

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG,
Sitzung der Kommission II

Titel der Tagung:

Erd-Reich und Boden-Landschaften

Veranstalter:

DBG/BGS

Termin und Ort der Tagung:

24. – 29. August 2019, Bern

Berichte der DBG (nicht begutachtete online-Publikation), <http://www.dbges.de>

Pflanzenschutzmittel im Sickerwasser und in Bewässerungskanälen im Red River Delta: Methodenentwicklung und Monitoring

Andreas Schwarz¹, Wolf-Anno Bischoff¹

Zusammenfassung

Das Red River-Delta wird sehr intensiv landwirtschaftlich genutzt, was auch einen starken Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) umfasst. Die Be- und Entwässerung über ein Kanalsystem führt zu einer großflächigen Verteilung der PSM zwischen den Feldern. Zu diesen Stoffflüssen liegen bisher kaum Daten vor, auch gibt es keine geeigneten Methoden, um sie zu messen. Es sollte daher u.a. untersucht werden, ob PSM im Kanalsystem zwischen Red River und Meer angereichert werden und ob es eine Kreuzkontamination mit PSM zwischen unterschiedlichen Schlägen gibt.

Es konnten robuste Methoden zur zeitintegrierten Erfassung der PSM-Belastung in verschiedenen Kompartimenten im Red River-Delta entwickelt werden.

Das PSM-Muster in den Kanälen scheint v.a. von der lokalen Applikationssituation beeinflusst zu werden. Der vermutete Gradient zwischen Fluss und Meer konnte nicht beobachtet werden.

Bei einem hohen Anteil an Überflutungsbewässerung (Überstaubewässerung in der Trockenzeit) gelangte ein breites PSM-Spektrum mit dem Kanalwasser auf die Flächen und führte dort zu einer hohen Belastung des Sickerwassers. Bei gezielter Be-

wässerung mit Pumpen bzw. bei einem hohen Niederschlagsanteil an der Bewässerung in der Regenzeit nahm die PSM-Belastung deutlich ab.

Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass über die Bewässerungskanäle eine Kreuzkontamination mit PSM und anderen Schadstoffen stattfindet, und verdeutlicht die allgegenwärtig hohe PSM-Belastung in diesem agrarisch intensiv genutzten System.

Schlüsselworte

Pflanzenschutzmittel (PSM), Red River-Delta, Überstaubewässerung, Bewässerungskanäle, Leaching, Selbst-Integrierende Akkumulatoren (SIA), Passivsammler

Einführung und Motivation:

Das Red River-Delta ist ein Beispiel für sehr fruchtbare Agrarökosysteme in unmittelbarer Küstennähe, wie es typisch für viele Regionen in der Welt ist. 38 % des Red River-Deltas werden landwirtschaftlich genutzt, wobei Reis die Hauptkultur darstellt (GSO, 2011). Aufgrund des Klimawandels findet eine zunehmende Versalzung statt, die sich negativ auf die Reiserträge auswirkt. Daher findet eine strukturelle Veränderung hin zu Aquakulturen (Shrimps, Fisch) in Brack- und Salzwasser statt (van Dijk et al., 2013). Diese neuen Nutzungsformen sind teilweise extensiv, teilweise aber auch sehr intensiv mit einem starken Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM; Larsen, 2013).

Durch das Kanalsystem, das zur Be- und Entwässerung der Felder und Teiche dient, werden Agrarchemikalien großflächig verteilt und können auch in Felder mit anderer Nutzung gelangen und diese ungewollt kontaminieren (Toan et al., 2013).

In der Vorbereitung des Projektes wurde durch die vietnamesischen Projektpartner die Hypothese aufgestellt, dass das Flusswasser mit einer geringen PSM-Belastung in das Kanalsystem eingelassen, auf der Passage in Richtung Meer zunehmend mit PSM-belastetem Wasser aus den Reisfeldern vermischt und abschließend mit PSM angereichert ins Meer ausgeleitet wird.

Zu diesen Transportprozessen und Stoffflüssen liegen bisher kaum Daten vor, auch gibt es keine geeigneten Methoden, um diese Stoffflüsse zu messen. Ein besseres Ver-

¹ Gutachterbüro TerraAquat,
Schellingstr. 43, 72622 Nürtingen,
e-mail: a.schwarz@terraquat.com

ständnis der Prozesse könnte zu einem angepassteren, nachhaltigeren Verhalten führen, um die Umwelt und die Grundlage für die Landwirtschaft langfristig zu schützen.

Fragestellungen

Folgende Fragestellungen sollten im Rahmen des Projektes beantwortet werden:

- (1) Werden Pflanzenschutzmittel (PSM) im Kanalsystem zwischen Red River und Meer angereichert?
- (2) Gibt es eine Kreuzkontamination mit PSM zwischen den Schlägen?
- (3) Gibt es PSM-Verluste ins Grundwasser?
- (4) Können wir zur Klärung der Fragestellungen (1) – (3) neue, robuste und zeitintegriert messende Monitoringmethoden für PSM entwickeln?

