

Gewässerbelastung durch Pestizide

Charge en pesticides dans les eaux

Les traces de pesticides dans les eaux peuvent avoir des effets nocifs sur le règne animal et végétal, voire polluer les ressources d'eau potable. Dans l'intérêt de l'être humain et de l'environnement, le Laboratoire de la protection des eaux de l'Office zurichois des déchets, des eaux, de l'énergie et de l'air (AWEL) a mis en place un système d'analyse systématique des eaux souterraines et des eaux de surface afin de détecter toute trace de pesticides. D'après les résultats des campagnes de mesures pluriannuelles, la qualité des eaux souterraines servant à la production d'eau potable est généralement qualifiée de bonne. En revanche, la charge en pesticides de certains cours d'eau est trop élevée pour le milieu aquatique. Des mesures supplémentaires s'imposent pour réduire encore l'apport de pesticides dans les eaux de surface.

Water Pollution by Pesticides

Residues of pesticides in bodies of water may have a negative impact on animals and plants and can contaminate drinking water. In order to protect human beings and the environment, the AWEL laboratory for water protection of the Canton Zürich is monitoring the concentration of pesticides in selected surface and ground waters. This article presents the results of measurement campaigns over several years. Based on these results, the quality of the ground water, used as drinking water, is rated as mostly good. Contrary to these results, the pesticide concentration of individual bodies of flowing water is determined as too high and critical for the aquatic environment. Therefore further actions are still necessary to reduce the entry of pesticides into surface waters.

Christian Balsiger



Rückstände von Pestiziden in Gewässern können Tiere und Pflanzen schädigen und das Trinkwasser verunreinigen. Zum Schutz von Mensch und Umwelt untersucht das Gewässerschutzlabor des AWEL im Kanton Zürich systematisch ausgewählte Grund- und Oberflächengewässer auf Pestizide. Die Ergebnisse der mehrjährigen Messkampagnen werden vorgestellt und bewertet. Basierend auf den Ergebnissen wird die Qualität des Grundwassers, welches als Trinkwasser genutzt wird, meist als gut beurteilt. Im Gegensatz dazu wird die Pestizidbelastung in einzelnen Fließgewässern als zu hoch und kritisch für die aquatische Umwelt beurteilt. Weitere Massnahmen zur Reduktion des Eintrages in die Oberflächengewässer sind daher notwendig.

1. Einführung

Pestizide sind biologisch hochwirksame chemische Substanzen, die als Wirkstoffe in Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie im Materialschutz zur Anwendung gelangen. Der Einsatz von Pestiziden in Pflanzenschutzmitteln ist weit verbreitet. Der Absatz an Pestizidwirkstoffen betrug im Jahr 2004 gemäss Pflanzenschutzmittel-Statistik in der Schweiz total 1400 Tonnen [1]. In der Landwirtschaft kommen Pestizide zum Schutze der Pflanzen vor Schädlingen, Unkräutern und Krankheiten in praktisch allen Kulturen zum Einsatz.

Die wichtigsten *Wirkstoffgruppen* sind:

- *Herbizide*, die selektiv gegen Unkraut oder als Totalherbizide gegen jeglichen Pflanzenaufwuchs eingesetzt werden.
- *Fungizide/Bakterizide* zur Bekämpfung von Pilzen/Bakterien.
- *Insektizide/Akarizide* zur Bekämpfung von Insekten/Spinnentieren.

Pestizide werden auch ausserhalb der Landwirtschaft eingesetzt, wie beispielsweise auf Grünflächen, Sportplätzen, in Hausgärten und bei Unterhaltsarbeiten.

Zum Schutz von Materialien vor unerwünschten Einwirkungen werden zum Teil dieselben Pestizide verwendet. Der Einsatz von *Biozidprodukten* in Baumaterialien, wie zum Schutz von Fassaden und Dächern vor Algen und Pilzen, ist weit verbreitet und gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Gesamtverbrauch an Pestiziden in Biozidprodukten liegt in der gleichen Grössenordnung wie der Verbrauch an Pflanzenschutzmitteln.

