

PFLANZENSCHUTZMITTEL IN WASCHWÄSSERN DER LANDWIRTSCHAFT

NEUES ANLAGENKONZEPT ZUR BEHANDLUNG

Bei der Reinigung von Spritzgeräten fällt Waschwasser an, das noch Pflanzenschutzmittel enthält. Nach verbreiteter Praxis wird das Reinigungswasser mehrheitlich in aktive Güllegruben abgeleitet oder teils auf Feldern ausgebracht. Zur Behandlung wurde ein neuartiges Anlagenkonzept entwickelt und erfolgreich in der Landwirtschaft eingesetzt.

Michael Burkhardt; Alexander Englert; Philipp Hodel, HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Armin Zenker, FHNW Hochschule Nordwestschweiz
Richard Hollenstein; Martina Aeschbacher, Landwirtschaftliches Zentrum SG
Sarah Schäfer; Marco Meuwly, Creabeton Matériaux AG*

RÉSUMÉ

PRODUITS PHYTOSANITAIRES DANS LES EAUX DE LAVAGE DE L'AGRICULTURE – NOUVEAU CONCEPT D'INSTALLATION POUR LE TRAITEMENT

Des produits phytosanitaires (PPS) sont utilisés dans la culture des champs, la viticulture, les cultures fruitières et maraîchères et l'horticulture. Si les PPS parviennent dans l'environnement de façon incontrôlée, ils peuvent devenir toxiques pour les organismes même dans de faibles concentrations.

Les résidus de bouillie de pulvérisation et les eaux de lavage des appareils de pulvérisation constituent un défi particulier, car les PPS s'y trouvent sous forme concentrée. Un premier nettoyage est prévu à l'aide du système de nettoyage intérieur sur le terrain. Ensuite, un nettoyage final est effectué soit sur une surface végétalisée prévue à cet effet soit sur l'aire de l'exploitation. L'élimination de l'eau de nettoyage accumulée sur l'aire d'exploitation s'effectue par la fosse à lisier active. Si l'eau de nettoyage doit être traitée au préalable et que l'introduction directe dans l'environnement doit ainsi être empêchée, on utilise presque uniquement des traitements biologiques. À l'inverse, des solutions techniques sont quasiment absentes, bien qu'elles puissent s'avérer très performantes. Une installation construite de façon modulaire a été développée pour traiter l'eau de lavage contenant des pesticides. Le module PPS retient les PPS à l'aide de charbon actif en granulés et peut être utilisé en combinaison avec un module de particules.

EINLEITUNG

Das Vorkommen von Pflanzenschutzmitteln (PSM) in Böden und Gewässern wird seit vielen Jahren intensiv erforscht und bewertet. Kritisch diskutiert werden vor allem Wirkstoffe aus der Gruppe der Fungizide, Insektizide und Herbizide, wenn sie persistent, mobil und toxisch sind sowie Anforderungswerte in den Gewässern überschreiten [1, 2]. PSM gelangen hauptsächlich durch Abdrift, Abschwemmung und Auswaschung von den behandelten Flächen in Oberflächengewässer, wobei die diffusen Emissionen einer starken Saisonalität unterliegen und eng mit Regenereignissen nach der Applikation verbunden sind [3, 4]. Neben der praxisüblichen Applikation können die unsachgemässe Handhabung von Spritzmitteln und Abschwemmung von Reinigungsplätzen (z.B. Verschütten auf Hofplätzen, Entsorgung von Waschwasser) zu punktuellen Verschmutzungen führen. Das Befüllen und Reinigen von Spritzgeräten verursachen schätzungsweise 30 bis 50% aller Pestizidemissionen.

Zur Reduktion dieser Belastungen ist der Schweizer Aktionsplan zur «Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln» verabschiedet worden [5]. Damit sollen Risiken durch PSM halbiert und Alternativen zum chemischen

* Kontakt: michael.burkhardt@hsr.ch

Pflanzenschutz gefördert werden. Beispielsweise sind Risikominderungsmaßnahmen gegen Abdrift durch Pufferzonen entlang von Oberflächengewässern, Biotopen usw. vorgesehen [6]. Zu den Massnahmen gegen Punktquellen zählt, dass umweltschonende Behandlungssysteme für PSM-haltige Abwässer gefördert werden. Bund und Kanton unterstützen finanziell den Bau von Füll- und Waschplätzen auf Landwirtschaftsbetrieben. In einer Zusammenstellung möglicher Massnahmen wurde aufgezeigt, dass im Bereich Lagerung, Reinigung und Entsorgung von PSM am wenigsten Detailmassnahmen existieren [7].

Die Digitalisierung der Landwirtschaft erschliesst zusätzliche Reduktionsmassnahmen, die unter *Precision Farming* oder *Smart Farming* zusammengefasst werden und zum Beispiel Sensorik und Robotik umfassen. Im Projekt «Pflanzenschutzoptimierung mit Precision Farming» (PFLOPF) (www.pflop.ch) und der «Swiss Future Farm» (www.swissfuturefarm.ch) sollen neue Methoden entwickelt und getestet werden. So ist das Ziel in PFLOPF, mit technologiebasierten Massnahmen PSM-Emissionen um mindestens 25% zu reduzieren. Moderne Anlagenkonzepte zur Behandlung von PSM-haltigem Waschwasser gehören zu den technologiebasierten Massnahmen.

SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT

In der Schweiz gibt es aktuell 50 000 Landwirtschaftsbetriebe, wobei in den letzten 20 Jahren rund 20 000 Betriebe aufgegeben wurden. Bemerkenswert ist, dass Betriebe mit >30 ha Nutzfläche deutlich zugenommen haben und heute 21% Anteil umfassen [8]. Seit 2000 nahm deren Fläche um 202 000 ha (+69%) zu, sodass 2018 nahezu 50% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche durch Betriebsgrössen >30 ha (schweizweit ca. 500 000 ha) bewirtschaftet werden [9]. Im Zuge der Betriebspezialisierung und -zusammenlegungen hat die Bedeutung von Lohnunternehmen als Dienstleister in der Landwirtschaft zugenommen. Lohnunternehmen setzen überbetrieblich spezialisierte und teure Maschinen ein und übernehmen verstärkt die Ausbringung von PSM.