Material und Methoden

Entwicklung der Monitoringmethoden

Weiterentwicklung der Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA) für PSM

Eine Grundlage für die Methodenentwicklung bildeten die patentierten Selbst-Integrierenden Akkumulatoren (SIA), mit denen im Boden die flächenbezogene Stoffauswaschung aus dem Wurzelraum gemessen werden kann (Bischoff, 2009). Das Prinzip dieser Methode lässt eine Erfassung praktisch aller wasserlöslichen Stoffe zu, wenn ein für die Zielsubstanzen geeignetes Adsorbentmaterial eingesetzt wird. Die SIA werden bisher häufig zur Quantifizierung von Nährstoffflüssen, insbesondere Stickstoff (Nitrat, Ammonium), aber auch Schadstoffen wie Schwermetallen oder PAK eingesetzt.

Es wurden verschiedene Adsorbentmaterialien getestet, um die Methode auf in Vietnam verwendete PSM zu erweitern.

Für die Tests wurden Batch-, Säulen- und Inkubationsversuche mit drei Adsorbentmaterialien (Florisil (Roth), C18 (Waters) und PoraPak RXN RP (Waters)) durchgeführt. Es wurden zwölf PSM in die Versuche einbezogen, die in der Untersuchungsregion bedeutend sind und eine weite Spanne der physikochemischen Eigenschaften aufweisen.

Im **Batchversuch** wurde die Frage geklärt, ob der Adsorbent für die Zielsubstanzen geeignet ist (Fest-Flüssig-Gleichgewicht). Es wurden Lösungen mit definierten PSM-

Konzentrationen mit dem Adsorbentmaterial geschüttelt. Anschließend wurden die PSM von den Adsorbent desorbiert und gaschromatographisch quantifiziert. Zur Kontrolle wurden auch die Restgehalte in der Batch-Lösung gemessen (nicht dargestellt).

In einem **Säulenversuch** wurde untersucht, ob die Adsorption ausreichend schnell für den Einsatz in den SIA ist (Adsorptionskinetik). Mit C18 und Florisil wurden im Labormaßstab Säulen gepackt, die prinzipiell den Aufbau von SIA widerspiegeln. Durch diese wurde erneut PSM-haltige Lösung perkoliert.

Der abschließende **Inkubationsversuch** sollten klären, ob der Adsorbent geeignet für den Langzeiteinsatz im Boden in Vietnam ist (Abbau). Er wurde lediglich mit Florisil als dem letzten verbliebenen Kandidaten durchgeführt. Hierbei wurde mit PSM dotierter Adsorbent über acht Wochen in einer Lösung geschwenkt, die mit unterschiedlichen Oberböden angeimpft war (S: Boden mit Spargelanbau, Baden-Württemberg; W: Waldboden, Baden-Württemberg; R: Reisboden, Red River-Delta). Diese Animpfung sollte für eine ausreichend große Population an Mikroorganismen sorgen, die gegebenenfalls den Adsorbent und/oder die daran adsorbierten PSM abbauen könnten. Parallel wurden gleichermaßen angeimpfte Adsorbent als Kontrolle eingefroren, sodass hier kein Abbau zu erwarten war.

Neuentwicklung der FILTRAP

Zur Bestimmung der PSM-Belastung in den Bewässerungskanälen wurden Passivsammler entwickelt (FILTRAP). Diese sollten folgende Anforderungen erfüllen:

- zeitintegrierender Passivsammler
- Langzeitmessung (mehrere Monate)
- Erfassung des diffusiven, aber nicht des konvektiven PSM-Transports
- Schutz gegen Abbau und Biofilme

Die Adsorption der PSM erfolgte mit Hilfe des erfolgreich getesteten Florisil. FILTRAP wurde so konstruiert, dass durch eine Aufeinanderfolge von Sieben und Filtern einerseits die Diffusion von Wasser und PSM möglich war, andererseits turbulenter und laminarer Fluss vom Adsorbent ferngehalten wurden.

PSM-Monitoring im Red River-Delta

Stoffflussmessungen mit SIA

Voraussetzung für eine korrekte, flächenbezogene Erfassung der Stoffflüsse mit SIA ist eine ungesättigte Zone unter dem Hauptwurzelsraum. Steht das Grundwasser zu hoch an, ist der Flächenbezug nicht gewährleistet. In Giao Phong (*Abbildung 2*) konnten Flächen gefunden werden, die diese Voraussetzung erfüllten.

Es wurden drei Schläge mit unterschiedlichen Fruchtfolgen ausgewählt (*Abbildung 1*): RR (zwei Kulturen Reis), VR (Gemüse – Reis) und VV (nur Gemüse). Die erste Messperiode zur PSM-Auswaschung lag in der Trockenzeit (Januar – Juni 2016), die zweite in der folgenden Regenzeit (Juni – November 2016).



Abbildung 1: Lage der Untersuchungsfelder für die Stoffflussmessungen mit SIA (Quelle: Google Maps, bearbeitet).

Die Bewässerung erfolgte auf RR und VR durch Überflutungsbewässerung. Dazu wurde nach der Pflanzung und später bei Bedarf über ein Pumpen- und Schiebersystem Kanalwasser eingeleitet und die Fläche einige Dezimeter überstaut. VV lag höher und wurde ausschließlich über eine Pumpe (ohne Überstau) bewässert. Während der Re-

genzeit stammte das Bewässerungswasser für alle drei Schläge zu einem größeren Teil direkt aus den Niederschlägen.

