



Irene Wittmer, Umwelt-
naturwissenschaftlerin
und Doktorandin in der
Abteilung Umweltchemie.
Koautor: Michael Burk-
hardt

Dynamik von Biozid- und Pestizideinträgen

Biozide und Pestizide werden in der Landwirtschaft und im Siedlungsraum eingesetzt, um Schädlinge zu bekämpfen. Doch welche Wege nehmen diese Stoffe vom Einsatzort bis ins Gewässer? Und ist die Landwirtschaft tatsächlich die Hauptverursacherin der Gewässerbelastung? Fragen, die die Eawag in verschiedenen Projekten erforscht.

Die Landwirtschaft galt lange Zeit als Hauptverursacherin der Pestizidbelastung in Oberflächengewässern. Dementsprechend ist der landwirtschaftliche Pestizideinsatz klar reglementiert, und Personen, die beruflich mit Pestiziden arbeiten, müssen sich durch eine Fachbewilligung ausweisen. Als vor rund 15 Jahren die schweizerische Agrarpolitik neu gestaltet wurde, war damit auch das Ziel verbunden, die Pestizideinträge um 50 % zu vermindern. Zwar ging die eingesetzte Pestizidmenge von 1992–2004 um 25–30 % zurück [1], doch trotz aller Vorschriften tragen landwirtschaftliche Pestizide immer noch zur Gewässerbelastung bei.

Wie viel Biozide und Pestizide kommen aus dem Siedlungsraum? Auf der anderen Seite zeigten Ende der 90er-Jahre erste Studien, dass Pestizide, z. B. das Herbizid Mecoprop, auch aus dem Siedlungsraum stammen können [2]. Pestizide sind zum Teil chemisch identisch mit den im Siedlungsraum eingesetzten Bioziden (siehe Kasten). Man nahm aber aufgrund der monetären Verkaufszahlen an, dass die eingesetzten Biozid- und Pestizid-

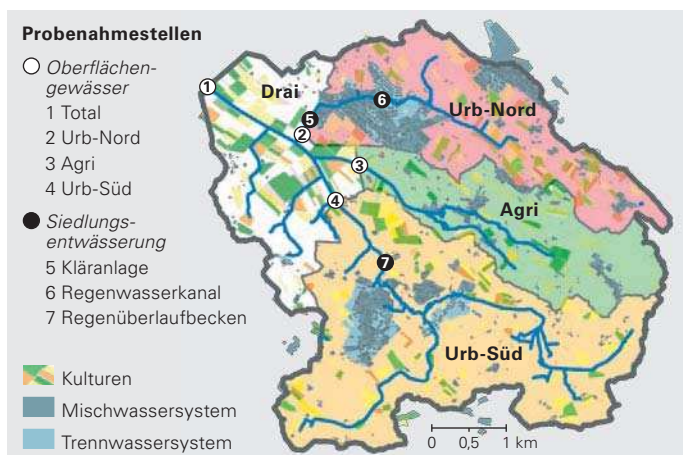
Mengen im Siedlungsraum viel geringer sind als in der Landwirtschaft. Dass ihre Einsatzmengen damit unterschätzt wurden, belegten erste, 2007 veröffentlichte Zahlen zum abgeschätzten Verbrauch. Sie liegen mit jährlich ca. 2000 Tonnen Bioziden, die im Siedlungsraum der Schweiz zum Einsatz kommen (ohne Desinfektionsmittel auf Alkohol- und Chlorbasis) [3] etwa auf gleichem Niveau wie in der Landwirtschaft, wo rund 1300 Tonnen Pestizide verbraucht werden [4]. Die Eawag untersucht deshalb die Beiträge urbaner und landwirtschaftlicher Quellen an der Gewässerbelastung im Detail.

Eingesetzte Pestizidmengen. Ziel eines umfangreichen Projekts ist es, die Biozid- und Pestizidflüsse in einem ausgewählten Untersuchungsgebiet zu erfassen. Das Gebiet von insgesamt 25 km² liegt in der Nähe des Greifensees. Es umfasst 470 Hektar Ackerland sowie 12 000 Einwohner in zwei Gemeinden mit gemeinsamer Kläranlage. Das Gebiet wurde in vier Teileinzugsgebiete aufgeteilt (Abb. 1): je eins mit überwiegend urbaner (Urb-Nord) und landwirtschaftlicher Nutzung (Agri) sowie zwei mit gemischter Nutzung (Urb-Süd, Draï). An vier Messstellen in Fliessgewässern sowie drei weiteren in der Siedlungsentwässerung (Kläranlagenabfluss, Regenüberlaufbecken, Regenwasserkanal) wurden im Jahr 2007 jeweils im Verlauf grösserer Regenereignisse zahlreiche Wasserproben genommen und diese auf eine Reihe Biozide und Pestizide hin untersucht (siehe Tabelle S. 10).