Die Verbrauchsmenge von PSM in der Landwirtschaft belief sich im Jahr 2018 auf rund 2048 Tonnen, davon 225 Tonnen Wirkstoffe mit besonderem Risikopotenzial [10].

WASCHWASSER IN DER LANDWIRTSCHAFT

MENGEN UND BELASTUNGEN

Spritz- und Sprühgeräte sowie Tankbehälter müssen regelmässig innen und aussen gereinigt werden. Dadurch entstehen variierende Mengen an PSM-belasteten Waschwässern, die sich in Zusammensetzung und PSM-Konzentration unterscheiden:

- Spritzbrühen mit sehr hoher Stofffracht (technisch unvermeidbare Restmengen)
- Innenreinigung mit hoher Fracht (teils mit Reinigungsmitteln)
- Aussenreinigung mit niedriger bis mittlerer Fracht
- Fahrzeugwäsche mit niedriger Fracht

Das Waschwasser fällt in der Vegetationsperiode (März bis November) an. Die Menge beruht auf der Anzahl Reinigungen sowie den eingesetzten Wassermengen. Nach eigenen Erhebungen entstehen bei der Reinigung von Spritz-/Sprühgeräten und Behältern zwischen 50 und 800 Liter je Waschgang. Bezogen auf eine Spritzsaison resultieren rund 2 bis 100 m³ Waschwasser pro Betrieb. Die Spannweite ist also gross. Beispielsweise entstanden bei einem Obstbaubetrieb mit Aufsattelsprühgerät auf Kleintraktor 4 m³ Waschwasser pro Jahr durch 10 bis 20 Reinigungen (50 bis 200 l pro Waschgang), dagegen bei einem Lohnunternehmen mit grosser Feldspritze ca. 45 m³ Waschwasser pro Jahr durch 75 Reinigungen (300 bis 800 l pro Waschgang).

Bei mehreren Landwirten und Lohnunternehmen wurden die eingesetzten Produkte abgeklärt. Die Spritzmittel stehen als Emulsions-, Suspensions-/Dispersi-

onskonzentrate, wasserdispergierbare Granulate, wasserlösliche Granulate/Pulver, Öldispersionen und Kapselsuspensionen zur Verfügung. Aufgrund der hohen Konzentrationen der Wirkstoffe und produktspezifischer Additive wie Solvent-Naphta, Polyethylenglykol, Kalzium-Dodecylbenzolsulfonat (Tensid), Öl, Xylol und ethoxylierte Alkohole (Tenside) sind viele Waschwässer durch milchige Trübung gekennzeichnet.

Zur Klärung der effektiven Belastung von Waschwasser wurden mehrere Stichproben nach einer Methanol-Extraktion auf den PSM-Gesamtgehalt mittels LC-MS/MS auf 308 PSM gescreent.

In *Tabelle 1* sind einige Ergebnisse bezogen auf die Anwendungskonzentration und die nachgewiesenen Waschwasserkonzentrationen dargestellt. Die Unterschiede weisen auf eine 10- bis 30-fache Verdünnung durch das Reinigungswasser hin. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Waschwassermengen dürften 1 bis 3 Liter Spritzbrühe angefallen sein, die bei der Reinigung verdünnt wurden. Bei geringer Verdünnung liegen einige Wirkstoffe im Waschwasser noch partikulär vor.

ENTSORGUNG UND BEHANDLUNG

Die vorgesehene Entsorgungspraxis für Waschwasser aus Spritzen- und Tankreinigung besteht darin, dieses mehrheitlich in eine aktive Güllegrube abzuleiten oder teils breitflächig auf einer bewachsenen landwirtschaftlichen Nutzfläche oder einem abgeernteten Feld, auf denen PSM-Anwendungen zulässig sind, auszubringen. Bei der Ausbringung des Waschwassers auf eine bewachsene landwirtschaftliche Nutzfläche muss diese so beschaffen sein, dass eine Grundwasser-Verunreinigung ausgeschlossen ist und

Probe	Produkt	Wirkstoffe	Anwendung (mg/l)	Waschwasser (mg/l)
1	Brasan Trio (Syngenta)	Dimethachlor	3750	500
		Naproamid	3750	500
2	Brasan Trio (Syngenta)	Dimethachlor	3750	<10
		Naproamid	3750	225
3	Tilmor (Bayer)	Prothioconazol	480	19
		Tebuconazol	960	59
4	Toprex (Syngenta)	Difenoconazol	625	30
		Paclobutrazol	313	18
5	Fusilade Max Slick (Syngenta)	Fluazifop-P-butyl	625-750	21
		Difenoconazol	30-125	12

Tab. 1 PSM-Konzentrationen in Proben von Waschwasser aus Spritzenreinigungen.

das Waschwasser nicht abgeschwemmt werden oder in einen Einlaufschacht gelangen kann [11].

Die Fläche muss so beschaffen sein, dass eine Grundwasserverunreinigung ausgeschlossen ist, das Waschwasser nicht abgeschwemmt wird oder in einen Einlaufschacht gelangen kann [11]. Ein Mindestabstand von 10 m zu im Abstrom liegenden Oberflächengewässern, Einlaufschächten und entwässerten Strassen ist einzuhalten, und die Ausbringung in Grundwasserschutz-zonen S2 ist nicht zulässig. Der Standort darf dafür nur einmal jährlich genutzt werden. Eine mehrmalige Nutzung pro Jahr ist nur zulässig, wenn weder die Reinigung auf einem Feld noch auf einem dichten Waschplatz möglich ist, und wenn die zuständige (kantonale) Behörde zum Schluss kommt, dass eine Grundwasserverunreinigung oder eine unzulässige Belastung des Bodens auch langfristig ausgeschlossen werden kann. Diese Vorgaben konsequent einzuhalten, stellt die landwirtschaftliche Praxis vor grosse Herausforderungen, insbesondere bei grösserem Waschwasseranfall. Eine Kontrolle erscheint ebenfalls herausfordernd.