Die Installation der SIA erfolgte von einer Grube aus seitlich unter den ungestörten Boden. Die Einbautiefe betrug 50 cm, so dass die SIA unterhalb des Hauptwurzelsraums und oberhalb des Grundwasserspiegels lagen. Nach dem Einbau wurden die Gruben verfüllt, so dass keinerlei Einschränkungen für die Bewirtschaftung bestanden. Nach dem Ausbau der SIA wurden die adsorbierten PSM extrahiert und quantifiziert und die flächenbezogene PSM-Auswaschung als Gesamtfracht [$\mu\text{g}/\text{m}^2$] berechnet.

Um die Heterogenität der Flächen erfassen zu können, wurden die SIA jeweils in zehnfacher Wiederholung installiert.

PSM-Konzentrationen in den Bewässerungskanälen (FILTRAP)

Die FILTRAP wurden in den Gemeinden Hong Thuan und Giao Lac eingesetzt (Giao Thuy-Distrikt, Nam Dinh-Provinz, *Abbildung 2*). In diesem Gebiet wird das Bewässerungswasser für die Felder durch ein Gate vom Red River eingeleitet (*Abbildung 3*, im Nordwesten des Kartenausschnittes „Gate1 TQ“). Das Wasser durchfließt ein verzweigtes Kanalsystem und wird abschließend ins Meer geleitet (südöstlicher Kartenrand).

Der Projektpartner UNU-EHS legte ein Transekt an, in dem Sedimentproben in den Kanälen und Bodenproben aus naheliegenden Reisfeldern auf PSM untersucht wurden (Braun et al., 2018). Es wurde ein Raster mit 7 x 4 Beprobungspunkten angelegt. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden jeweils Kanäle zweiter Ordnung ausgewählt. An 16 der 28 Beprobungspunkte (4 x 4-Raster, *Abbildung 3*) wurden FILTRAP jeweils in zweifacher Wiederholung installiert, um die PSM-Belastung des Kanalwassers kumulativ über den Installationszeitraum zu untersuchen. Zusätzlich wurden zwei FILTRAP direkt am Gate installiert, um den Zufluss aus dem Red River zu erfassen. Die Messung begann gleichzeitig mit der Beprobung durch UNU-EHS im Januar 2016 und wurde am Ende der Trockenzeit im Juni 2016 gleichzeitig mit dem SIA-Wechsel beendet.

