleingewässer innerhalb konventionell bewirtschafteter Nutzflächen untersucht (A-Gewässer). Als Referenzgewässer wurden elf weitere Kleingewässer untersucht, die auf mit Pestiziden unbehandelten Flächen liegen (R-Gewässer).

Insgesamt wurden 76 Pflanzenarten nachgewiesen, darunter 46 Makrophyten. 19 Arten der Ufer- und Gewässerpflanzen, darunter 12 Makrophyten, werden in der Roten Liste der gefährdeten Pflanzenarten Schleswig-Holsteins geführt.

Es zeigte sich, dass an den A-Gewässern im Durchschnitt 16 Pflanzenarten pro Gewässer, an den R-Gewässern hingegen 19 Pflanzenarten nachgewiesen werden konnten. Insbesondere gefährdete Arten wurden in den A-Gewässern seltener nachgewiesen als in den R-Gewässern (statistisch signifikant).

RÜCKSTÄNDE VON PFLANZENSCHUTZMITTELN IN LÄNDLICHEN GRUND- UND OBERFLÄCHENGEWÄSSERN, STUDIENGEBIET KIELSTAU, SCHLESWIG-HOLSTEIN

Eine besonders geringe Artenzahl wiesen die A-Gewässer mit einem direkten Eintrag von Oberflächenwasser aufgrund fehlender oder unzureichender Randverwallung auf.

Maßnahmen

Die Diskussionen möglicher Maßnahmen im Rahmen des Praxis- und Expertenrats zum Schutz von Oberflächengewässern und des Grundwassers zeigten, dass deutliche Interessenkonflikte zwischen Wasserwirtschaft, Umwelt- und Naturschutz und der Landwirtschaft bestehen.

Mögliche Maßnahmen wären ein geringerer Einsatz von PSM durch Aufweitung von Fruchtfolgen, die Einrichtung von Randstreifen sowie Randverwallungen an den Oberflächengewässern. Einer Umsetzung dieser Maßnahmen standen erhebliche Vorbehalte seitens der Praxis entgegen.

Diese Vorbehalte wurden durch eine gegenwärtig fehlende rechtliche Absicherung begründet, die eine freie Bewirtschaftung von bepflanzten Randstreifen zukünftig garantiert. Bei einer rechtlichen Absicherung wurde von den Landwirten die grundsätzliche Bereitschaft zur freiwilligen Umsetzung von bewachsenen Randstreifen und Randverwallungen signalisiert. Aus Sicht der Landwirte ist es wünschenswert, solche Themen gemeinsam im Dialog weiter zu entwickeln.

FAZIT

Grund- und Oberflächengewässer sind durch PSM-Einträge, insbesondere durch hohe Konzentrationen der TP, gefährdet. Für eine Bewertung dieser TP in Oberflächengewässern müssen zunächst UQN geschaffen werden. Im Bereich der Grundwasserüberwachung- und Bewertung müssen UQN harmonisiert werden. Das zeitlich hoch aufgelöste Grundwassermonitoring in monatlichen Intervallen hat die hohe Dynamik von Konzentrationen der untersuchten PSM-Wirkstoffe und TP offengelegt.

Basierend auf den vorliegenden Messdaten ist zu überlegen, inwieweit das Konzept der regulären Grundwasserprobenahme in der Praxis angepasst werden muss, um Höchstkonzentrationen von Stoffen sicher zu erfassen.



Bild 4: Kielstau von oben, © Frank Steinmann, 2018

Die Umsetzung von eintragsreduzierenden Maßnahmen für Oberflächen- und Grundwasser gestaltet sich schwierig, da der flächenhafte Eintrag über Entwässerungssysteme und der Eintrag in das Grundwasser nur über das Flächenmanagement (z. B. aufgeweitete Fruchtfolge) beeinflusst werden können.

In Diskussionsrunden mit der Praxis zeigt sich jedoch, dass Maßnahmen in der Fläche aufgrund betriebswirtschaftlicher Nachteile eine äußerst geringe Akzeptanz haben. In für den Oberflächenabfluss besonders sensiblen Bereichen könnten z. B. verschiedene Akteure (Wasserbewirtschaftungsvereine, Bodenverbände, Naturschutzvereine- und Stiftungen sowie Landwirte) durch Flächenkauf oder Förderprogramme einen Gewässerrandstreifen aufkaufen bzw. gegen Flächen tauschen und einen dauerhaft bewachsenen, ökologisch wertvollen und Einträge minimierenden Schutzstreifen anlegen.

Die Messkampagnen in den Söllen leisten durch ihre Datenerhebung zur Belastungssituation einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP).

Mögliche Schutzmaßnahmen sind Randverwallungen, die schon durch die Bodenbearbeitung entstehen, und dauerhaft bewachsene Gewässerrandstreifen mit Gehölzen.

Einträge über Zwischenabfluss bzw. oberflächennahes Grundwasser und deren Relevanz sind bislang wenig bekannt und bedürfen dringend der Aufklärung, um geeignete Gewässerbewirtschaftungsmaßnahmen (GBM) entwickeln zu können.

Die Rückhalteeffizienz von Retentionsteichen variiert mit der abflussabhängigen Verweilzeit. Daher muss die Größe des Retentionsteiches an die des EZG angepasst sein. Er sollte so angelegt sein, dass das Wasser die längst mögliche Verweilzeit im Teich hat, die ggf. durch Barrieren erhöht werden kann.