Deshalb ist die etablierte Praxis, dass die Gerätereinigung auf einem Waschplatz vorgenommen wird. Vom dichten Waschplatz wird das Waschwasser in ein aktives, dichtes Güllelager oder in einen separaten Sammel-tank eingeleitet.

Bei der späteren Ausbringung mit der Gülle soll gewährleistet sein, dass die Verdünnung der PSM mit Hofdünger und anderem Abwasser hoch genug ist, um Phytotoxizität auszuschliessen. Die Praxis zeigt jedoch, dass dies nicht auf jedem Betrieb gewährleistet ist oder Güllelager fehlen. Speziell bei Lohnunternehmen mit aktiver Güllegrube kann die notwendige Verdünnung alleine wegen der grossen Waschwassermengen nicht immer sichergestellt werden.

Diese Betriebe sollen ihre PSM-haltigen Waschwässer in einem separaten Tank sammeln und sie einer der folgenden drei Spezialbehandlungsarten zuführen [12, 13]:

- Biologische Behandlung
Stoffrückhalt und -abbau in Substrat (Boden, Stroh, Kompost), Wasser verdunstet (Produkte: Biobed, Biobac®, Vertical Green BiobedTM, Phytobac®, Heliosec, RemDry, Biofilter)

- Physikalische Behandlung
Stoffanreicherung in semipermeablen Kunststoffsäcken, Wasser verdunstet (Produkt: Osmofilm)
- Physikochemische Behandlung
Stoffrückhalt mittels Filtration und Adsorption, Wasser wird rezykliert oder eingeleitet (Produkt: «Ultrafiltration»)

Biologische Systeme mit Substrat werden am häufigsten eingesetzt (Biobed, Biobac usw.). Diese Anlagen sind meist sehr platzintensiv und beruhen auf dem Prinzip der Verdunstung, die gerade in den Herbst- und Wintermonaten sehr gering ausfällt und somit hohe Speicherkapazitäten erforderlich macht. Herbizid-Rückstände können darüber hinaus die Begrünung beeinträchtigen, was die Verdunstungsleistung der Anlagen weiter reduziert [12]. Die Entsorgung der Substrate muss nach einer gewissen Zeit (ca. 10 Jahre) erfolgen und das Substrat erneuert werden. Zu den effektiv vorliegenden PSM-Gehalten und deren Metaboliten in den Substraten liegen kaum Resultate vor, es ist aber anzunehmen, dass die PSM-Gehalte hoch sind. Beim System Biofilter kann das behandelte Sickerwasser für das Anmischen von Spritzbrühe oder die Bewässerung genutzt werden [12].

Technische Behandlungssysteme sind wenig verbreitet, obwohl sie witterungsunabhängig, zuverlässig und schnell arbeiten. Die Anwendung von semipermeablen Kunststoffsäcken, die auf der Verdunstung des Wassers beruhen, ist für Betriebe mit hohen Waschwassermengen ungeeignet. Nachfrage besteht jedoch nach leistungsfähigen technischen Behandlungssystemen, welche flexibel im Einsatz sind, eine kontrollierte Entsorgung ermöglichen und nicht wertvolle Betriebsflächen belegen.

TECHNISCHE ANLAGE FÜR WASCHWÄSSER

Für die Behandlung von Waschwässern wurde eine automatisch gesteuerte Anlage zur PSM-Elimination entwickelt, um PSM-Emissionen in Boden und Gewässer zu minimieren (Box S. 78). Aufgrund der Wassermatrix fokussierte die Entwicklung auf zwei Module: der Partikelabscheidung (GUS-Modul) gefolgt von der PSM-Elimination (PSM-Modul). Das GUS-Modul wird nachfolgend nicht näher vorgestellt. Das PSM-Modul nutzt das Verfahrenskonzept von GAK-Kolonnen, eine Technologie, die bei der Behandlung von

kommunalem und industriellem Abwasser schon lange etabliert ist.

LABOR – AUSWAHL GEEIGNETER AKTIVKOHLE

Für die nicht selektive Bindung von PSM sollte ein Adsorber gefunden werden, der bei hoher Wasserleitfähigkeit (Korngrösse, Form) und kurzen Wasserkontaktzeiten (Porenverteilung, Materialart) hohen Stoffrückhalt aufweist. Untersucht wurden neun Materialien, u. a. ein karbonisiertes Polymer (AF-5) sowie granuliert und extrudiert Aktivkohlen (GAK-1, GAK-2, GAK-3, GAK-4).

Die Adsorptionkinetiken und -kapazitäten wurden in Batch-Versuchen (Doppelbestimmung, Horizontalschüttler 100 rpm) ermittelt. Jeweils 500 mg Adsorber wurden in 100 ml PSM-Lösung eingewogen. Auf Überkopfschütteln wurde verzichtet, weil damit die Kohlen übermässig mechanisch beansprucht und sie später in einer Säule nur durchströmt werden. Als Leitsubstanzen dienten vier verbreitete PSM, die gut messbar sind und deren Wasserlöslichkeiten (WL) und Verteilungskoeffizienten Wasser/Oktanol (K_{ow}) breit streuen: Mecoprop (K_{ow} -0,19, WL 890 mg/l), Diuron (K_{ow} 2,87, WL 35 mg/l), Metamitron (K_{ow} 0,85, WL 1700 mg/l) und Pyrimethanil (K_{ow} 2,84, WL 120 mg/l). Nach 7, 15, 30, 60 und 1440 min (24 Stunden) wurden jeweils Proben entnommen und mit LC-MS/MS analysiert.