Einzelne Pestizide können in Gewässern bereits in kleinsten Konzentrationen das Wasser verunreinigen und die aquatische Lebensgemeinschaft schädigen. Neben den akuten Gewässerverschmutzungen durch Pestizide, die zu sichtbaren Schäden an Fischen, Krebsen und anderen Wasserlebewesen führen, stehen in neuster Zeit Untersuchungen zur *chronischen Pestizidbelastung* in Gewässern im Zentrum, deren Auswirkungen schwieriger zu beurteilen sind [2–7].

Die *Gewässerschutzverordnung* vom 28. Oktober 1998 legt die Anforderungen für Pestizide in Grundwässern, die als Trinkwasser genutzt werden, und in Fliessgewässern auf 0,1 µg/l je Einzelstoff fest. Der numerische Wert von 0,1 µg/l wurde vorsorglich im Hinblick auf das Schutzziel Trinkwasser gewählt. Zur Beurteilung der stoffspezifischen Wirkung auf die Organismen im Wasser fehlen in der Schweiz verbindliche

wirkungsbasierte *Qualitätskriterien*. Diese sind in der Gewässerschutzverordnung in allgemeiner Form als ökologische Ziele für oberirdische Gewässer und Grundwasser beschrieben. Im Rahmen der Umweltbeobachtung untersucht das Gewässerschutzlabor des AWEL seit Inkraftsetzung der Gewässerschutzverordnung systematisch ausgewählte Gewässer auf Pestizide [8]. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Gewässeruntersuchungen auf Pestizide zusammengefasst und bewertet. Als Bewertungsgrundlage für die stoffspezifischen Auswertungen dienen die von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser in Deutschland für das Schutzgut aquatische Umwelt abgeleiteten Zielvorgaben [9] und ein von der Eawag vorgestelltes Konzept für die Bestimmung wirkungsbasierter Qualitätskriterien in der Schweiz [10].

2. Überwachung der Gewässer im Kanton Zürich

2.1. Monitoringprogramme

Oberflächengewässer

In den Jahren 1999 bis 2003 wurden erstmals im Kanton Zürich ausgewählte Fliessgewässer monatlich vom Frühjahr bis Herbst mittels Stichproben auf Pestizide untersucht und die Pestizidbelastungen bewertet [8]. Seit 2004 werden die Pestiziduntersuchungen zusammen mit den Messungen der traditionellen chemischen und physikalischen Parameter und den biologischen Erhebungen in ausgewählten Einzugsgebieten durchgeführt. Diese gemeinsamen Untersuchungen ermöglichen eine integrale Beurteilung des Gewässerzustandes, die in Form eines *Statusberichtes* publiziert wurde [11].

Grundwasser

Ergänzend zu den Erhebungen des Kantonalen Labors, das im Kanton

Zürich für die Beurteilung des Trinkwassers zuständig ist, werden seit 2002 durch das Gewässerschutzlabor des AWEL auch ausgewählte Grundwässer auf deren Pestizidgehalt analysiert. Neben dem kantonalen Grundwassermonitoring beteiligt sich das Gewässerschutzlabor seit 2006 zudem an den Pestizid-Messungen für das nationale Grundwasserprogramm. Die Untersuchungen der unterirdischen Gewässer dienen der *Früherkennung* von Problemstoffen und ergeben wichtige Hinweise auf die Infiltration von Pestiziden aus den Oberflächengewässern ins Grundwasser sowie direkte Einträge über den Boden.

2.2 Untersuchte Pestizide

In der Schweiz sind mehrere hundert Pestizide zugelassen. Die analytische Untersuchung der Wirkstoffe in den Gewässern, in denen kleinste Spuren nachgewiesen werden müssen, ist sehr aufwändig. Mit einem vertretbaren Aufwand lässt sich daher nur eine Auswahl dieser Wirkstoffe analysieren. Seit Beginn der Monitoringprogramme wurde die Anzahl der analysierten Pestizide laufend erweitert. Im Jahr 2005 umfasste das Untersuchungsprogramm für die kantonale Umweltbeobachtung eine Palette von bis zu 52 Pestiziden und drei Abbauprodukten (Tab. 1). Diese umfasst *Herbizide*, *Fungizide* und *Insektizide* sowie die wichtigsten *Abbauprodukte*. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, soweit möglich die gebräuchlichsten Vertreter der einzelnen Gruppen zu erfassen. Neben ausschliesslich in der Landwirtschaft eingesetzten Pestiziden wie Atrazin und Isoproturon wurden auch Wirkstoffe untersucht,