Bild 5: Existierende Randverwallung an einem Kleingewässer im Einzugsgebiet von ackerbaulicher Nutzung, © Christof Martin, 2018

AUSTRAG, VERBLEIB UND RÜCKHALT VON PFLANZENSCHUTZMITTELN UND TRANSFORMATIONSPRODUKTEN, STUDIENGEBIET LÖCHERNBACH, EICHSTETTEN AM KAISERSTUHL

In Gebieten mit Intensivlandwirtschaft gelangt ein Teil der eingesetzten Pflanzenschutzmittel (PSM) und ihrer Transformationsprodukte (TP) in die Gewässer. Am Beispiel eines Weinbaugebiets untersuchte MUTReWa das Austragsverhalten von PSM und TP sowie Maßnahmen, die eine Spurenstoffbelastung nachhaltig vermindern. Die gewonnenen Ergebnisse wurden zusammen mit Praxispartnern in der Gemeinde Eichstetten am Kaiserstuhl umgesetzt. Gezielte Information der Winzer sollte den Eintrag an der Quelle reduzieren, während ein neu angelegtes Feuchtlächensystem Spurenstoffe am Gebietsauslass zurückhalten sollte. Die Effizienz der Maßnahmen wurde durch ein Monitoring (2015 bis 2017) der Fungizide Boscalid und Penconazol, der Herbizide Metazachlor und Flufenacet sowie deren TP ermittelt. Zusätzlich kamen hydrologische Tracer und Stofftransportmodelle zum Einsatz.

ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus dem Monitoring zeigen, dass sich neben den PSM zehn TP in Proben aus Oberflächengewässer nachweisen lassen. Hierbei wurde deutlich, dass verschiedene Abflussverhältnisse die Mobilisierung und die Retention der Zielsubstanzen steuern.

Alle untersuchten PSM zeigten bei Basisabfluss geringe Konzentrationen im Bereich von 0,01 – 0,06 µg/L. Boscalid wurde im Vergleich zu den anderen Substanzen in jeder Probe nachgewiesen und folgte im Konzentrationsverlauf seiner Applikationsperiode im Sommer. Es wurden Sulfonsäure (ESA) und Oxalsäure (OA) als TP von Metazachlor nachgewiesen. Metazachlor-ESA und Metazachlor-OA zeigten die höchsten Konzentrationen aller analysierten Stoffe (im Maximum 0,95 µg/L und 0,65 µg/L) und dies bereits im Frühjahr, bevor die MS Metazachlor nachgewiesen wurde.

Dieses lässt vermuten, dass diese TP als Rückstände aus Applikationen aus dem Frühjahr oder dem Vorjahr in den Löchernbach eingetragen wurden. Das Feuchtlächensystem zeigte bei Basisabfluss allerdings keine Retentionswirkung für die untersuchten PSM und TP.

Bei Abflussereignissen lagen die Maximalkonzentrationen der PSM um eine Größenordnung höher (Boscalid: 8,4 µg/L; Penconazol: 0,6 µg/L; Metazachlor: 9,7 µg/L). Es ergaben sich auch vermehrt positive Befunde für vier Boscalid-TP, zwei Penconazol-TP und jeweils für die ESA und OA der PSM Metazachlor und Flufenacet. Maximalkonzentrationen von 0,14 µg/L für das Boscalid-TP, p-Chlorbenzoesäure, und mit bis zu 1,8 µg/L für Metazachlor-OA wurden nachgewiesen.

Im Feuchtlächensystem fand bei 6 von 11 Ereignissen bei allen Substanzen eine Reduktion der Frachten statt, bei weiteren 5 von 11 zumindest für eine Einzelsubstanz (Abb. 3). Bei den Maximalkonzentrationen fiel die Retentionsleistung noch günstiger aus (8 von 11, bzw. 3 von 11). So zeigen die Messergebnisse, dass zeitlich variable Abflüsse und Stoffkonzentrationen zu einer unterschiedlichen, aber größtenteils wirksamen Retentionsleistung des Feuchtlächensystems führten.

Das Modell ZIN-Agitra konnte die Mobilisierung und den Austrag der PSM und sich bildender TP im Einzugsgebiet realitätsnah nachbilden und zeigte, dass bei Abflussereignissen asphaltierte Straßen für einen Großteil der PSM-Auswaschung und landwirtschaftliche Flächen für den TP-Austrag verantwortlich sind. Die Retention von stofflichen Stoßbelastungen im Feuchtlächensystem wurde zusätzlich zu den PSM-Analysen mit hydrologischen Tracern und dem Modell OTIS charakterisiert. Dadurch konnte ein Retentionsteich mit offener Wasserfläche als wirksamstes Feuchtlächenelement identifiziert werden. Bei einem Abflussereignis wiesen verschiedene Tracer auf temporäre wie auch permanente Retentionsprozesse hin, die den PSM-Rückhalt im Feuchtlächensystem steuerten. Eine Bildung von TP im System war hingegen nicht nachweisbar. So kann der Bau von Feuchtlächen in Hinblick auf den Stoffrückhalt empfohlen werden.

Die gesamte Untersuchung erstreckte sich über zwei Jahre mit unterschiedlichen Witterungsbedingungen. Das Jahr 2016 war durch ein extrem feuchtes Frühjahr und hohen PSM-Einsatz gekennzeichnet.

Unmittelbar vor Beginn der Spritzmittelsaison des Folgejahres wurden ca. 150 Winzer im Rahmen einer verpflichtenden Fortbildung über die hohen PSM-Konzentrationen vor allem von Boscalid und Metazachlor, sowie über deren Hauptaustragswege informiert. Im Jahr 2017 lagen die Maximalkonzentrationen dann deutlich unter den Vorjahreswerten (Boscalid: Faktor 5; Penconazol: Faktor 2; Metazachlor: Faktor 25), was weitaus effizienter als die mittlere Konzentrationsreduktion durch das Feuchtlä-



Bild 6: Das neu angelegte Feuchtlächensystem im Hochwasserrückhaltebecken Breitenweg, Gemeinde Eichstetten am Kaiserstuhl; © Jens Lange, 2018

chensystem war (Boscalid: Faktor 1,4; Penconazol: Faktor 1,7; Metazachlor: Faktor 1,6). Diese positive Entwicklung war auf eine günstigere Niederschlagsverteilung aber auch auf einen bewussteren PSM-Einsatz zurückzuführen und weist somit auf die Wirksamkeit der Kommunikationsmaßnahme hin.