Exemplarisch dargestellt sind in *Figur 1* die Resultate von fünf Adsorbentmaterialien (GAK-1 bis GAK-4, AF-5). Die PSM-Eliminationen nahmen mit zunehmender Wasserkontaktzeit zu. Die Ergebnisse zeigten über 60 min keine klare Produktdifferenzierung. Tendenziell waren aber GAK-1, gefolgt von GAK-4 und AF-5, geringfügig besser. Nach 24 Stunden lagen die Eliminationen zwischen 55 und 99,99 Prozent. Unter allen Materialien nahmen die Eliminationen bei GAK-1 am gleichmässigsten zu und erreichten nach 24 h die höchste PSM-Elimination aus der Lösung. Da geringe Materialkosten und grössere Korngrössen bei der Auswahl priorisiert wurden, wurde GAK-4 ausgewählt.

TECHNIKUM – TESTS MIT PILOT-ANLAGE

Für den Pilottest wurde ein Betonrundschaft (DN 1000, Höhe 1,7 m), typisch

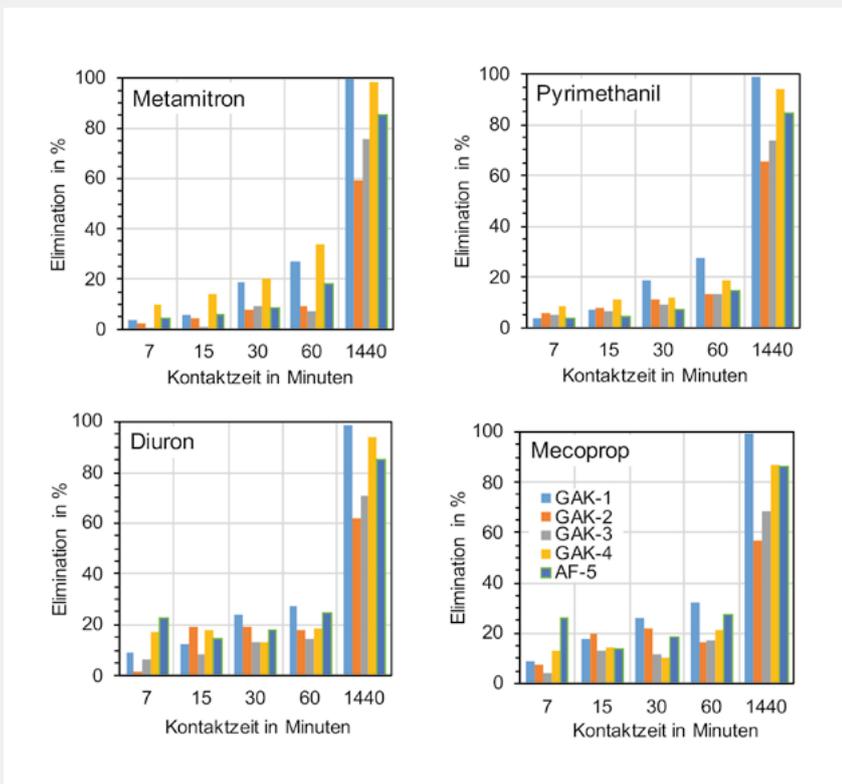


Fig. 1 Die Elimination (%) entspricht dem Rückhalt der vier PSM durch Bindung an den vier granulierten Aktivkohlen (GAK-1, GAK-2, GAK-3, GAK-4) und dem Polymer (AF-5), ermittelt zu fünf Kontaktzeiten.

für Unterflureinbau, mit vier Adsorptionssäulen (je 400 mm Durchmesser, 900 mm Füllhöhe GAK-4, 200 kg) bestückt. Die Säulen wurden im Behälter auf einen 0,3 m hohen Standfuss trockenfallend platziert und darunter war ein Pumpensumpf angelegt. Das Wasser wurde im Batchbetrieb (1 m³) aus einem Vorlagetank über einen justierbaren Tüllenverteiler (patentiert) gleichmässig auf die Säulen verteilt. Nach jedem Durchgang wurde das Wasser in einen zweiten Tank gepumpt. Insgesamt 17 Behandlungen mit den GAK-Säulen wurden durchgeführt, um den gewünschten hohen Wirkungsgrad zu erzielen.

Zwei synthetisch hergestellte Waschwässer wurden nacheinander behandelt. Im ersten Waschwasser waren 45 mg/l Diuron (Diuron 80) und 45 mg/l Mecoprop-P (95 % Nufarm), im zweiten 33 mg/l Metamitron (Goltix compact) und 29 mg/l Pyrimethanil (Papyrus) in je 1000 Liter Leitungswasser eingemischt. Nach jedem Durchlauf wurden Proben für die PSM-Analytik genommen und der pH, die Temperatur und die Leitfähigkeit gemessen. Nach der ersten Zirkulation war die Trübung bei beiden Behandlungen fast vollständig entfernt. Der pH-Wert der Vorlagelösung lag bei 7,8 und stieg mit der siebzehnten Säulenpassage auf maximal

pH 9,1 an. Die Temperatur lag im Bereich von 9,2 und 14,4 °C und die Leitfähigkeit zwischen 574 und 703 µs/cm.

Der stoffliche Wirkungsgrad ergibt sich aus dem Rückhalt bezogen auf die Zulauf-fracht. Jedes der vier PSM wurde bereits mit der zweiten Säulenzirkulation zu ca. 99% eliminiert. Die gute Elimination führte zu einer starken Konzentrationsabnahme. Innerhalb von zwei Stunden nahmen die Konzentrationen der vier PSM um mehr als das 8000-fache ab (Fig. 2). Über den gesamten Versuch belief

sich die PSM-Elimination auf >99,997%, unabhängig vom stoffspezifischen K_{ow} oder WL. Der Rückhalt bezogen auf die jeweils vorhergehende Zirkulation reduzierte sich dabei von > 90% im ersten Durchlauf auf ca. 20% ab der 10. Zirkulation. Mit abnehmender Konzentration ging die Eliminationsrate je Durchlauf zurück, weil der Konzentrationsgradient an der GAK-Oberfläche kleiner wurde.