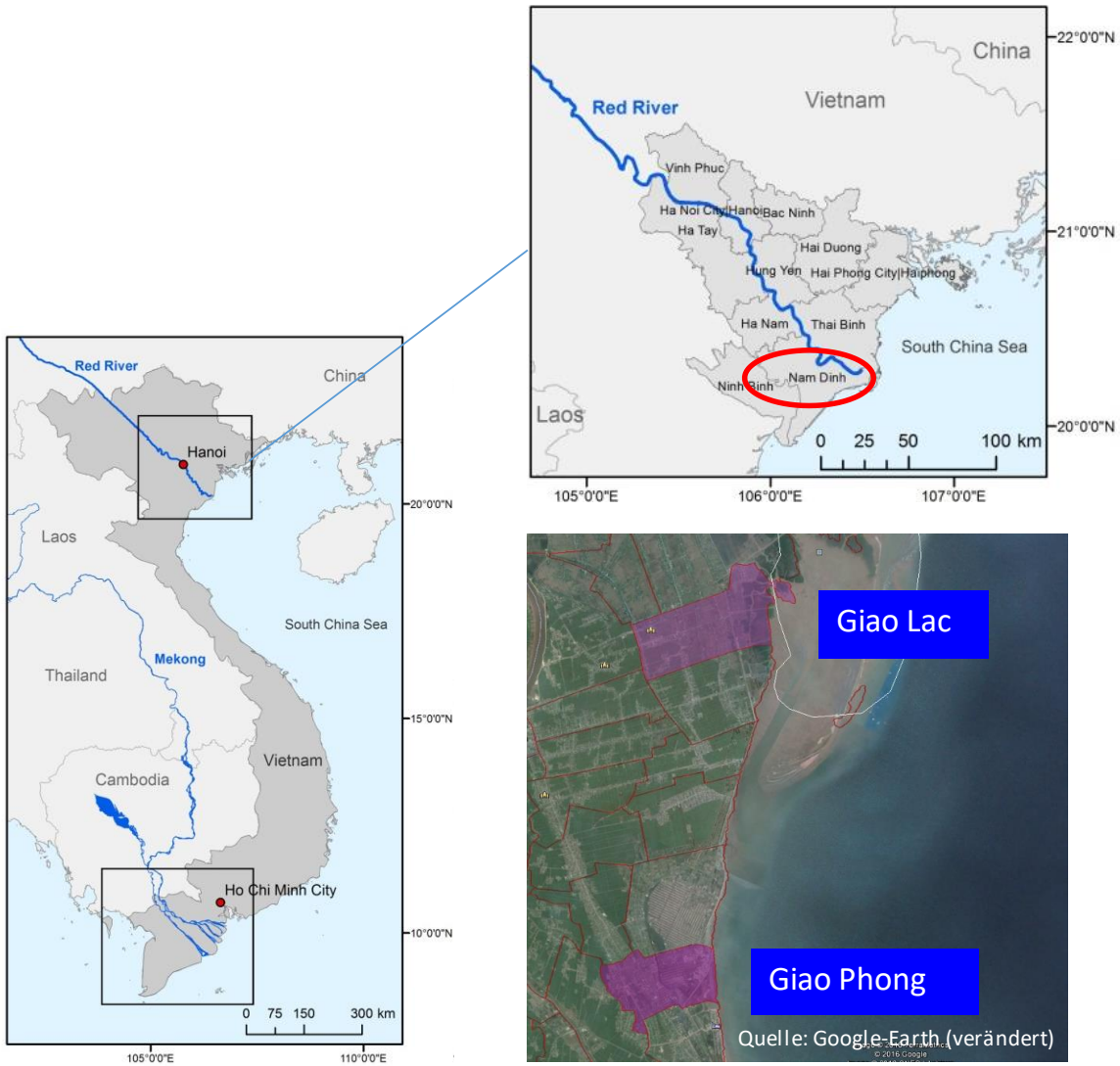


Abbildung 2: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: Google Maps, bearbeitet).

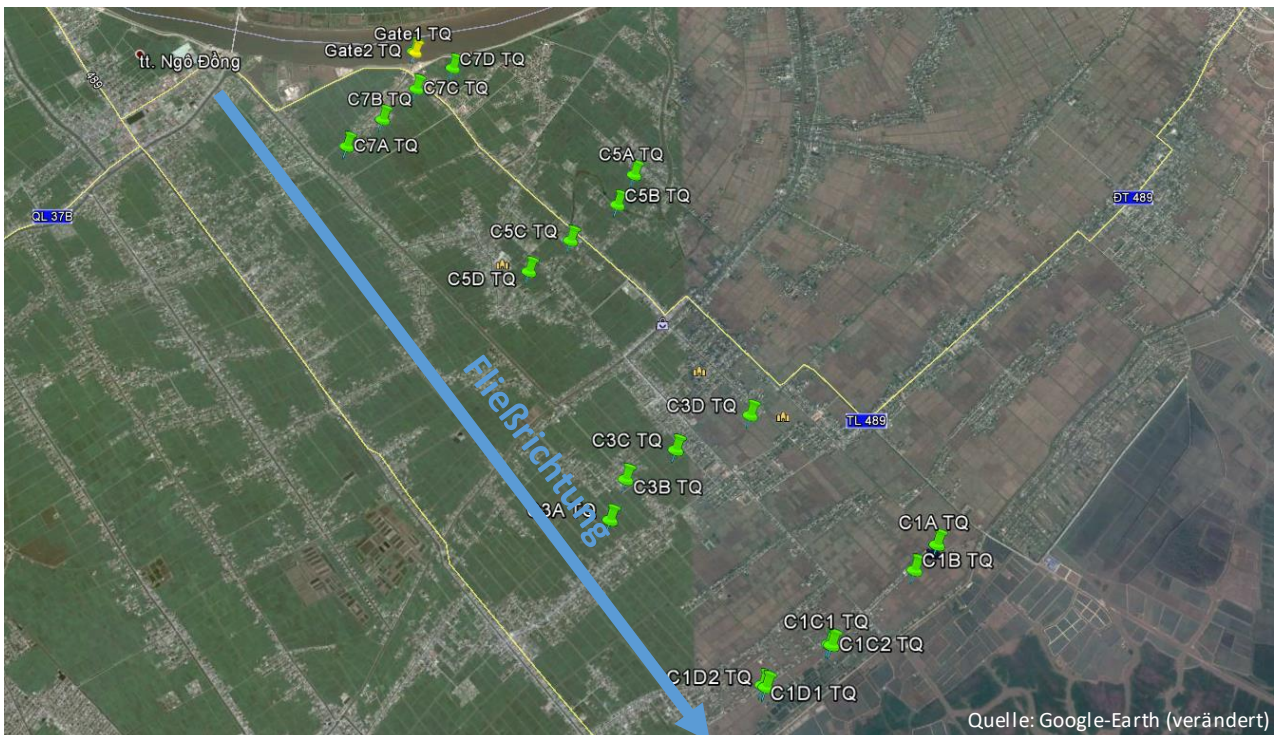


Abbildung 3: Lage der Beprobungspunkte in den Kanälen für die Messung der PSM-
Belastung mit FILTRAP (Quelle: Google Maps, bearbeitet).

Ergebnisse

Entwicklung der Monitoringmethoden

Weiterentwicklung der SIA für PSM

Während der Aufarbeitung der Proben aus dem **Batchversuch** wurde PoraPak aufgrund der geringen Dichte des Materials während der Gefriertrocknung in der Trocknungsanlage verblasen. Eine quantitative Aufarbeitung des Adsorbers war nicht möglich. Daher schied dieses Material bereits vor der Analytik der Batchversuche aus.

C18 und Florisil erzielten in den Batchversuchen mit 69 % bzw. 68 % vergleichbare mittlere Wiederfindungsraten über alle getestete PSM (Abbildung 4). Die beiden Adsorber erfassten auch die meisten Einzelsubstanzen vergleichbar gut. Für beide Adsorber lag die Wiederfindung für neun PSM über 60 %, sodass für diese in den SIA eine quantitative Bestimmung möglich ist. Für drei Substanzen lag die Wiederfindung zwischen 30 und 60 %, für die nur halbquantitative bzw. qualitative Messungen möglich sind.