FAZIT

Am Beispiel Eichstetten hat sich gezeigt, dass eine Kombination von Maßnahmen wie der Kommunikation von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und entsprechenden Empfehlungen sowie der Einsatz von Feuchtlä-chen als End-of-Pipe-Maßnahme zu einer Reduzierung von PSM-Einträgen in angrenzende Gewässer führen kann. Verschiedene Analysewerkzeuge (Monitoring bei verschiedenen Abflussverhältnissen, hydrologische Tracer und prozessbasierte Stofftransportmodellierung) konnten dabei dominante Prozesse darstellen und ermöglichten auf diese Weise die Implementierung nachhaltiger Maßnahmen.

Die Akzeptanz von Feuchtlä-chen als Maßnahme zum Rückhalt und Abbau vom PSM ist bei Akteuren der Land- und Wasserwirtschaft vor allem dann hoch, wenn z. B. existierende Hochwasserrückhaltebecken entsprechend umgestaltet werden und somit kein zusätzlicher Bedarf an Fläche vorliegt.

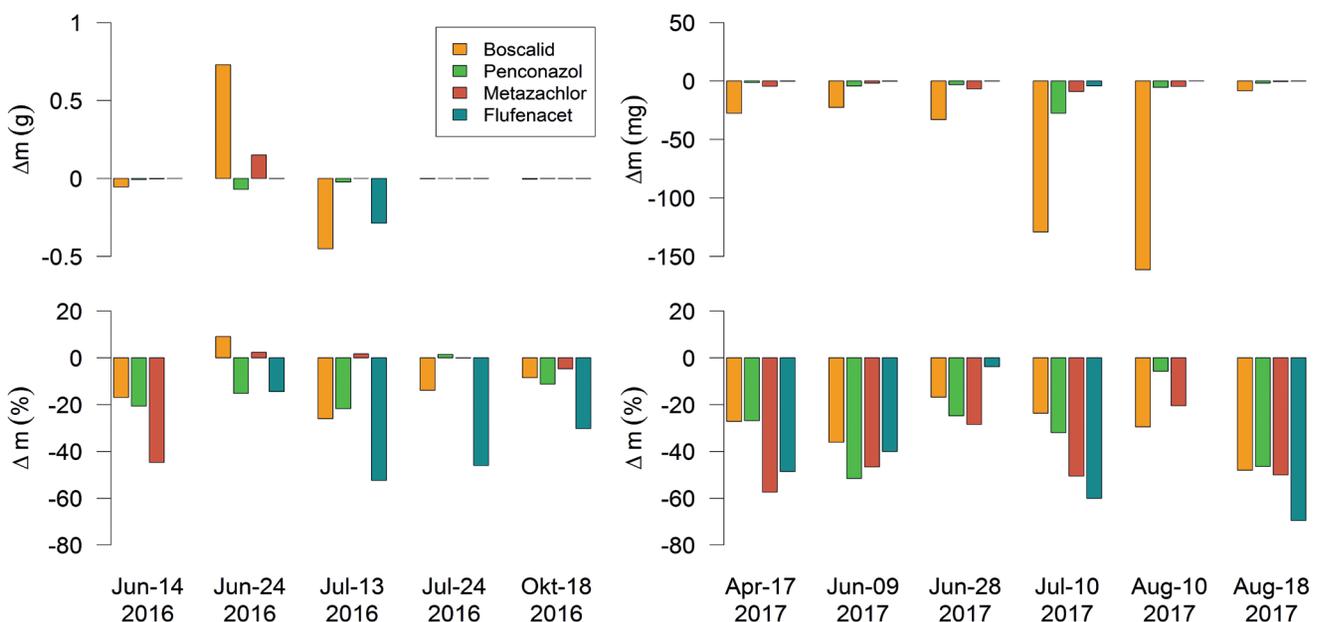


Abb. 3: Absolute und relative PSM-Massenbilanzen im Feuchtlächensystem bei Abflussereignissen 2016 (links) und 2017 (rechts)

URBANE NIEDERSCHLAGSVERSICKERUNG UND RESULTIERENDE STOFFEINTRÄGE IN DAS GRUNDWASSER, STUDIENGEBIET STADT FREIBURG

In Stadtgebieten können Maßnahmen zur Regenwasser- versickerung bei nicht ausreichender Barrierewirkung zu Grundwassereintragspfaden für biozide Wirkstoffe aus Bauprodukten (insbesondere Fassaden oder Schutzan- strichen) werden. In Freiburg im Breisgau untersuchte MUTReWa diese Problematik und setzte die Ergebnisse zu- sammen mit Praxispartnern der Stadtverwaltung um. Ein gezieltes Monitoring (Zielsubstanzen waren die Biozide Diuron, Terbutryn, Octhilinon und jeweils deren Transfor- mationsprodukte (TP)) wurde ergänzt durch Gelände- und Laborversuche. Schließlich wurde ein WEB-basiertes Pla- nungstool erstellt, das in der Stadtplanung auch über das Untersuchungsgebiet hinaus Anwendung finden kann.

ERGEBNISSE

Beprobungen von Oberflächenwasser aus drei ausgewähl- ten Mulden-Versickerungsanlagen ergaben Biozidkonzent- rationen von bis zu 0,35 µg/L für Terbutryn, 0,17 µg/L für Diuron und 0,11 µg/L für Octhilinon. Dies sind Größenord- nungen, die auch aus Trennkanalisationen anderer Städte bekannt sind. Darüber hinaus ließen sich dabei sieben TP von Terbutryn und ein TP von Diuron, jedoch keines von Octhilinon nachweisen. An einem Standort wurden zudem Diuron und Terbutryn sowie sechs Terbutryn-TP im unter- liegenden Rigolenkörper nachgewiesen.