Herbizide		Insektizide
2,4,5-T	Linuron	Chlorpyrifos
2,4-D	MCPA	Cypermethrin
2,4-DB	MCPB	DEET (Repellent)
Alachlor	Mecoprop	Diazinon
Atrazin	Metamitron	Dimethoat
Bentazon	Metazachlor	Malathion
Chlortoluron	Methabenzthiazuron	Permethrin
Cyanazin	Metobromuron	Pirimicarb
Dichlobenil	Metolachlor	
Dichlorprop	Metoxuron	Fungizide
Dimethachlor	Monolinuron	Fenpropimorph
Dimethenamid	Pendimethalin	Metalaxyl
Diuron	Propachlor	Oxadixyl
Ethofumesat	Propazin	Penconazol
Fenoprop	Sebuthylazin	Propiconazol
Fluroxypyr	Simazin	
Hexazinon	Tebutam	
Irgarol 1051 (Antifouling)	Terbutylazin	
Isoproturon	Terbutryn	
	Triclopyr	
Abbauprodukte		
	2,6-Dichlorbenzamid (Dichlobenil)	
	Desethylatrazin (Atrazin)	
	Desisopropylatrazin (Atrazin)	

Tab. 1 Liste der untersuchten Pestizide.

die ausserhalb der Landwirtschaft zum Einsatz kommen. Beispiele dazu sind die Herbizide Mecoprop und Diuron, die als Biozide auch in Baumaterialien verwendet werden, und das Insektizid Diazinon, das verbreitet in Publikumsprodukten eingesetzt wird, oder das in Mückemitteln enthaltene Diethyltoluamid (DEET).

2.3 Analytik

Aufgrund der unterschiedlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Pestizide erfolgte die Anreicherung der Proben getrennt in *neutralem* und *saurem Milieu*. Der neutrale Extrakt wurde mittels *Gaschromatographie-Massenspektrometrie* (GC-MS) und *Flüssigchromatographie* (LC) analysiert. Die saure Anreicherung der Proben wurde zur Bestimmung der Phenoxykarbonsäuren mittels *Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie* (LC-MS) analysiert. Durch die Anwendung verschiedener Analysetechniken kann ein breites Spektrum von Wirkstoffen bestimmt werden.

2.4 Qualitätssicherung

Die Wiederfindung der Festphasenextraktion wurde überprüft, indem allen Proben für die neutrale Anreicherung deuteriertes Atrazin und für die Anreicherung unter sauren Bedingungen deuteriertes Mecoprop zugegeben wurde. Einzelne Pestizide (Triazine und Chloracetanilide) wurden sowohl mit GC-MS wie auch mit LC analysiert.

Wiederholt wurde erfolgreich an den *Ringversuchen* des CIPEL, Commission Internationale pour la Protection des Eaux de Léman [12], und des IFA-Test-Systems der Universität für Bodenkultur Wien in Tulln [13] teilgenommen, um die Qualität der Pestizidanalytik zu überprüfen.

3. Belastung der Fließgewässer

3.1 Übersicht über Pestizidbelastung

In einem ersten Ansatz zur Beurteilung der Pestizidbelastung in den Untersuchungsjahren 1999 bis 2003 wurde für jede Untersuchungsstelle die Anzahl der Messwerte über 0,1 µg/l bestimmt. Diese wurde durch die Anzahl Proben dividiert.

$$\text{Belastungsindex} = \frac{\text{Anzahl Messwerte} > 0,1 \mu\text{g/l}}{\text{Anzahl Proben}}$$