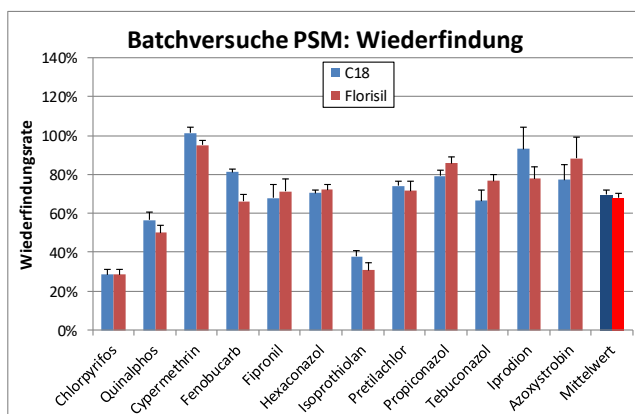


Abbildung 4: Wiederfindung der getesteten Pflanzenschutzmittel im Batchversuch für C18 und Florisil. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder ($n = 6$).

Das C18-Material erwies sich als sehr hydrophob und erreichte im **Säulenversuch** nur geringe Durchflussraten. In den SIA ist eine hohe Wasserleitfähigkeit wichtig für eine korrekte Erfassung der Wasserflüsse. Zudem besteht bei einem zu hydrophoben Adsorber die Gefahr, dass der Kontakt zur perkolierenden Bodenlösung zu schlecht ist und gelöste PSM nicht erfasst werden können. Daher wurde C18 nach diesen Beobachtungen bereits vor der Analytik ausgeschlossen.

Für Florisil wurde für die meisten PSM im Säulen- und im Batchversuch eine vergleichbare Wiederfindung erzielt (Abbildung 5). Es ist zu erwarten, dass die Wiederfindung im Säulenversuch gleich oder niedriger ist als im Batchversuch. Warum dies für die meisten PSM in geringem Umfang umgekehrt der Fall war, konnte im Rahmen des Projektes nicht geklärt werden. Ebenso konnte keine Ursache für die extrem hohe Wiederfindung von Iprodion im Säulenversuch ermittelt werden (204 %).

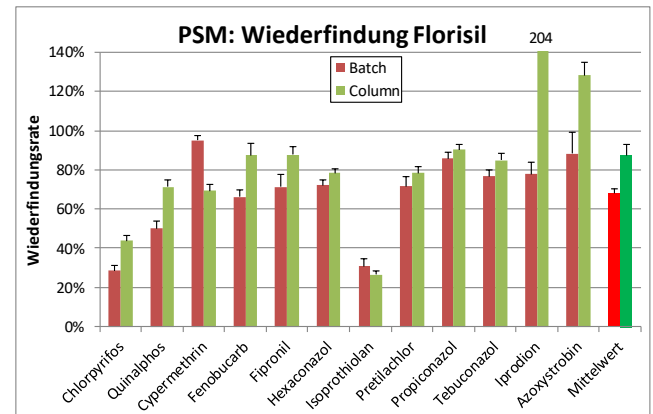


Abbildung 5: Wiederfindung der getesteten Pflanzenschutzmittel im Batch- und Säulenversuch für Florisil. Die Fehlerbalken geben den Standardfehler wieder ($n = 6$ für Batchversuch, $n = 3$ für Säulenversuch).

Abbildung 6 zeigt das Verhältnis der Wiederfindung in den inkubierten Proben (S, W, R) und der nicht inkubierten Proben nach dem **Inkubationsversuch**. Es konnte keine systematische Abweichung des Verhältnisses von 100 % beobachtet werden. Die hohen Wiederfindungen für Chlorpyrifos und Thiamethoxam konnten nicht erklärt werden.

Mithilfe der Laborversuche konnte Florisil als geeigneter Adsorber identifiziert werden, um PSM mit den SIA und FILTRAP erfassen zu können.

PSM-Monitoring im Red River-Delta

Stoffflussmessungen mit SIA

Während der **Trockenzeit** wurden auf den beiden Schlägen mit Überflutungsbewässerung (RR und VR) 10 bzw. 11 verschiedene PSM nachgewiesen, von denen die meisten auf diesen Flächen im Untersuchungszeitraum nicht appliziert wurden (Abbildung 7). Die Flüsse reichten bis zu $150 \mu\text{g}/\text{m}^2$ (Thiamethoxam unter VR).

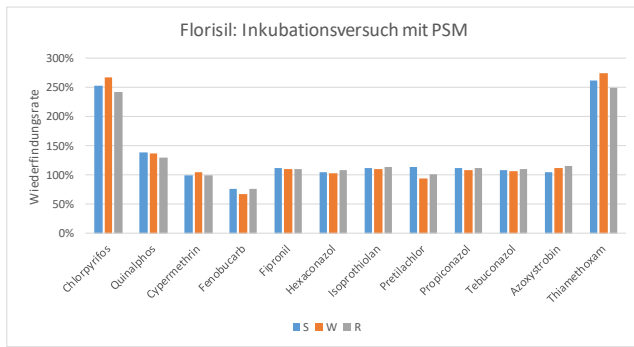


Abbildung 6: Verhältnis der PSM-Wiederfindung zwischen inkubierten und nicht inkubierten Proben im Inkubationsversuch für Florisil ($n = 3$ für W, $n = 2$ für S und R).