Im angrenzenden Grundwasser eines Standortes waren zeitweise alle drei untersuchten Biozide mit maximalen Konzentrationen von 0,02 µg/L (Diuron), 0,005 µg/L (Ter- butryn) und 0,001 µg/L (Octhilinon) nachweisbar. Neben vier Terbutryn-TP konnte jeweils ein TP von Octhilinon und Diuron gemessen werden. Für letzteres, Diuron-Desmethyl (ein Photo-Transformationsprodukt von Diuron), konnte eine maximale Konzentration von 0,05 µg/L im Grundwas- serabstrom des untersuchten Mulden-Rigolen-Systems ermittelt werden.

Während Diuron und Terbutryn kontinuierlich messbar wa- ren, konnte Octhilinon lediglich bei einer Stichtagsbepro- bung in Spuren nachgewiesen werden. Durch Verdünnung im Aquifer lagen die Konzentrationen zwar deutlich unter- halb von Trinkwassergrenzwerten, waren jedoch besonders

für Diuron im Grundwasserabstrom höher als im Grund- wasseranstrom (Abb. 4).

Dies legt den Schluss nahe, dass die Barrierewirkung der Bodenpassage in der Versickerungsanlage im vorliegen- den Fall unzureichend war.

Aufgrund der bereits im Grundwasseranstrom nachgewie- senen Biozidbelastung, insbesondere für Terbutryn als In- dikator für Fassaden, und der zwar geringen aber flächen- haft aufgetretenen Octhilinonbelastung, kommen weitere

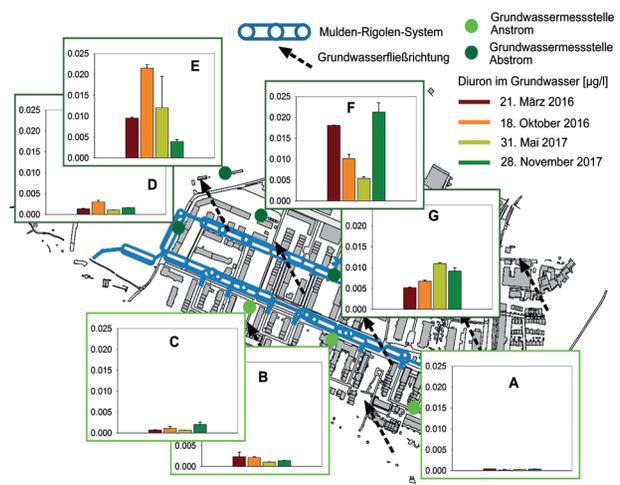


Abb. 4: Stichtagsbeprobung von Grundwasser im Umfeld eines Mulden-Rigolen-Versickerungssystems; A-C Messstellen im Grundwasseranstrom, D-G: Messstellen im Grundwasserabstrom

Eintragspfade ins Grundwasser in Betracht, insbesondere die Direktversickerung von Fassaden über Kiesdrainagen entlang der Hauswand.

Im beitragenden Einzugsgebiet entwässerte 28 % der Fas- sadenfläche auf versiegelten oder teilversiegelten Flächen und war so direkt an die Mulde angeschlossen.

Um die Herkunft der Biozidbelastung weiter zu erforschen, wurde eine nordexponierte 14-jährige Fassade über zwei Stunden beregnet und das abtropfende Wasser auf sei- nem Weg in die Versickerungsmulde mehrfach beprobt. Es gab Positivbefunde in vereinzelt Proben für Terbutryn und Octhilinon. Jedoch war insbesondere Diuron und das TP Diuron-Desmethyl in allen Proben in hohen Konzentra-

tionen nachweisbar, wobei direkt unterhalb der Fassade mit 0,59 µg/L eine 30-fach höhere Konzentrationen für Diuron-Desmethyl als für die Muttersubstanz (MS) Diuron (max. 0,017 µg/L) ermittelt wurden.



Bild 7: Fassaden als mögliche Quelle von Bioziden im urbanen Niederschlagsabfluss, © Alexander Krämer, 2018

Zur Untersuchung der Barrierewirkung der Bodenpassage von Versickerungsanlagen wurden ungestörte Bodenmonolithen von drei Versickerungsmulden verschiedenen Alters (3/10/18 Jahre) in eine Säulenversuchsanlage eingebaut. Die Analyse grundlegender Bodenparameter (Lagerungsdichte/pH/organischer Kohlenstoffgehalt) deutete auf einen Alterungsprozess der Bodenschicht im Muldenkörper hin, der unter anderem in ausgeprägten Tiefengradienten und einer erhöhten biologischen Aktivität in den älteren Mulden deutlich wurde.

In Säulenversuchen mit drei verschiedenen Tracern wies die älteste Mulde dann auch die schnellsten Tracerdurch-

brüche und die geringsten -rückhalte auf. Die eingespeisten Biozide zeigten ein ähnliches Verhalten. Am Ende der Versuchsreihen konnten Makroporen mittels eines markierenden Farbstoffes direkt visualisiert werden und zeigten in der ältesten Anlage die deutlichste Ausprägung (Abb. 5). All dies deutet auf den Einfluss bodenbildender Prozesse hin, die mit zunehmendem Anlagenalter präferentielle Fließwege verstärken und so die Barrierewirkung von Versickerungsmulden verringern können.

Als Schnittstelle zur Praxis wurde ein innovatives Web-Modell (FReWaB-PLUS) zur einfachen Simulation von Wassermengen und Stofffrachten erstellt und im Einzugsgebiet einer beprobten Versickerungsmulde in Freiburg getestet.

Dabei wurde ein 17-jähriger Zeitraum modelliert und der Gesamtaustrag von allen drei Bioziden basierend auf Literaturwerten aus Laborstudien berechnet. Vor allem für Terbutryn konnten plausible Ergebnisse erreicht werden, da das Modell die bei den Beprobungen nachgewiesenen und auch nach langer Expositionszeit noch nachweislich vorhandenen Biozidausträge in einer plausiblen Größenordnung darstellt. FReWaB-PLUS läuft ohne Installationsaufwand direkt im Webbrowser und kann dank seiner Anwenderfreundlichkeit sehr einfach von Stadtplanern und Behörden eingesetzt werden. Auch nach Projektende ist es unter www.biozidauswaschung.de frei zugänglich und kostenlos verfügbar.