Die Residualkonzentration von Diuron betrug (17. Zirkulation) 1,4 µg/l, von Mecoprop und Metamitron 1 µg/l, und von Pyrimethanil nur noch 0,6 µg/l. Bemerkenswert ist, dass bereits ab dem fünften Durchlauf die Konzentrationen <10 µg/l lagen (Fig. 2).

Die Behandlungszeit bei den hier eingestellten Betriebsparametern umfasste 36 min pro Zirkulation, demnach ca. 10 Stunden für alle 17 Zirkulationen. Durch eine Erhöhung des Beschickungsvolumenstroms und die Verlängerung der GAK-Säulen lässt sich die Behandlungszeit für eine Charge um Faktor 2 bis 3 verringern.

FELD - BEHANDLUNG VON WASCHWÄSSERN

TECHNISCHE INSTALLATION UND PROBEENTNAHME

Bei einem Lohnunternehmen und einem Obstbauern im Kanton St. Gallen wurden zwei Pilotanlagen in überdachten Waschplätzen installiert. Nachfolgend vorgestellt wird die Feldstudie bei dem Lohnunternehmen, die über sechs Monate (Juni bis November 2019) andauerte. Bis anhin leitete der Betrieb das Waschwasser (bis 800 Liter pro Reinigung) in eine Güllegrube (300 m³) und brachte

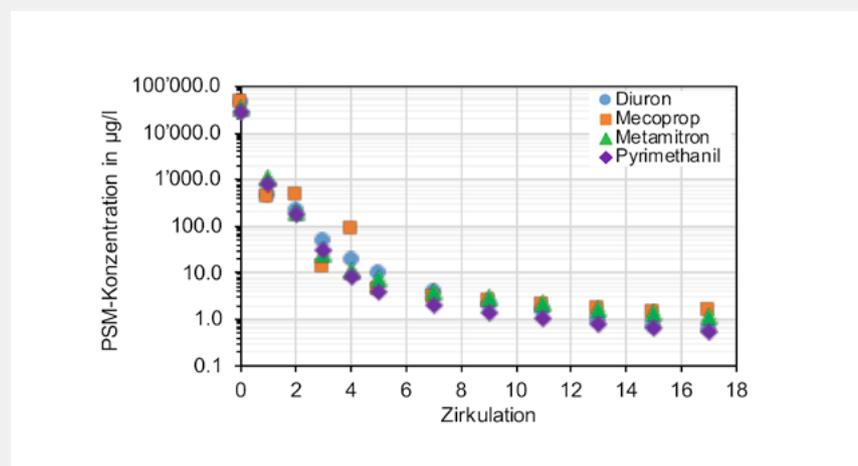


Fig. 2 Konzentrationsverlauf (µg/l) von den Wirkstoffen Diuron, Mecoprop, Metamitron und Pyrimethanil im behandelten Ablaufwasser der Pilotanlage im Technikum.

es auf Grünland aus. Washwässer von 26 Reinigungen wurden über 20 Batch-Behandlungen gereinigt, entsprechend rund 13 m³ Washwasser.

Das Wasser wurde während der Spritzenreinigung mit einer Pumpe in das GUS-Modul gefördert und anschliessend in IBC-Container abgeleitet. Im GUS-Modul wurden Feststoffe durch Sedimentation und Filtration entfernt. Die vorbehandelten Washwässer wurden in den IBC-Containern zur Behandlung im PSM-Modul vorgehalten. Im PSM-Modul zirkulierte das vorbehandelte Wasser (= Ausgangslösung) je 20-mal über zwei GAK-Säulen (je 50 kg GAK-4) im Kreislauf. Von 10 der 20 behandelten Batches wurden Proben der Ausgangslösung und der Lösung nach 20 Zirkulationen über die GAK-Säulen genommen. Die Parameter pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, CSB_{gesamt}, CSB_{gelöst}, TOC, DOC und Trübung wurden begleitend zu der PSM-Analytik bestimmt. Über die Feldstudie hinweg waren 21 PSM in jeder Probe nachweisbar.

ERGEBNISSE ZUM PSM-RÜCKHALT

Die Ausgangslösungen repräsentieren die Stoffkonzentrationen nach der Behandlung im GUS-Modul. Durch Sedimentation und Filtration im GUS-Modul sowie der Lagerung bis zur Behandlung im PSM-Modul entsprachen die Konzentrationen der Ausgangslösungen nicht den effektiven Washwasserkonzentrationen. Diese waren durchweg höher einzuordnen.

Die pH-Werte in den Ausgangslösungen schwankten zwischen 7,0 und 8,0 und nach der Behandlung zwischen 8,0 bis 9,0. Die Leitfähigkeiten erhöhten sich von rund 400 µs/cm auf 750 µs/cm nach der GAK-Behandlung, wobei über die Behandlung eine Zunahme von 33 bis zu 152 µs/cm beobachtet wurde.

In den Ausgangslösungen waren 21 PSM nachweisbar, deren Konzentrationen zwischen rund 5 µg/l und 27 mg/l (Spannbreite Faktor 5400) lagen. Amidosulfuron, Flufenacet, Metolachlor und Terbutylazin traten mit den höchsten Konzentrationen auf (Fig. 3). Werte <25 µg/l sind

nicht dargestellt, ebenso wenig Abamectin und Acetamidrid, weil beide Stoffe nur in einer einzigen Ausgangslösung auftraten. Von den quantifizierten PSM wurden während des Monitorings drei PSM nicht gespritzt (Flufenacet, Linuron, Prosulfocarb). Das Vorkommen ist auf Rückstände in der Spritze, dem Tank oder den Leitungen zurückzuführen.