Zunächst aber führten wir Umfragen zu den eingesetzten Pestizidmengen durch: fast alle Landwirte (95 %) sowie eine bewältigbare Anzahl von Haushalten (60 der insgesamt 1800) aus dem Untersuchungsgebiet wurden befragt. Dabei ergab sich für die Landwirtschaft, dass von den untersuchten Pestiziden Isoproturon mit insgesamt 110 kg am meisten eingesetzt wurde, gefolgt von Glyphosat, Atrazin und Terbutylazin (88, 64 und 42 kg). Vier weitere Wirkstoffe (Mecoprop, Mesotriol, Sulcotriol und Diazinon) wurden im Mengen zwischen 2–13 kg verwendet.

In 80 % der befragten Haushalte werden Pestizide angewendet, meist um Rosen vor Insekten zu schützen. 20 % der Befragten gab zudem an, dass sie Pestizide trotz Verbots (von dem sie nichts wussten) auch auf Garageneinfahrten applizieren. Erstaunlicherweise werden in den 60 Haushalten 45 verschiedene

Abb. 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet und die sieben Messstellen. Urb = urban genutzt, Agri = vorwiegend landwirtschaftlich genutzt, Draï = drainiertes Gebiet.
Zunehmender urbaner Anteil: Agri < Draï < Urb-Süd < Urb-Nord.



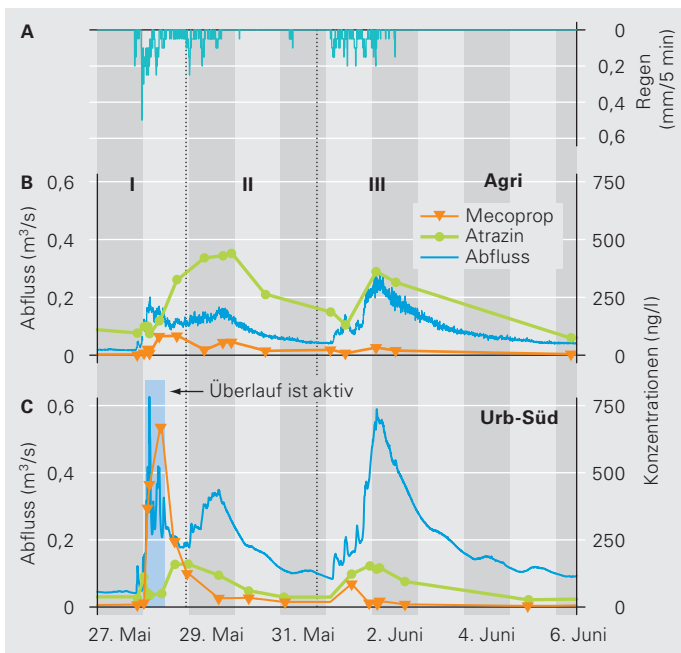


Abb. 2: Regenbedingte Einträge von Mecoprop und Atrazin in zwei Fließgewässern zwischen dem 27.5 und dem 6.6.2007. Regenmenge (A), Situation an den jeweiligen Messstellen des landwirtschaftlich dominierten Einzugsgebiets Agri (B) und des vorwiegend urbanen Einzugsgebiet Urb-Süd (C).

Wirkstoffe verwendet, darunter auch die von uns untersuchten Substanzen Mecoprop, Diazinon und Glyphosat. Unsere Hochrechnung ergab, dass die Siedlung als Quelle von Pestiziden damit nicht vernachlässigt werden kann. Für den Biozideinsatz können wir zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussage machen, er muss zunächst anhand von Verbrauchsstatistiken und Produktinformationen grob eingegrenzt werden.