In der Stadt Freiburg wurden MUTReWa-Ergebnisse vor allem bei Hinweisen und Festsetzungen in der Bauleitplanung und der Planung des neuen Stadtteils Dietenbach umgesetzt. Das Regenwasser wird hier nun semizentral drei Versickerungsmulden zugeführt und die Versickerung von Gründachabflüssen ohne Regenwasserbehandlung



Abb. 5: Brilliant Blue in Bodenmonolithen von 3 Versickerungsmulden; das Anlagenalter nimmt von links nach rechts zu, © Marcus Bork, 2018

URBANE NIEDERSCHLAGSVERSICKERUNG UND RESULTIERENDE STOFFEINTRÄGE IN DAS GRUNDWASSER, STUDIENGEBIET STADT FREIBURG

untersagt. Auch liegt den Stadtplanern und dem Umweltschutzamt nun eine FReWaB-Risikoabschätzung der zu erwartenden Biozidfracht vor.

FAZIT

Im Stadtgebiet von Freiburg konnte MUTReWa mit verschiedenen Methoden das allgegenwärtige Vorkommen von bioziden Wirkstoffen im Oberflächenabfluss und den anschließenden Eintrag in das Grundwasser durch Muldenversickerung nachweisen, wobei die Anlagenalterung insbesondere auf die Filterwirkung der Bodenpassage einen großen Einfluss hatte. Obwohl noch weitere Eintragspfade (z.B. die Direktversickerung über Kiesdrainagen) zu quantifizieren und zu bewerten sind, kann schon jetzt geschlussfolgert werden, dass Mulden-Versickerungsanlagen hinsichtlich ihrer Barrierewirkung gegenüber organischen Spurenstoffen überprüft werden müssten, was z. B. durch regelmäßige Kontrollen realisiert werden könnte. Zusätzlich kann die dezentrale Versickerung von Fassaden- und Dachabfluss auf Privatgelände als ein Risiko für das Grundwasser angesehen werden, da sie nicht kontrollierbar ist.

Für urbane Gebiete stehen vielfältige Verminderungsstrategien zum Biozideinsatz (z. B. alternative Fassadengestaltung oder biozidfreie Farben) zur Verfügung. Eine verbindliche Verpflichtung, z. B. für Stadtplaner, Handwerksbetriebe, Architekten und Baustoffhandel, sich zum Thema zu informieren, könnte für Aufklärung und mehr Akzeptanz sorgen.

Basierend auf MUTReWa-Erkenntnissen wurden erste Maßnahmen (z. B. Verbot der Direktversickerung von Dachabflüssen, Bezuschussung zur Fassadensanierung bei Verwendung ökologischer Produkte, kontrollierbare zentrale Regenwasserversickerung statt dezentral-privater in der Stadtplanung) erfolgreich im Studiengebiet umgesetzt.

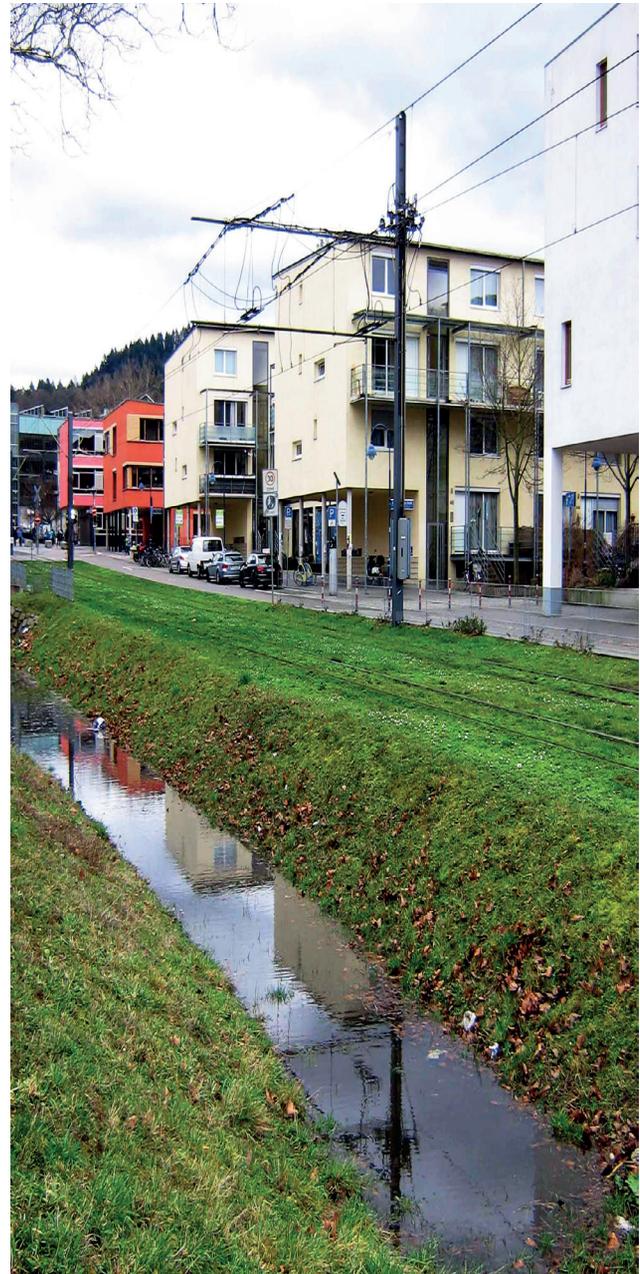


Bild 8: Untersuchte Versickerungsanlage mit Blick auf das Einzugsgebiet, © Stadt Freiburg, Nicole Jackisch, 2018

KERNERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE REGIONALE WASSERWIRTSCHAFT

KERNERGEBNISSE	ABGELEITETE MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN
BEWERTUNG ZIELSUBSTANZEN UND TP PSM: BOSCALID, PENCONAZOL, METAZACHLOR, FLUFENACET, BIOZIDE: DIURON, TERBUTRYN, OCTYLISOTHIAZOLINON, MECOPROP	
<p>Im Falle der untersuchten Pestizide wurden unter Umweltbedingungen aus einer eingebrachten, bekannten Substanz mehrere neue, oft unbekannte TP nachgewiesen.</p>	<p>TP verdienen deshalb vermehrte Aufmerksamkeit, sie legen weitere Anstrengungen zur Reduktion des Eintrags von chemischen Stoffen in die Umwelt nahe.</p>
<p>TP weisen meist eine höhere Polarität und Persistenz als die Muttersubstanz auf und sind damit in allen Wasserkörpern länger und in höheren Konzentrationen als diese zu finden. Aufgrund dieser erhöhten Mobilität und ihrer teilweise toxischen Wirkung kann eine Gefährdung für das Trinkwasser und das Ökosystem nicht ausgeschlossen werden.</p>	<p>TP-Eigenschaften und Befunde erfordern eine Anpassung in der Risikobewertung im Rahmen der Zulassung von PSM. Es sollten vermehrt Stoffe zum Einsatz kommen, die besser abbaubar sind und keine bedenklichen TP bilden.</p>
MODELLREGION TIEFEBENE: STUDIENGEBIET KIELSTAU, GEPRÄGT DURCH LANDWIRTSCHAFTLICH INTENSIV GENUTZTE FLÄCHEN (RAPS, GETREIDE, MAIS)	
<p>Die Verlagerung von PSM-Wirkstoffen und vor allem von TP gefährdet die Qualität von Grundwasser, Fließgewässern und Söllen.</p>	<p>Schutz vor Abdrift und Oberflächenabfluss durch Anlage von ausreichend breiten und bewachsenen Gewässerrandstreifen und/oder Randverwallungen. Reduzierung der Applikationsfrequenz für Wirkstoffe durch Aufweitung der Fruchtfolge und alternierenden Einsatz von Wirkstoffalternativen.</p>
<p>Wirkstoff- und TP-Konzentrationen im Grundwasser unterliegen einer hohen jahreszeitlichen Dynamik.</p>	<p>Für Erfassung von Höchstkonzentrationen müssen Konzepte für die Grundwasserüberwachung entwickelt werden, die eine jahreszeitliche Konzentrationsdynamik berücksichtigen.</p>
<p>Die Schwellenwerte zur Bewertung von Trinkwasser, Grundwasser sowie die Gefährdungsbeurteilung durch TP im Rahmen der PSM-Zulassung sind entweder nicht einheitlich oder nicht vorhanden.</p>	<p>Vereinheitlichung von Schwellen- und Grenzwerten für die Bewertung von Grundwasser, Oberflächenwasser und Trinkwasser sowie bei der Zulassung von PSM.</p>
<p>Die Dokumentation zur PSM-Ausbringung und verwendeten Menge ist für Behörden/Forschungseinrichtungen schwer zugänglich.</p>	<p>Einheitliche bundesweite Meldepflicht zur flächengenauen Erfassung von PSM-Einsatz zum Aufbau einer bundesweiten PSM-Datenbank, die für wissenschaftliche und behördliche Auswertungen (online) zur Verfügung steht.</p>

KERNERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE REGIONALE WASSERWIRTSCHAFT

KERNERGEBNISSE	ABGELEITETE MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN
Bei Basisabfluss kann die Verweilzeit von Drainagewasser und darin gelösten PSM in einem Retentionsteich verlängert werden.	Belastetes Drainagewasser sollte über End-of-Pipe-Maßnahmen wie z.B. Retentionsteiche und nicht direkt in natürliche Gewässer eingeleitet werden. Retentionsteiche sollten an ihr EZG angepasst sein und lange Verweilzeiten ermöglichen. Ein zeitlich möglichst hoch aufgelöstes Monitoring zur Bewertung der Effizienz von Retentionsteichen.
Maßnahmen zur Verminderung von PSM-Wirkstoff- und TP-Einträgen in Grundwasser und Oberflächengewässer werden aufgrund von betriebswirtschaftlichen Nachteilen in der Praxis abgelehnt.	Ausrichtung der gemeinschaftlichen Agrarpolitik auf Umweltziele.
Auswirkungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf die Umwelt sind nur einem begrenzten Kreis von Anwendern bekannt.	Regelmäßige Aufklärung der Anwender von PSM über Umweltauswirkungen im Rahmen der Ausbildung, Fortbildung und landwirtschaftlichen Beratung.
MODELLREGION MITTELGEBIRGE: STUDIENGEBIET LÖCHERNBACH, GEPRÄGT DURCH WEINANBAU	
Der Hauptaustrag von PSM fand während Ereignissen statt, während TP auch im Basisabfluss über längeren Zeitraum nach Applikation der Muttersubstanzen in erhöhten Konzentrationen nachweisbar waren.	Ein umfassendes Monitoring von kleinen landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten im Mittelgebirgsraum muss sowohl Muttersubstanzen als auch TP beinhalten und auf Ereignis- und Basisabflussbedingungen ausgerichtet sein. Bei Ereignissen empfiehlt sich eine abflussgesteuerte Punktbeprobung im Applikationszeitraum, um Maximalkonzentrationen abzubilden. Bei Basisabflussbedingungen sollte eine monatliche Stichtagsbeprobung erfolgen.
Asphaltierte Straßen mit direkter Entwässerung waren für den PSM-Hauptaustrag verantwortlich.	Im relieffierten Mittelgebirgsraum sollte das Wegenetz möglichst gering versiegelt sein und seine Entwässerung nicht direkt in Oberflächengewässer erfolgen. Die PSM-Belastung des Wegenetzes durch Erosion oder Abdrift sollte durch geeignete Maßnahmen (z.B. Randstreifen) möglichst gering gehalten werden.
Bei Ereignissen zeigte ein Feuchtflächensystem in einem Hochwasserrückhaltebecken wirksame PSM-Retentionsleistung.	Zur PSM-Elimination wird die Einrichtung von Feuchtflächen in Hochwasserrückhaltebecken generell empfohlen, da hier geeignete Flächen zur Verfügung stehen, deren Nutzung durch periodische Überflutung eingeschränkt ist.