In sechs Fällen lag die aus den Frachten errechnete Konzentration im Sickerwasser über dem EU-Grenzwert für Trinkwasser ($0,1 \mu\text{g/L}$). Auf der Fläche VV ohne Überflutungsbewässerung wurden hingegen lediglich fünf PSM mit maximal $20 \mu\text{g/m}^2$ nachgewiesen. Vermutlich wurden hier durch die niedrigere Bewässerungsmenge deutlich geringere PSM-Mengen über das Bewässerungswasser eingetragen.

Während der **Regenzeit** wurden auf allen drei Schlägen nur maximal fünf PSM mit höchstens $25 \mu\text{g/m}^2$ nachgewiesen. In der Regenzeit stammte ein Großteil des Bewässerungswassers direkt aus den Niederschlägen, hingegen nur ein kleinerer Anteil aus den Kanälen. Auch Toan et al. (2013) beobachteten geringere PSM-Konzentrationen in Reisfeldern und den Bewässerungskanälen aufgrund von Verdünnungseffekten.

PSM-Konzentrationen in den Bewässerungskanälen (FILTRAP)

Im Juni wurden lediglich 18 der 34 FILTRAP wiedergefunden. Dieser Verlust war zu erwarten, da die Geräte ca. 30 cm aus dem Grund des Kanals herausragten. Unterhaltungsmaßnahmen in den Kanälen (Entfernen von Sediment und Wasserpflanzen), aber auch Wasserbüffel und Menschen, die sich in den Kanälen aufhalten, dürften zu einem Verlust einzelner FILTRAP geführt haben. Die wiedergefundenen FILTRAP verteilten sich auf 10 der 16 Transektpunkte und das Gate.

In Fällen, in denen beide Wiederholungen am selben Transektpunkt analysiert werden konnten, waren sowohl das PSM-Spektrum als auch deren Gehalte vergleichbar. Dies

zeigt, dass die Methode reproduzierbare Ergebnisse liefert. Zehn der 16 untersuchten PSM wurden mindestens in einem FILTRAP nachgewiesen.

Entgegen der Anfangshypothese fand während der Passage durch das Kanalsystem keine Anreicherung statt (Abbildung 8).

Die nachgewiesenen Mengen in den südlichen Transektreihen C3 und C1, die näher am Auslass ins Meer gelegen sind, wiesen eine geringere Anzahl an verschiedenen PSM und eine geringere Masse auf als die weiter nördlich gelegenen Reihen C5 und C7. Die Belastung war v.a. durch die lokale Applikationssituation geprägt. So wurde Fenobucarb lediglich in den beiden Wiederholungen desselben Transektpunktes nachgewiesen (C7C, Abbildung 8). Tebuconazol gelangte zwar mit dem Flusswasser in die Kanäle, wurde aber nur noch in einem nahegelegenen FILTRAP gefunden (C7C2).

Es wurde weitergehend untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der beiden Methoden FILTRAP und Beprobung der Sedimente bestand. Beide Methoden detektierten ein vergleichbares Spektrum an PSM mit einem Schwerpunkt auf Isoprothiolan, Pretilachlor und Propiconazol (Braun et al., 2018, Abbildung 9). Für einzelne Stoffe unterschieden sich die beiden Methoden jedoch deutlich. So wurde in den FILTRAP in nahezu allen Transektpunkten Fipronil nachgewiesen, in den Sedimenten hingegen nicht. Auch Quinalphos und Cypermethrin wurden ausschließlich in den FILTRAP detektiert. Fludioxonil lag hingegen nur in Sedimentproben über der Nachweisgrenze (Braun et al., 2018).

Während in den Sedimenten die PSM-Belastung zeitlich über mehrere Jahre integriert wird, wird mit FILTRAP die definierte Zeitspanne während der Installation beprobt. Daher war es zu erwarten, dass die beiden Methoden unterschiedliche PSM-Spektren erfassen. Korrelationen unter Berücksichtigung von physikochemischen Eigenschaften wie Wasserlöslichkeit, Oktanol-Wasser-Koeffizient (K_{ow}), Adsorptionskoeffizient am Boden (K_{oc}) sowie der Halbwertszeit in Boden und Wasser führten zu keiner Erklärung der Unterschiede zwischen den beiden Methoden.