Die Ablaufkonzentrationen lagen bei mehr als der Hälfte der PSM zwischen 1 und 20 µg/l (14 Wirkstoffe) (Fig. 3). Ausnahmen bildeten Azoxytrobilin, Fluazinam und Metribuzin mit 20 bis 50 µg/l, und Fluopyram, Metolachlor, Tebuconazol und Terbutylazin mit durchschnittlich 50 bis 100 µg/l, vereinzelt sogar 150 µg/l (Metolachlor). Amidosulfuron, das nach der Hälfte aller Behandlungen erstmals auftauchte, weist Konzentrationen zwischen 351 und 760 µg/l auf. Die PSM-Elimination lag bis zum elften Washgang >99% und nahm anschliessend auf rund 90% ab, weniger stark als die Elimination von CSB und DOC. Diese Abnahme weist auf die Limitierung der

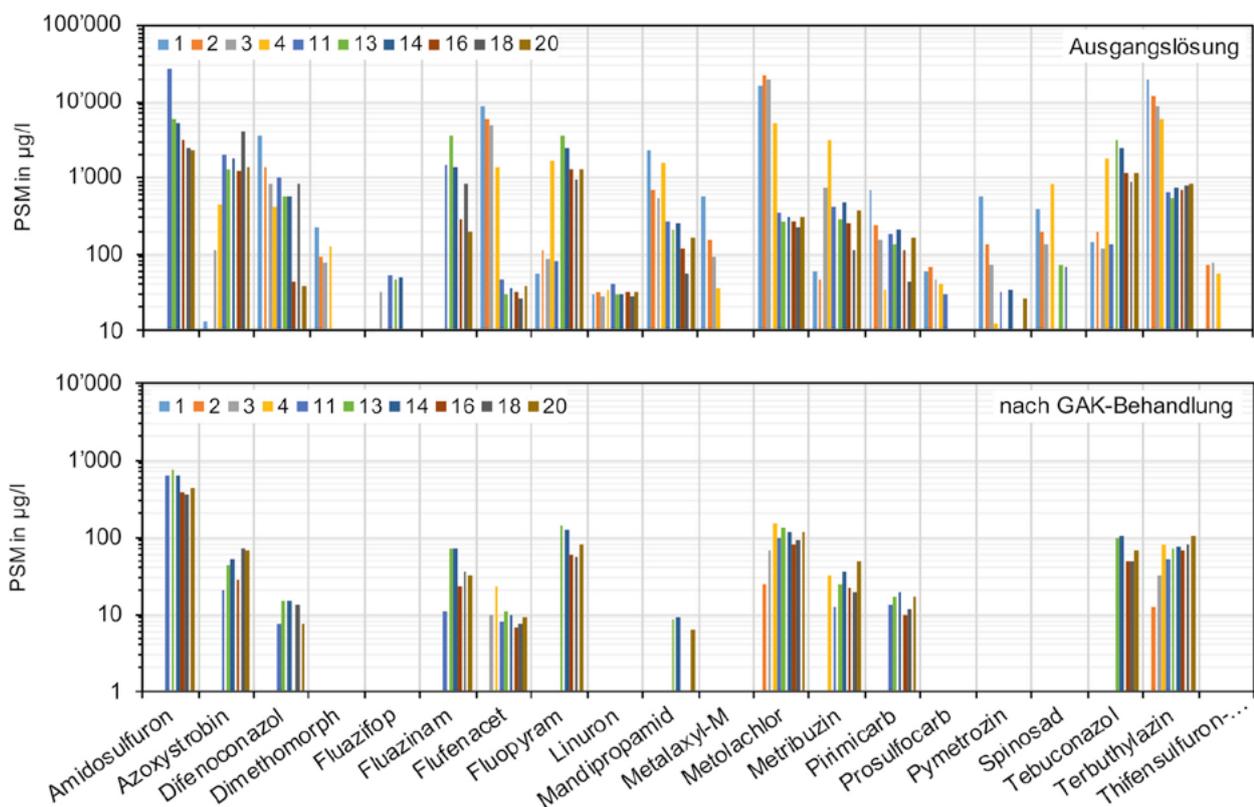


Fig. 3 PSM-Konzentrationen (log-Skala) in der Ausgangslösung (Washwasser nach GUS-Modul) und nach der GAK-Behandlung mit je 20 Zirkulationen für 10 analysierte Batches. Die Achsen sind über fünf Grössenordnungen skaliert, jedoch über jeweils verschiedene Konzentrationsbereiche: Ausgangslösung 10 bis 100 000 µg/l (oben), dagegen behandeltes Washwasser nur von 1 bis 10 000 µg/l (unten). Keine Balken: Konzentrationen kleiner Bestimmungsgrenzen.

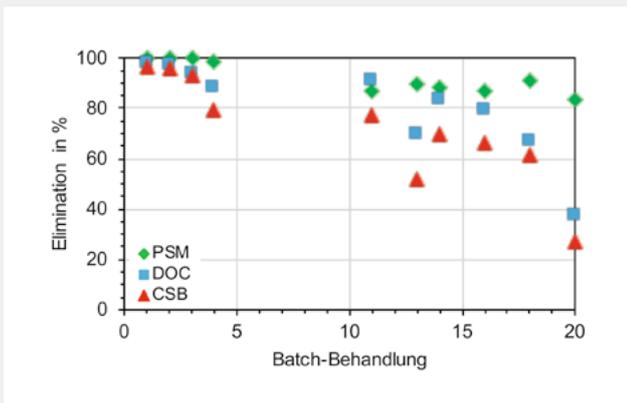


Fig. 4 Elimination (%) von PSM, CSB_{gesamt} und DOC, berechnet aus der Differenz von Ausgangslösung und dem behandelten Ablaufwasser. Dargestellt sind die Eliminationen für zehn analysierte Batches (von 20 Batch-Behandlungen) nach je 20 Zirkulationen.