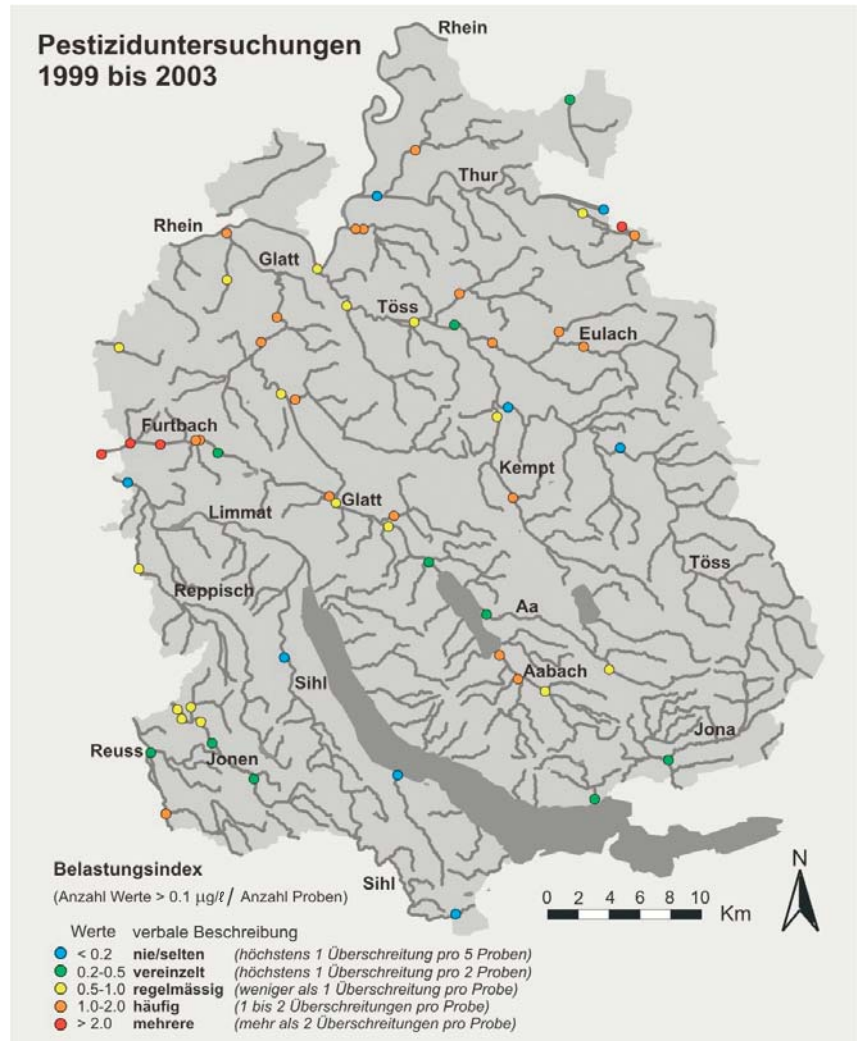


Abb. 1 Geografische Übersicht der Pestizidbelastung von Fließgewässern im Kanton Zürich.

Die erhaltene Kenngrösse wird nachfolgend als *Belastungsindex* bezeichnet, der als relatives Mass zur Bewertung der quantitativen Pestizidbelastung einer Untersuchungsstelle dient.

In *Abbildung 1* ist der Belastungsindex für die 60 untersuchten Stellen als *geografische Übersicht* dargestellt. Insbesondere in kleineren und mittleren Fließgewässern mit landwirtschaftlichem Einzugsgebiet wie dem Furtbach, Ellikerbach, Flaacherbach, Aabach und der Eulach wurden häufig Überschreitungen festgestellt. Auch in der Glatt, einem

mittleren Fließgewässer mit urbanem und landwirtschaftlichem Einzugsgebiet, waren Überschreitungen häufig (*Kap. 3.4*).

In *Abbildung 2* ist der Belastungsindex in Funktion des mittleren Abflusses als Kriterium der Gewässergrösse dargestellt. Die Resultate der Untersuchungsstellen am selben Gewässer sind in der Graphik mit Linien verbunden. Mit Ausnahme der Messstelle an der Glatt vor der Mündung in den Rhein nimmt bei allen vier Gewässern die Pestizidbelastung im Fließverlauf zu.