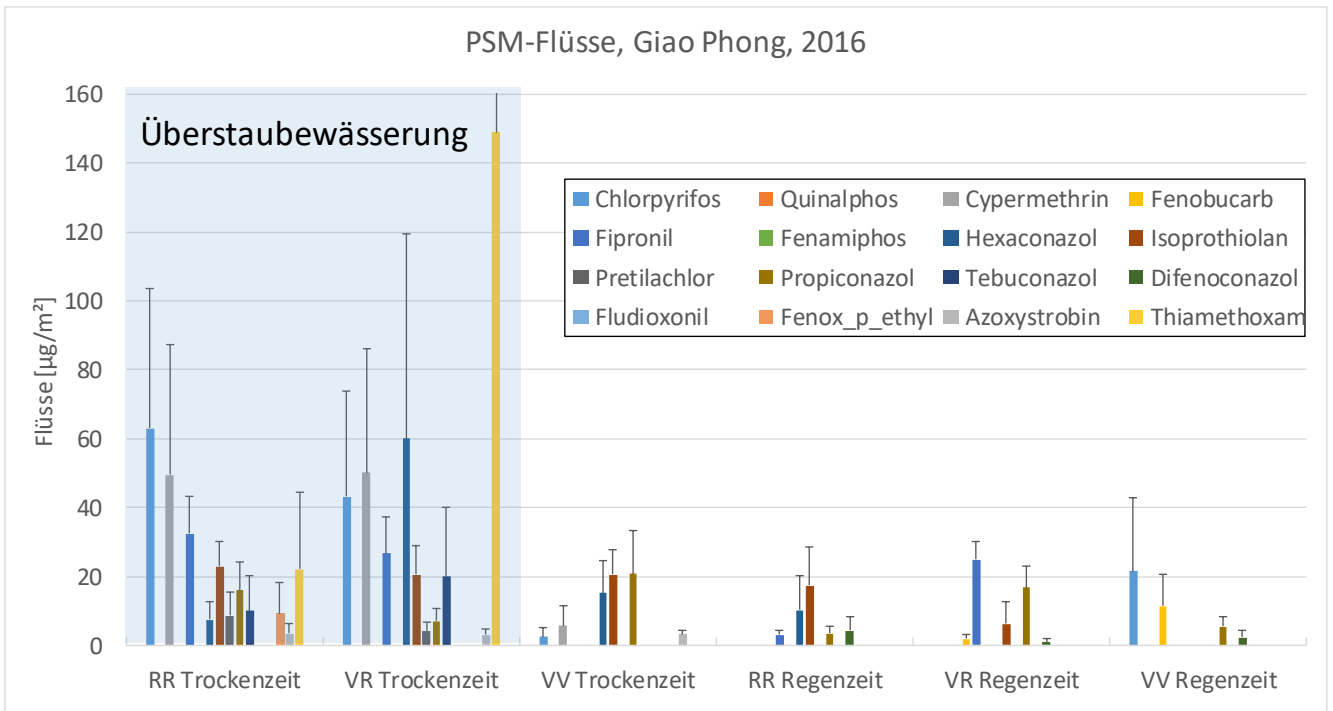


Abbildung 7: PSM-Flüsse in den drei Schlägen während der Trocken- und der Regenzeit 2016 in $\mu\text{g}/\text{m}^2$ (Fehlerbalken = Standardfehler, $n = 10$).