GAK-Menge hin und stellt damit ein wesentliches Ergebnis des Pilottests dar. Für die Auslegung der GAK-Menge in zukünftigen Anlagen lässt sich darauf basierend die Kohlemenge festlegen, mit welcher eine Frachtelimination in einer vorgesehenen Größenordnung sichergestellt werden kann.

Unter den Residualkonzentrationen tritt das Nachauflauf-Herbizid Amidosulfuron (Sulfonylharnstoff, $\log K_{ow} -1,5$) und Metolachlor ($\log K_{ow} 3,1$) hervor. Bei diesen Substanzen geht die Elimination schneller zurück. Amidosulfuron gilt als mikrobiell gut abbaubar im natürlichen Boden und Wasser und weist eine geringe Ökotoxizität im Bereich von einigen Milligramm pro Liter auf. Metolachlor dürfte sich besser eliminieren lassen, wenn die GAK-Menge erhöhte und die Durchflussmenge reduziert werden (Kontaktzeit zur GAK).

Die hohen Konzentrationen vom DOC (30 bis 80 mg/l) und CSB_{gesamt} (100 bis 400 mg/l) im Zulaufwasser des GAK-Moduls weisen auf die Bedeutung der Additiven gegenüber den PSM hin. Über die Testphase sanken die Werte. Da sich die Waschwasserqualität nicht grundlegend geändert hatte, ist zu vermuten, dass die gebildete Deckschicht auf dem Filter des GUS-Moduls feinstpartikuläre Stoffe entfernt hat.

Im behandelten Wasser sind die CSB-Ablaufkonzentrationen von einem tiefen Niveau geringfügig angestiegen (10 mg/l auf 40 mg/l), da die GAK mit organischen Additiven beladen worden ist. Vor allem kurzketten Kohlenwasserstoffe (PSM-Additive) werden mit zunehmender Beladung schwächer eliminiert. Ent-

sprechend nehmen die Eliminationen für DOC und CSB_{gesamt} über die 20 Batch-Behandlungen ab (Fig. 4).

Aus der Summe aller nachweisbaren Wirkstoffe (Konzentrationen) pro behandeltem Batch, die zwischen 100 und 700 µg/l liegt, und der Waschwassermenge (13 m³), resultiert bei dem Lohnunternehmen über sechs Monate nur noch eine kumulierte Gesamtfracht von 3300 mg PSM, pro Behandlungsdurchlauf durchschnittlich <130 mg PSM. Die Gesamtmenge entspricht einer üblichen Ausbringung auf rund 50 m² Fläche oder der Wirkstoffmenge von rund einem Liter biozidhaltiger Aussenfarbe [14]. Bei dem Obstbaubetrieb mit rund 10-mal geringerer Waschwassermenge und bedeutend weniger Wirkstoffen lag die Fracht sogar rund 20-mal niedriger.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die Entsorgung von PSM-belastetem Waschwasser stellt landwirtschaftliche Betriebe vor grosse Herausforderungen. Bis anhin wird das PSM-belastete Wasser direkt oder mit Gülle vermischt auf Feldern ausgebracht oder biologischen Behandlungssystemen zugeführt.

Die entwickelte automatisierte Anlage stellt eine neue Alternative für die Behandlung von Waschwässern mit einem Wirkungsgrad >99,9% PSM-Rückhalt (Fig. 5) dar. Das behandelte Ablaufwasser weist eine geringe Belastung auf. Eine unkontrollierte Einleitung in Gewässer, Boden oder Kanalisation lässt sich damit vermeiden. Die erste Anlage wurde in den Routinebetrieb genommen.

Aufgrund der Resultate in Labor und Feld ist das PSM-Modul grosszügig bemessen und benötigt nur noch die Grundfläche einer Euro-Palette und zwei Speichertanks (IBC-Container für Waschwasser und gereinigtes Wasser). Unter Berücksichtigung der GAK-Auslegung und 20 Zirkulationen im Standardbetriebsmodus wird einer Überbeanspruchung der Sorptionskapazität vorgebeugt. Das GUS-Modul wird vorgeschaltet zum PSM-Modul betrieben. Die integrierte Steuerung erfasst die Volumenströme und weist am Saisonende den Betreiber sowie den Hersteller auf den Austausch der GAK-Kolonie hin. Störungen und Betriebsdaten werden protokolliert. Zum Saisonende wird vom Hersteller die beladene GAK-Säule (50 m³ Waschwasser: 1 m³ bzw. ca. 500 kg GAK) ausgetauscht, analysiert, und einer thermischen Verwertung zugeführt. Das System bietet hohe Betriebssicherheit und Flexibilität, kann für eine individuelle oder gemeinsame Nutzung angelegt sowie oberirdisch oder unterflur



Fig. 5 Technische Behandlungsanlage für Waschwässer in der Landwirtschaft. Links: Anlagenkonfiguration mit GUS- und PSM-Modul; Mitte: PSM-Modul mit GAK-Säule für Waschwasseranfall bis 50 m³ pro Jahr; rechts: benutzerfreundliche Steuerung mittels Touch-Panel (Siemens Simatic).