KERNERGEBNISSE	ABGELEITETE MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN
Bei stofflicher Stoßbelastung zu Zeiten geringen Abflusses zeigte nur ein permanent durchflossener Retentionsteich wirksame PSM Retention.	Die Einrichtung von permanent durchflossenen Retentionsteichen wird zur PSM-Elimination empfohlen, da sie bei Basisabfluss die Verweilzeit von Stoffen verlängern und so verschiedene Ab- und Umbauprozesse (v. a. Photolyse) fördern können.
Wissenschaftliche Fakten zur PSM-Mobilisierung waren bei den Anwendern nicht allgemein bekannt, wodurch eine gezielte Infoveranstaltung eine Reduktion der ausgebrachten Mittel bewirken konnte.	Die Aufnahme von wissenschaftlichen Ergebnissen in regelmäßige, möglichst verpflichtende Informationsveranstaltungen für PSM-Anwender wird empfohlen.
STUDIENGEBIET STADT FREIBURG: URBANE REGENWASSERVERSICKERUNG ALS MÖGLICHER EINTRAGSWEG VON BIOZIDEN WIRKSTOFFEN IN DAS GRUNDWASSER	
Im Zulauf verschiedener Versickerungsmulden aus mindestens 10 Jahre alten Wohngebieten wurden Konzentrationen von Bioziden bestimmt, die in ähnlichen Konzentrationen auch in Trennkanalisationen anderer Städte (z. B. Berlin) beobachtet wurden.	<p>Im Oberflächenabfluss von urbanen Gebieten ist generell mit bioziden Wirkstoffen aus Auswaschung zu rechnen, unabhängig von Alter oder Nutzungsart. Biozide sollten bei der stofflichen Bewertung von Niederschlagsabflüssen und bei deren Bewirtschaftung berücksichtigt werden.</p> <p>Mit dem in MUTReWa entwickelten Modell FReWaB-Plus steht unter www.biozidauswaschung.de ein einfaches und kostenloses Webmodell zur Simulation von Wassermengen und Stofffrachten zur Verfügung. Grenzwerte für verschiedene Biozide oder aber ein effektiver Summenparameter sollten eingeführt werden. Maßnahmen zur Reduktion des Biozideinsatzes sind an der Quelle am effizientesten. Diese sind z. B. in Merkblättern des Umweltbundesamts zusammengefasst. Bei Fassaden schließt dies z. B. Folgendes ein:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Witterungsschutz (z.B. Dachüberstände, Tropfkanten) und Umgebungsgestaltung (z. B. Vermeidung Beschattung) > Verwendung schnell trocknender Oberflächenmaterialien > Verwendung umweltfreundlicher Beschichtungstypen oder, wenn Biozide unvermeidbar sind, verkapselter Wirkstoffe. <p>Alle beteiligten Akteure (z. B. Stadtplaner, Handwerksbetriebe, Architekten, Baustoffhandel, Behörden) sollten im Rahmen verbindlicher Weiterbildungen für das Thema sensibilisiert und über Alternativen informiert werden.</p> <p>Zusätzlich sollte eine Verschärfung der Produktzulassung für Bauprodukte in Erwägung gezogen werden, in welcher auch das Biozid-Auswaschungsverhalten und die ökotoxikologischen Auswirkungen geprüft werden.</p>

KERNERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE REGIONALE WASSERWIRTSCHAFT

KERNERGEBNISSE	ABGELEITETE MASSNAHMEN UND EMPFEHLUNGEN
<p>Im Umfeld eines Mulden-Rigolen-Systems lag die Konzentration verschiedener Biozide und deren Transformationsprodukte im Grundwasserabstrom deutlich höher als im Grundwasseranstrom.</p>	<p>Mit einem Grundwassereintrag biozider Wirkstoffe durch Maßnahmen zur Regenwasserversickerung muss gerechnet werden. Dies sollte als Aspekt bei der Prüfung und Zertifizierung von Regenwasserversickerungsanlagen (dezentral, zentral) eingeführt werden. Neben Mulden-Rigolen-Systemen sind noch weitere Eintragspfade (z. B. die Direktversickerung über Kiesdrainagen) in Stadtgebieten zu quantifizieren und zu bewerten.</p> <p>Der flächenhafte, langfristige Grundwassereintrag von bioziden Wirkstoffen aus Stadtgebieten sollte abgeschätzt werden.</p>
<p>Ein Vergleich verschiedener Versickerungsmulden zeigte bei zunehmendem Anlagenalter eine Abnahme der Filterwirkung.</p>	<p>Die Filter- und Barrierewirkung der Bodenpassage hinsichtlich biozider Wirkstoffe sollte bei Versickerungsanlagen regelmäßig überprüft und seitens des technischen Regelwerkes bzw. landesweiter Vorgaben verbessert werden.</p> <p>Bei älteren Versickerungsmulden ist von einem erhöhten Gefährdungsrisiko für das Grundwasser auszugehen. Dies ist bei der Anwendung von Biozidprodukten im Einzugsgebiet bestehender Versickerungsanlagen, z. B. bei Sanierungen und Stadtentwicklungsmaßnahmen, zu berücksichtigen.</p>
<p>An einer 14 Jahre alten Fassade wurde bei einem Beregnungsversuch die Auswaschung von Bioziden und einem Photo-Transformationsprodukt nachgewiesen.</p>	<p>Obwohl die Hauptauswaschung in den ersten Jahren nach dem Aufbringen erfolgt, können auch alte Fassaden Quellen von bioziden Wirkstoffen und deren TP sein.</p> <p>Die direkte Versickerung von Fassadenabfluss (z. B. über Kiesdrainagen entlang der Hauswand) sollte vermieden werden. Da viele Fassadenabflüsse nicht an die Niederschlagsentwässerung angeschlossen sind, sind hier vor allem Maßnahmen zur Biozidvermeidung an der Quelle zielführend (s. o.).</p>
<p>Im Abfluss von Gründächern wurden biozide Wirkstoffe nachgewiesen.</p>	<p>Die direkte Versickerung von Abfluss aus Gründächern ohne Vorbehandlung sollte vermieden werden.</p>