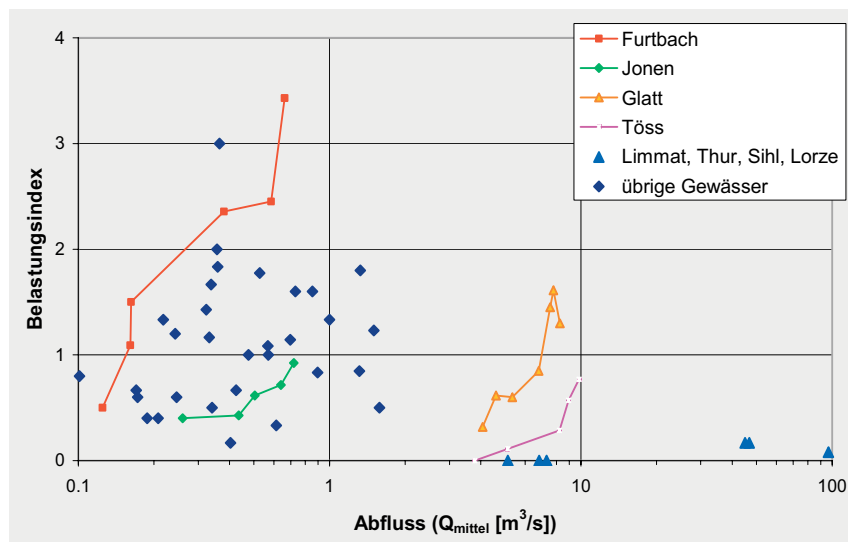


Abb. 2 Zusammenhang zwischen dem Belastungsindex und dem mittleren Abfluss (Gewässergrösse) dargestellt für die 60 untersuchten Probenahmestellen (Daten 1999 bis 2003).

Die unterschiedliche Pestizidbelastung der einzelnen Gewässer kommt klar zum Ausdruck. Der intensive Gemüseanbau im Furttal führt im *Furtbach* zu einer deutlich stärkeren Belastung mit Pestiziden als in der *Jonen*, deren Einzugsgebiet durch die Landwirtschaft mit Milchwirtschaft dominiert wird. In der *Glatt*, deren Tal durch intensive Landwirtschaft, Industrie, dichte Besiedlung und den Flughafen geprägt wird, ist die Pestizidbelastung deutlich grösser als in der *Töss*, deren Einzugsgebiet oberhalb von Winterthur wesentlich extensiver bewirtschaftet wird und weniger dicht besiedelt ist. Niedrige Pestizidbelastungen weisen die Probenahmestellen der *Sihl*, *Lorze*, *Thur* und *Limmat* auf. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der hier verwendete Belastungsindex für die Pestizidbelastung der einzelnen Untersuchungsstellen eine plausible Kenngrösse darstellt. Dies, obwohl nur Stichproben erhoben wurden und die Daten zudem aus verschiedenen Untersuchungsjahren stammen. Die dargestellte Auswertung auf Basis der gemessenen Konzentrationen

sagen aber wenig über die ökologische Bedeutung der ermittelten Belastung aus. Dafür ist die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebene stoffspezifische Auswertung beizuziehen, welche die unterschiedli-

chen Toxizitäten der Pestizide auf die Wasserorganismen berücksichtigt.

3.2 Stoffspezifische Auswertungen

Von den bis 52 Pestiziden und drei Abbauprodukten, die untersucht wurden, konnten in den Untersuchungsjahren 1999–2005 insgesamt 17 Wirkstoffe und zwei Abbauprodukte in mindestens einem Prozent der Messungen in Konzentrationen über 0,1 µg/l nachgewiesen werden. Die Häufigkeit der Überschreitungen der Qualitätsanforderung und die gemessenen Maximalwerte sind in der *Tabelle 2* für diese Stoffe zusammengefasst. Um die ökotoxikologische Relevanz der Befunde abzuschätzen, sind zudem die für die Schweiz diskutierten Zielvorgaben und wirkungsbasierten Qualitätskriterien zum Schutze der aquatischen Umwelt aufgeführt.

Vor allem wurden *Herbizide* in erhöhten Konzentrationen gemessen. Die Wirkstoffe, die mengenmässig zu den grössten Belastungen führten, sind Mecoprop, Atrazin, Isoproturon, Diuron, Metamitron und MCPA. Auch zwei *Abbauprodukte*, Desethylatrazin (Atrazin) und 2,6-Dichlorbenzamid (Dichlobenil), wurden wiederholt in erhöhten Konzentrationen nachgewiesen. Werden die für die Schweiz diskutierten Zielvorgaben zum Schutze der aquatischen Umwelt berücksichtigt, stehen die Herbizide Diuron, Isoproturon, Linuron, Metolachlor, Metazachlor, Propachlor und Simazin im Vorder-