ENTWICKLUNG DES GUS- UND PSM-MODULS

Im Rahmen eines Innosuisse-Projekts wurde die Entwicklung des GUS- und PSM-Moduls von der HSR Hochschule für Technik Rapperswil und FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz zusammen mit *Creabéton Matériaux AG* umgesetzt und der Pilottest im Kanton St. Gallen mit Unterstützung des Landwirtschaftlichen Zentrums SG durchgeführt.

installiert werden. Bei Bedarf lässt sich das Modul spezifisch für kupferhaltige Präparate im Waschwasser modifizieren. Das gereinigte Wasser eignet sich für das Ansetzen neuer Spritzbrühen (ohne Verschleppung unerwünschter PSM), der Gerätereinigung, kann aber auch wie bis anhin der landwirtschaftlichen Praxis entsprechend auf Felder direkt oder mit Gülle vermischt ausgebracht werden. Noch zu klären ist, ob gereinigtes Waschwasser den Kläranlagen zugeführt werden darf, denn die damit verbundenen PSM-Frachten sind sehr klein und vergleichbar mit gewerblichen Abwässern. Da die moderne Anlagentechnologie sogar den Standard von anderen abwasserproduzierenden Branchen deutlich übertrifft, wäre die Einleitung ins Kanalnetz eine zusätzliche Option einer geordneten Entsorgung von gereinigtem Waschwasser. Sollen partikuläre Stoffe (GUS-Modul) oder Mineralöl (Koaleszenzabscheider) entfernt werden, lässt sich das PSM-Modul erweitern. So kann ein moderner stationärer Waschplatz (dicht, überdacht, windgeschützt) für Traktoren, Geräte und Spritze realisiert werden, bei dem auch eine Wasserwiederverwendung möglich ist.

KONTAKT

Sarah Schäfer,
sarah.schaefer@creabeton1.ch
Marco Meuwly,
marco.meuwly@creabeton1.ch

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans, M., Leu, C. (2014): Über 100 Pestizide in Fliessgewässern. *AQUA&GAS*, 3, 32–43
- [2] Wittmer, I., Junghans, M., Singer, H., Stamm, C. (2014): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen

Einträgen. Studie im Auftrag des BAFU. Oekotoxzentrum Eawag Epfl, Dübendorf

- [3] Braun, C., Gälli, R., Leu, C., Munz, N., Schindler Wildhaber, Y., Strahm, I., Wittmer, I. (2015): Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern aus diffusen Einträgen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
- [4] Spycher S., Hunkeler, J., Bosshard, A., Häni, F., 2015: Gewässerbelastung durch Pestizide: Ansätze zur Verminderung landwirtschaftlich bedingter Einträge in Oberflächengewässer. *Aqua & Gas* 12: 56–71
- [5] Bundesrat (2017): Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. 6. September 2017, Bericht des Bundesrats
- [6] BLW (2020): Weisungen betreffend die Massnahmen zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. 26. März 2020, Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern
- [7] Dübendorfer, C., Fu, R., Tratschin, R., Spycher, S. (2015): Massnahmen zur Reduktion von Einträgen von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer. Ernst Basler + Partner AG, Zollikon
- [8] BFS (2020): [www.bfs.admin.ch/bfs/portal/](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/03/blank/ind24.indicator.240201.2402.html)
- [9] BLW (2019): Agrarbericht 2019 – Landwirtschaftliche Nutzfläche www.agrarbericht.ch/de/betrieb/strukturen/landwirtschaftliche-nutzflaeche
- [10] BLW (2019): Verkaufsstatistik 2018 von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz. www.blw.admin.ch/blw/de/home/services/medienmitteilungen.msg-id-77550.html
- [11] BAFU (2013): Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft – Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
- [12] AGRIDEA (2018): Befüllen und Reinigen der Spritze – wie mache ich das richtig? AGRIDEA, Lindau
- [13] AGRIDEA (2014): Platz zum Spritzen- und Sprüheräte füllen und waschen sowie Systeme zur Behandlung von Brühresten und Spülwasser konzipieren. AGRIDEA, Lindau
- [14] Burkhardt, M., Englert, A. (2016): Verfahrensklä rung zur Behandlung von Abwasser der Farb- und Putzhersteller (FARBAB). Bericht für AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie, Luft, HSR Rapperswil

> SUITE DU RÉSUMÉ

Les PPS sont retenus grâce à l'adsorption par le charbon actif en granulés (CAG), les substances sont ainsi efficacement éliminées de l'eau et ne parviennent pas dans l'environnement. Pour atteindre un degré élevé d'efficacité, l'eau de nettoyage à traiter circule à travers une colonne remplie de CAG.

Après plusieurs étapes de développement, un test technique réalisé à l'échelle a permis de traiter de l'eau de nettoyage de composition réelle. Les résultats montrent que les concentrations de plusieurs PPS sont divisées par plus de 8000 en l'espace de deux heures. Dans une installation pilote, 13 m³ d'eau de nettoyage ont été traités avec succès en six mois dans une entreprise de travaux agricoles, ce qui correspondait à la production d'eau de nettoyage de cette période de pulvérisation. La perméabilité élevée à l'eau du charbon actif en granulés garantissait une grande sécurité d'exploitation, car il n'y a eu aucune occlusion.

Dans l'eau de nettoyage de l'entreprise, environ 21 principes actifs ont pu être quantifiés durant la saison de protection des plantes de toutes les cultures, ce qui a permis de déterminer la retenue de substances par l'installation. Les résultats montrent que les PPS peuvent être éliminés de façon très efficace et que les concentrations élevées de PPS peuvent alors être réduites de plusieurs ordres de grandeur. L'eau de nettoyage traitée ne présentait plus que de faibles concentrations en pesticides, en partie conformes aux exigences vis-à-vis des eaux.

L'épandage de l'eau de nettoyage traitée avec le lisier ou directement sur les champs et pâturages permet de réduire nettement la pollution du sol et des eaux. Même la réutilisation de l'eau de lavage est possible.

Un changement annuel du CAG est prévu pour la sécurité d'exploitation. Le temps d'inactivité éventuel et les paramètres d'exploitations optimaux peuvent être adaptés aux besoins des utilisateurs. Un véritable recyclage thermique du charbon actif chargé est assuré. La première installation automatisée sera bientôt exploitée de façon quotidienne.