KONTAKTE

PROJEKTKOORDINATION

Leuphana Universität Lüneburg

Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie

Universitätsallee 1 C13.313a | D-21335 Lüneburg

Dr. Oliver Olsson | Fon +49.4131.677-2291

oliver.olsson@leuphana.de

Prof. Dr. Klaus Kümmerer | Fon +49.4131.677-2893, -2894

klaus.kuemmerer@leuphana.de

VERBUNDPARTNER

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Professur für Hydrologie

Friedrichstr. 39 | D-79098 Freiburg

Prof. Dr. Jens Lange | Fon +49.761.203-3546

jens.lange@hydrology.uni-freiburg.de

Professur für Bodenökologie

Bertoldstr. 17 | D-79098 Freiburg

Prof. Dr. Friederike Lang | Fon +49.761.203-3625

fritzi.lang@bodenkunde.uni-freiburg.de

Christian-Albrecht-Universität zu Kiel

Institut für Natur- und Ressourcenschutz

Abteilung Hydrologie & Wasserwirtschaft

Olshausenstr. 75 | D-24118 Kiel

Prof. Dr. Nicola Fohrer | Fon +49.431.880-1276

nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Dr. Uta Ulrich | Fon +49.431.880-1268

uulrich@hydrology.uni-kiel.de

Gemeinde Eichstetten am Kaiserstuhl

Hauptstraße 43 | D-79356 Eichstetten/Kaiserstuhl

Michael Bruder | Fon +49.7663.9323-13

bruder@eichstetten.de

Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH

Stuthagen 25 | D-24113 Molfsee

Christof Martin | Fon +49.4347.99973-0

c.martin@gfnmbH.de

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein

Hamburger Chaussee 25 | D-24220 Flintbek

Dr. Frank Steinmann | Fon +49.4347.704-450

frank.steinmann@llur.landsh.de

Stadt Freiburg i.Br., Umweltschutzamt

Fachbereich Wasserwirtschaft und Bodenschutz

Fehrenbachallee 12 | D-79106 Freiburg

Thomas Weber | Fon +49.761.201-6161

thomas.weber@stadt.freiburg.de

WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR

Mozartweg 8 | D-79189 Bad Krozingen

> Alexander Krämer | Fon +49.7633.10187-0

alexander.kraemer@wwl-web.de

> Johannes Engel | Fon +49.7633.10187-0

johannes.engel@wwl-web.de

IMPRESSUM

Herausgeber:

MUTReWa
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg
www.mutrewa.de

Redaktion:

Dr. Oliver Olsson
ReWaM - Verbundprojekt MUTReWa
Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg
Fon +49.4131.677-2291
oliver.olsson@leuphana.de

Grafisches Konzept und Layout:

Dr. Oliver Olsson, Karen Kratschmer

Druck:

Druckerei Buchheister GmbH
August-Wellenkamp-Str. 13 - 15
21337 Lüneburg

Bezug über:

Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg
Fon +49.4131.677-2291
oliver.olsson@leuphana.de

Beiträge:

Verbundpartner MUTReWa

Zitiervorschlag:

ReWaM-Verbundprojekt MUTReWa (Hrsg.) (2018):
MUTReWa - Maßnahmen für einen nachhaltigeren
Umgang mit Pestiziden und deren Transformations-
produkten im Regionalen Wassermanagement“

Download:

www.mutrewa.de/publikationen

Bildnachweise Cover:

(v.o.l.n.u.r.) Dr. Frank Steinmann, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (Schleswig-Holstein); Prof. Dr. Jans Lange, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Nicole Jackisch, Stadt Freiburg i. Br. Umweltschutzamt Abteilung III/ Fachbereich Wasserwirtschaft und Bodenschutz; Alexander Krämer, WWL Umweltplanung und Geoinformation GbR; Dr. Malte Unger, Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH; Prof. Dr. Jens Lange, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Bildnachweise Text:

- Bild 1 Prof. Dr. Jens Lange, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Bild 2 Dr. Uta Ulrich, Christian-Albrecht-Universität Kiel
- Bild 3 Dr. Frank Steinmann, LLUR
- Bild 4 Dr. Frank Steinmann, LLUR
- Bild 5 Christof Martin, Gesellschaft für Freilandökologie und Naturschutzplanung mbH
- Bild 6 Prof. Dr. Jens Lange, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- Bild 7 Alexander Krämer, WWL Umweltplanung und Geoinformation GbR
- Bild 8 Nicole Jackisch, Stadt Freiburg i. Br. Umweltschutzamt Abteilung III

Lüneburg, Mai 2018, 1. Auflage



Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie
Prof. Dr. Klaus Kümmerer
Universitätsallee 1
21335 Lüneburg
Fon +49.4131.677-2893, -2894
klaus.kuemmerer@leuphana.de

www.mutrewa.de
Projektlaufzeit: 01.04.2015 - 31.05.2018
Förderkennzeichen: 02WRM1366A

GEFÖRDERT VOM