Regen bringt die Biozide und Pestizide in die Gewässer. Pestizide sowie im Aussenbereich angewendete Biozide können durch Regen ausgewaschen und in die Oberflächengewässer transportiert werden. Das hier ausgewählte Beispiel eines Regenereignisses, das Ende Mai/Anfang Juni stattfand (Abb. 2A), illustriert die unterschiedlichen Eintragsdynamiken von Wirkstoffen aus dem urbanen und landwirtschaftlichen Raum. Aufgetragen sind die beiden Substanzen Atrazin und Mecoprop, deren Einsatz sich fast ausschliesslich auf die Landwirtschaft bzw. den Siedlungsraum beschränkt (Tabelle). Dieses Regenereignis fällt genau in die landwirtschaftliche Applikationsperiode für Atrazin. Folgende Aussagen können wir machen:

► Die Abflusssdynamiken aus den Gebieten Agri und Urb-Süd (blaue Kurven in Abb. 2B+C) unterscheiden sich stark. Im landwirtschaftlichen Gebiet sind die drei durch das Regenereignis ausgelösten Abflussspitzen wesentlich geringer, da die unversiegelten Böden das Wasser aufnehmen und verzögert wieder abgeben. Im Gegensatz dazu fliesst das Wasser in der Siedlung von den versiegelten Flächen (Strassen, Plätze, Dächer) ohne Verzögerung ab. Ein Teil davon wird per Trennkanalisation sofort in

die Gewässer geleitet, der restliche Teil gelangt in die Mischkanalisation und von dort über Regenüberlaufbecken in die Kläranlage. Regnet es jedoch sehr stark, läuft überschüssiges Wasser aus den Regenüberlaufbecken direkt in den Bach. Das ist bei Abflussspitze 1 im Gebiet Urb-Süd der Fall (Abb. 2C).

► Die Atrazin-Konzentrationen steigen mit zunehmendem Abfluss in den Bächen an (grüne Kurven in Abb. 2 B+C). Das gilt nicht nur für das landwirtschaftliche, sondern ebenso, wenngleich schwächer, für das gemischt genutzte Gebiet Urb-Süd.

► Im Abfluss des urbanen Raums schwillt die Konzentration von Mecoprop (orange Kurve in Abb. 2C) zeitgleich mit dem Überlaufen des Regenbeckens stark an. Danach ist der Überlauf nicht mehr aktiv und die Mecoprop-Konzentration bleibt im Verlauf der beiden späteren Abflussspitzen tief. Im landwirtschaftlichen Einzugsgebiet dagegen steigen die Mecoprop-Konzentrationen im Bach in allen drei Phasen nur leicht an (Abb. 2B). Vermutlich sind dies ebenfalls Verluste aus den wenigen Siedlungen im Gebiet. Ähnliche Eintragsdynamiken wurden auch für die siedlungsspezifischen Biozide Carbendazim und Diuron beobachtet.

Generell gilt also für Regenereignisse, dass erhöhte Gewässerbelastungen durch landwirtschaftlich genutzte Pestizide meist im Verlauf der Applikationsperiode auftreten, wogegen biozid- und pestizidwirksame Stoffe aus den Siedlungen das ganze Jahr über in die Gewässer gelangen können (vergleiche Abb. 3A+B). Neben diesen durch den Regen getriebenen Einträgen gibt es aber auch konstante Verluste aus dem Siedlungsraum und kurzfristig erhöhte Konzentrationen aus der Landwirtschaft. So messen wir beispielsweise das ganze Jahr hindurch erhöhte Diazinon-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage (> 50 ng/l) und beobachteten mehrmals massiv erhöhte Pestizidkonzentrationen (bis zu 20 000 ng/l Atrazin), die sehr wahrscheinlich auf unsachgemässe Entsorgung oder Handhabung zurückzuführen sind.

Biozide und Pestizide

Biozide und Pestizide werden gegen ungewollte Organismen eingesetzt. Vereinfacht gesagt, dienen Pestizide dem Schutz von Pflanzen, Biozide dagegen werden für alle anderen Verwendungszwecke (Konservierung von Mauern und Fassaden, Holzschutzmittel, Schädlingsbekämpfung im Haushalt etc.) eingesetzt (Tabelle). Die Zulassung entsprechender Wirkstoffe ist in der Biozid- bzw. der Pflanzenschutzmittelverordnung geregelt. Biozide und Pestizide gelangen über verschiedene Eintragspfade in die Gewässer. In der Landwirtschaft werden die Pestizide vom Feld durch Oberflächenabfluss oder Drainagen sowie durch unsachgemässe Entsorgung oder Handhabung der Spritzbrühe in die Bäche eingetragen. Aus dem urbanen Raum gelangen die Substanzen über die Siedlungsentwässerung in die Gewässer.