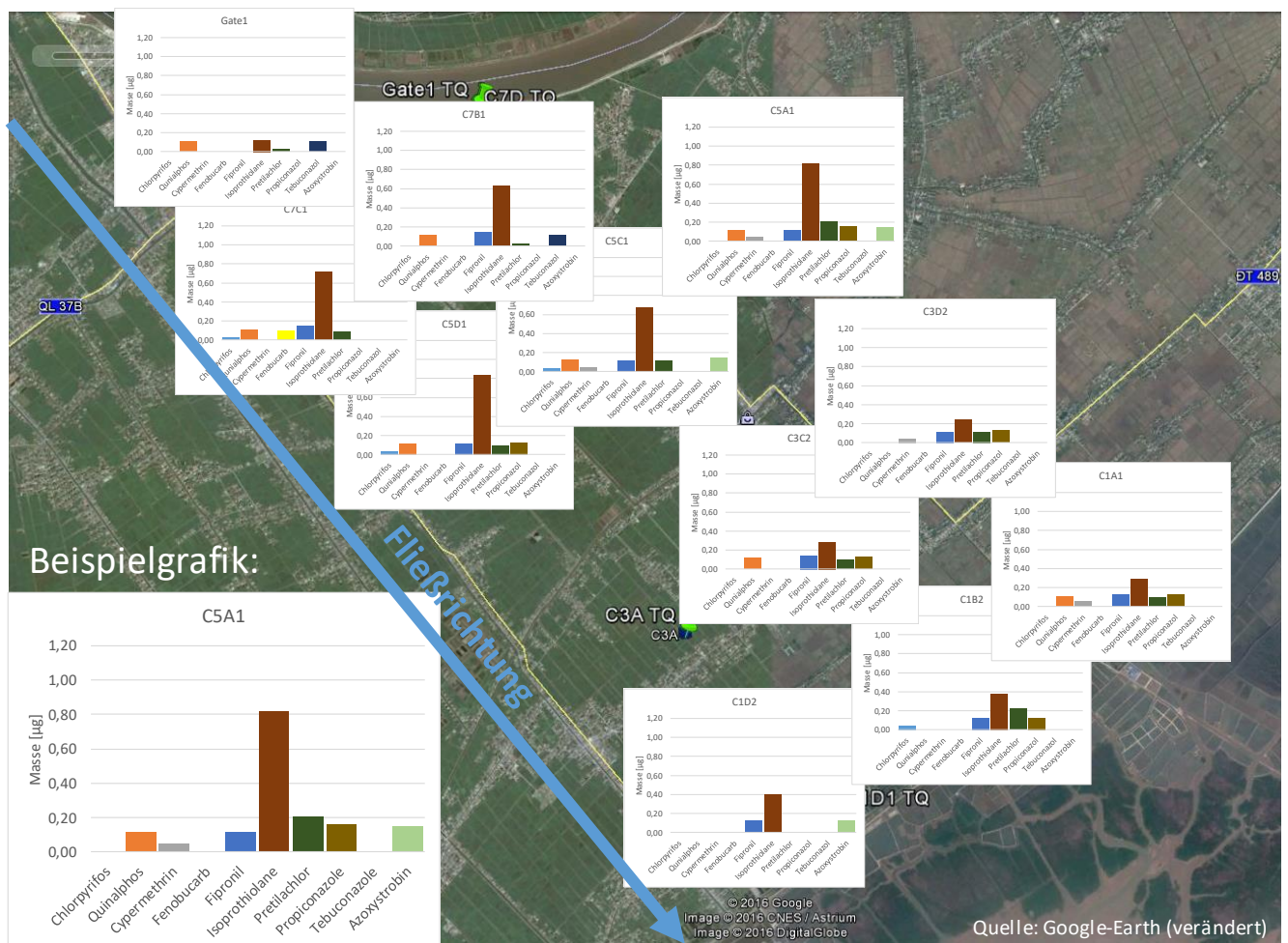


Abbildung 8: Räumliche Verteilung der PSM-Gehalte der FILTRAP auf die Transektpunkte (z.T. Mittelwert aus zwei FILTRAP, Quelle: Google Maps, bearbeitet).

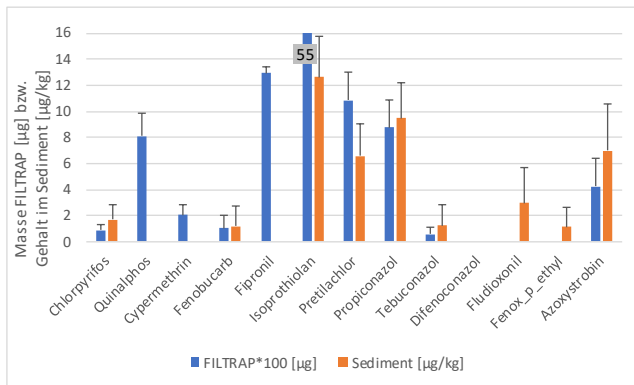


Abbildung 9: Vergleich der mittleren Massen (FILTRAP, Faktor 100 überhöht) und der mittleren Gehalte in den Sedimenten.

Schlussfolgerungen

Es konnten robuste Methoden zur zeitintegrierten Erfassung der PSM-Belastung in verschiedenen Kompartimenten im Red River-Delta entwickelt werden.

Durch die Praxis, Bewässerungswasser am Ende der Kultur aus den Feldern wieder in die Kanäle zu entlassen, werden die Kanäle mit einer Vielzahl an PSM belastet, die sowohl im Wasser als auch in den Sedimenten nachgewiesen werden konnten. Der vermutete Gradient zwischen Fluss und Meer konnte nicht beobachtet werden, das PSM-Muster scheint vielmehr von der lokalen Applikationssituation beeinflusst zu werden.

Bei einem hohen Anteil an Überflutungsbewässerung (Überstaubewässerung in der Trockenzeit) gelangte ein breites PSM-Spektrum mit dem Kanalwasser auf die Flächen und führte dort zu einer hohen Belastung des Sickerwassers. Bei gezielter Bewässerung mit Pumpen bzw. bei einem hohen Niederschlagsanteil an der Bewässerung in der Regenzeit nahm die PSM-Belastung deutlich ab.

Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass über die Bewässerungskanäle eine Kreuzkontamination mit PSM und anderen Schadstoffen stattfindet, und verdeutlicht die allgegenwärtig hohe PSM-Belastung in diesem agrarisch intensiv genutzten System.

Dank

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen: 031A287F).

Literatur

- Bischoff, W.-A. (2009): Development and Applications of the Self-Integrating Accumulators: A Method to Quantify the Leaching Losses of Environmentally relevant Substances. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Heft 91, Universität Hohenheim, Stuttgart. 145 S.
- Braun, G., Z. Sebesvari, M. Braun, J. Kruse, W. Amelung, N. T. An, F. G. Renaud. 2018. Does sea-dyke construction affect the spatial distribution of pesticides in agricultural soils? – A case study from the Red River Delta, Vietnam. *Environmental Pollution* 243 (2018) 890-899, doi: 10.1016/j.envpol.2018.09.050.
- GSO (General Statistics Office of Vietnam) (2011): Statistical Publishing House, Hanoi, Vietnam. Retrieved from http://www.gso.gov.vn/default_en.aspx?tabid=466&idmid=3&ItemID=859, accessed: 30 January 2013.
- Larsen A. E. (2013): Agricultural landscape simplification does not consistently drive insecticide use. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (38), p. 15330–15335. DOI: 10.1073/pnas.1301900110.
- Toan, P.V., Sebesvari, Z., Bläsing, M., Rosendahl, I., Renaud, F.G. (2013): Pesticide management and their residues in sediments and surface and drinking water in the Mekong Delta, Vietnam. *Science of the Total Environment* 452-453: 28-39.
- van Dijk, M., Hilderink, H., Rooij, W., Rutten, M., Ashton, R., Kartikasari, K., Lan, V.C. (2013): Land-use change, food security and climate change in Vietnam. A global-to-local modelling approach. LEI report 2013-020. ISBN/EAN: 978-90-8615-610-8.