Der urbane Raum trägt wesentlich zur Gewässerbelastung bei.

Wie wichtig die Landwirtschaft oder die Siedlung für das Vorkommen einer Substanz in Gewässern ist, lässt sich nebst der Konzentrationsdynamik auch anhand der Zusammensetzung der Frachten beurteilen. Für die Zusammensetzung der Atrazin-Fracht sind beim Ereignis von Ende Mai die beiden landwirtschaftlich beeinflussten Einzugsgebiete wichtig, wogegen der Regenüberlauf und die Kläranlage praktisch nichts zu dieser Fracht beitragen (Abb. 3A, dunkelbraun bzw. dunkelblaue Flächen). Im Gegensatz dazu ist für die Mecoprop-Fracht beim selben Ereignis das vorwiegend urbane Einzugsgebiet massgebend. Die Kläranlage und der Überlauf machen bis zu 25 % der gesamten Fracht aus. Schaut man sich die beiden Substanzen im Herbst an, ist die Fracht von Atrazin äusserst gering, aber jene von Mecoprop immer noch hoch. Ausserdem ist das Muster der Mecoprop-Fracht gleich wie im Frühling. Dies zeigt, dass die Quellen von Mecoprop mehr oder weniger konstant bleiben. Ob dies nun auf Applikationen im urbanen Raum (Gartensaison von Mai bis Ende September) oder durch konstante Verluste aus Flachdächern und Fundamentabdichtungen zurückzuführen ist, bleibt jedoch unklar.

Mecoprop kann aus Flachdächern stammen. Dass Flachdächer tatsächlich Mecoprop abgeben, zeigt eine weitere Studie der Eawag. Das Herbizid wird nämlich in Bitumenbahnen (Dachpappe) auf Flachdächern eingesetzt und soll gegen Durchwurzelung schützen. Ein grosser Teil des Mecoprops wird dabei mit dem abfliessenden Dachwasser ausgewaschen. Da in der Schweiz jährlich einige Millionen Quadratmeter Dachflächen mit Bitumenbahnen erstellt werden, ist es nicht verwunderlich, dass Mecoprop letztlich auch in zahlreichen Fliessgewässern gefunden wird. Dorthin gelangt es entweder via Trennkanalisation mit dem ungereinigten Abwasser aus Regenbecken oder mit dem «gereinigten» Abwasser – Mecoprop wird in den Kläranlagen lediglich zu 10–30 % eliminiert – ins Gewässer.

Unsere Untersuchungen haben nun gezeigt, dass Mecoprop aus zwei neueren Durchwurzelungsschutzmitteln auf Basis eines Ethylhexylesters (Herbitect®) und Octylesters (Preventol®B5) weniger stark und schnell hydrolysiert und ausgewaschen wird als aus dem traditionellen Produkt auf Basis des Polyglykolesters (Preventol®B2) (Abb. 4). Die Zusammensetzung der Bitumenbahnen – Anteil und Qualität von Bitumen, Polymer und mineralischem

Untersuchte Biozide und Pestizide und deren Anwendungsgebiet. Die Wichtigkeiten der einzelnen Substanzen beziehen sich auf die von uns im Untersuchungsgebiet (Abb. 1) gemessenen Konzentrationen.

■ wichtig Landwirtschaft, ■ weniger wichtig Landwirtschaft, ■ wichtig Siedlung, ■ weniger wichtig Siedlung, □ nicht detektiert

		Siedlung: konstant	Siedlung: saisonal	Landwirtschaft: saisonal
		Biozid	Pestizid	Pestizid
Landwirtschaft	Sulcotrion			Chinaschilf, Mais
	Mesotrion			Mais
	Atrazin			Mais ¹
	Terbuthylazin			Kernobst, Mais
Siedlung und Landwirtschaft	Isoproturon	Fassaden, Konservierungsmittel etc.		Getreide
	Glyphosat		Rasen, Schienenverkehr, Böschungen von Verkehrswegen etc.	Brachen, Obst, Wiesen, Weiden
	Mecoprop	Flachdächer ² , Fundamentabdichtung	Gärten, Rasen, Vorplätze ³ , Verkehrswege etc.	Getreide, Chinaschilf, Obst, Wiesen, Weiden
	Diazinon	unbekannte Quellen, Flohhalsband ⁴	Rosen, Obst, Zierpflanzen, Garten	Obst, Zuckerrüben, Raps, Gemüse, Schnittblumen
	Diuron	Fassaden, Konservierungsmittel etc.		Obst, Spargel, Gehölz, Reben
	Carbendazim	Anti-Schimmelmittel Bad, Fassaden etc.		Obst, Gemüse, Raps, Kartoffeln, Sonnenblumen
Siedlung	Terbutryn	Anti-Schimmelmittel Bad, Fassaden etc.		
	Irgarol	Bootsanstrich, Fassaden etc.		
	IPBC	Konservierungsmittel, Holzschutzmittel etc.		
	Isothiazolinon	Konservierungsmittel, Fassaden etc.		

¹ Atrazin darf seit Dezember 2008 nicht mehr verkauft werden. Bis Dezember 2011 dürfen die Landwirte aber ihre Vorräte aufbrauchen.

² Mecoprop ist rechtlich kein Biozid, von seiner Wirkung her aber durchaus damit gleichzusetzen.

³ Diese Anwendung ist illegal, wurde aber bei unserer Umfrage bestätigt.

⁴ In Flohmitteln ist Diazinon weder ein Biozid noch ein Pestizid, sondern ein Arzneimittel.

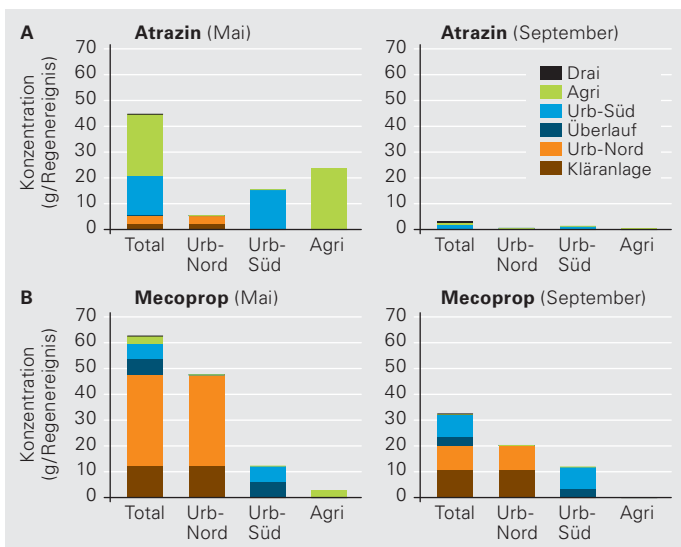


Abb. 3: Vergleich der Frachten von Atrazin (A) und Mecoprop (B) an sechs verschiedenen Messstationen (siehe auch Abb. 1) während je einem Regenereignis im Mai (60 mm Regen) und im September (35 mm Regen).

Füllstoff – beeinflusst die Auswaschung ebenfalls: Bei Produkten mit höherem Bitumenanteil nahm die Auswaschung nochmals um die Hälfte ab. Die eingesetzten Mecoprop-Konzentrationen im Bitumen wurden in den letzten Jahren bereits um rund die Hälfte reduziert. Eine weitere Absenkung wäre nur dann möglich, wenn die Wirksamkeit weiterhin gewährleistet ist. Gegenwärtig ist die Wirksamkeitsschwelle aber unsicher.

Verluste minimieren: Private Anwender schulen, chemische Zusammensetzungen ändern. Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, dass sowohl landwirtschaftliche als auch urbane Anwendungen von Bioziden und Pestiziden zu einer Gewässerbelastung führen. Doch wie können Verluste zukünftig minimiert werden? Eine Möglichkeit ist, den Umgang mit Bioziden und Pestiziden zu verbessern. Hier besteht insbesondere beim Pestizidgebrauch im Siedlungsraum ein grosses Potenzial, denn viele private Anwender kennen weder den richtigen Gebrauch noch die vorhandenen Verbote. Aber auch in der Landwirtschaft gibt es immer noch Verbesserungspotenzial bei der Handhabung von Pestiziden, obwohl Schulung und Aufklärung vorhanden sind. Diffuse landwirtschaftliche Verluste zu minimieren, ist hingegen schwieriger. Oft trägt sogar nur ein kleiner Teil der Felder zu diesen Verlusten bei [5]. Darum läuft zurzeit an der Eawag ein Projekt, das versucht, landwirtschaftliche Flächen mit einem besonders hohen Verlustrisiko zu identifizieren.

Eine andere Möglichkeit ist, Verluste durch eine verbesserte chemische Zusammensetzung der Produkte zu verringern. Im Fall von Mecoprop in Bitumenbahnen ist das bereits geschehen. Denn für diesen Anwendungsbereich lässt sich die Gewässerbelastung durch herkömmliche Reinigungsmassnahmen nicht wirksam reduzieren, da ein Grossteil des abfliessenden Regenwassers gar nicht in die Kläranlagen gelangt. Hier sind darum Massnahmen an der Quelle notwendig. Nachdem in den vergangenen drei

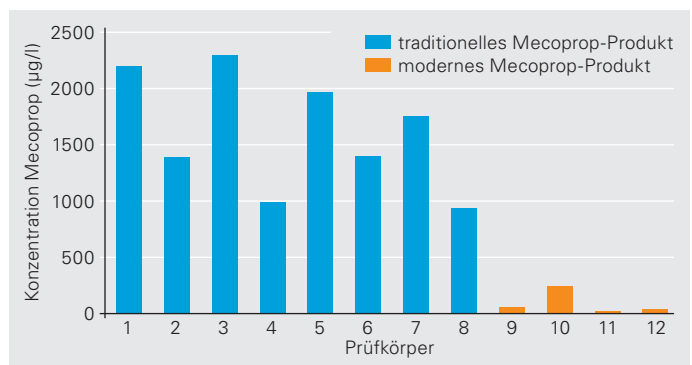


Abb. 4: Auswaschung von Mecoprop aus Bitumenbahnen.

Jahrzehnten ausschliesslich Preventol®B2 in Bitumenbahnen eingesetzt wurde, haben die drei grossen Hersteller im letzten Jahr basierend auf unseren Ergebnissen ihre Rezepturen auf Herbitect® und Preventol®B5 umgestellt. Laut einer aktuellen Information des Bundesamts für Umwelt (Bafu) über Mecoprop in Bitumen-Dachbahnen ist neu die Versickerung dieses Dachwassers über eine mikrobiell aktive Bodenschicht zulässig [6]. Ausserdem raten die Hersteller und das Bafu, wurzelfeste Bahnen nur auf echten Gründächern einzusetzen, die Anwendung auf Kies- oder Nacktdach ist in der Regel nicht notwendig. Alle Massnahmen zusammen können längerfristig 96–98 % der Mecoprop-Auswaschung vermeiden und somit zu einem Rückgang der beobachteten Gewässerbelastung führen. ○ ○ ○

Vielen Dank an unsere Kolleginnen und Kollegen: Hans-Peter Bader, Markus Boller, Ruth Scheidegger, Heinz Singer, Christian Stamm, Steffen Zuleeg (alle Eawag) und Regula Haag, Sivotha Hean, Peter Schmid (alle Empa). Finanzielle Unterstützung kam vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) und dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) des Kantons Zürich.

- [1] Singer H. (2005): Pestizideintrag ins Gewässer – Forschung trifft Politik, Eawag News 59, 16–19.
- [2] Bucheli T.D., Müller S.R., Voegelin A., Schwarzenbach R.P. (1998): Bituminous roof sealing membranes as major sources of the herbicide (R,S)-mecoprop in roof runoff waters: potential contamination of groundwater and surface waters. *Environmental Science & Technology* 32, 3465–3471.
- [3] Bürgi D., Knechtenhofer L., Meier I., Giger W. (2007): Projekt Biomik – Biozide als Mikroverunreinigungen in Abwasser und Gewässer. Teilprojekt 1: Priorisierung von bioziden Wirkstoffen. Bundesamt für Umwelt, Bern, 189 S., www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/06387
- [4] Bundesamt für Landwirtschaft (2007): Agrarbericht 2007. Bern, 320 S. www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00498/
- [5] Freitas L.G., Singer H., Müller S.R., Schwarzenbach R.P., Stamm C. (2008): Source area effects on herbicide losses to surface waters – A case study in the Swiss Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128 (3), 177–184.
- [6] www.bafu.admin.ch/chemikalien/01389/01391