Stoffgruppe	Wirkstoff	Anteil Werte > 0,1 µg/l	höchster Wert [µg/l]	AQK [µg/l]	CQK [µg/l]	ZV LAWA [µg/l]
Herbizid	Mecoprop	26%	3,89			50
Herbizid	Atrazin	15%	1,49	15	1,8	
Herbizid	2,6 Dichlorbenzamid	11%	0,20			
Repellent	DEET	9%	7,31			
Herbizid	Desethylatrazin	7%	0,30			
Herbizid	Isoproturon	6%	8,44	2,2	0,27	0,3
Herbizid	Diuron	4%	2,74	1,3	0,15	0,05
Herbizid	Metamitron	4%	2,58			
Herbizid	MCPA	3%	2,94			2
Herbizid	Metazachlor	2%	1,78	1,9	0,13	0,4
Insektizid	Diazinon	2%	0,38	0,14	0,003	
Herbizid	Linuron	2%	2,20	2,6	0,32	0,3
Herbizid	Metolachlor	2%	1,34	4,4	0,3	0,2
Herbizid	Metobromuron	2%	1,52			
Herbizid	Simazin	1%	0,65	23	2,8	0,1
Herbizid	Ethofumesat	1%	0,87			
Herbizid	2,4-D	1%	1,14			2
Herbizid	Bentazon	1%	0,64			70
Herbizid	Propachlor	1%	1,89	1,4	0,09	

Tab. 2 Pestizide in Fliessgewässern (1999–2005). (Total: 1355 Proben, Mecoprop, MCPA, 2,4-D, Bentazon ab 2002 mit 996 Proben und 2,6-Dichlorbenzamid ab 2005 mit 350 Proben). AQK-Qualitätskriterium für akute Toxizität und CQK für chronische Toxizität sowie ZV LAWA-Zielvorgabe der deutschen Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

grund, da diese ein erhöhtes Risiko für die aquatische Umwelt darstellen können. Die Herbizide Atrazin, Simazin, Isoproturon und Diuron sind von der EU als prioritär gefährliche Stoffe zur Prüfung eingeteilt [14], deren Eintrag in die Gewässer vorrangig begrenzt oder verhindert werden soll.

Auch das *Insektizid* Diazinon und DEET, ein in Mückenschutzmitteln enthaltener Repellent, wurden zeitweise in erhöhten Konzentrationen festgestellt. Aufgrund der hohen chronischen Toxizität muss aus den Diazinon-Nachweisen ein erhöhtes Risiko für die aquatische Lebensgemeinschaft abgeleitet werden.

3.3 Zeitlicher Verlauf der Belastungen

Der jahreszeitliche Konzentrationsverlauf, die Abflussverhältnisse und Gewässergrösse sowie das Einzugsgebiet sind von zentraler Bedeutung. Diese Auswertungen, die in einem Fachbericht detailliert publiziert sind [8], ergeben wichtige Informationen über Vorkommen, Herkunft und mögliche Auswirkungen auf die aquatische Umwelt. In der *Abbildung 3* ist das zeitliche Auftreten am Beispiel der Wirkstoffe Atrazin, Desethylatrazin, Isoproturon, Mecoprop, Diuron und Diazinon im Jahresverlauf von März bis Oktober dargestellt.

Das zeitliche Auftreten der erhöhten Werte von *Atrazin* und *Isoproturon* deckt sich mit der saisonalen Anwendung der Stoffe als Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft. Neben Atrazin ist auch das Abbauprodukt *Desethylatrazin* über das Jahr nachweisbar und bestätigt das ubiquitäre Vorkommen dieses Wirkstoffes im Wasser (*Kap. 4*).

Auch bei *Mecoprop* fällt die Periode mit den höchsten Konzentrationen mit der Hauptanwendung in der Landwirtschaft zusammen. Mecoprop wird aber nicht nur in der Landwirtschaft eingesetzt, sondern ist auch in Publikumsprodukten zur Pflege von Zier- und Sportrasen enthalten. Zudem wird es in Abdichtmassen im Flachdachbau verwendet und kann über die Dachentwässerung in die Gewässer gelangen. Die Einträge von Diuron und Diazinon verteilen sich über das Jahr und zeigen keine Abhängigkeit von den landwirtschaftlichen Anwendungen. Wie auch die nachfolgenden Untersuchungen in den Einzugsgebieten Glatt und Greifensee bestätigen, stammen diese Einträge hauptsächlich aus Anwendungen im Siedlungsgebiet.

Bei *Diuron*, ein in Baumaterialien und Fassadenbeschichtungen verbreitet eingesetztes Alginid, wird vermutet, dass aus den Materialien

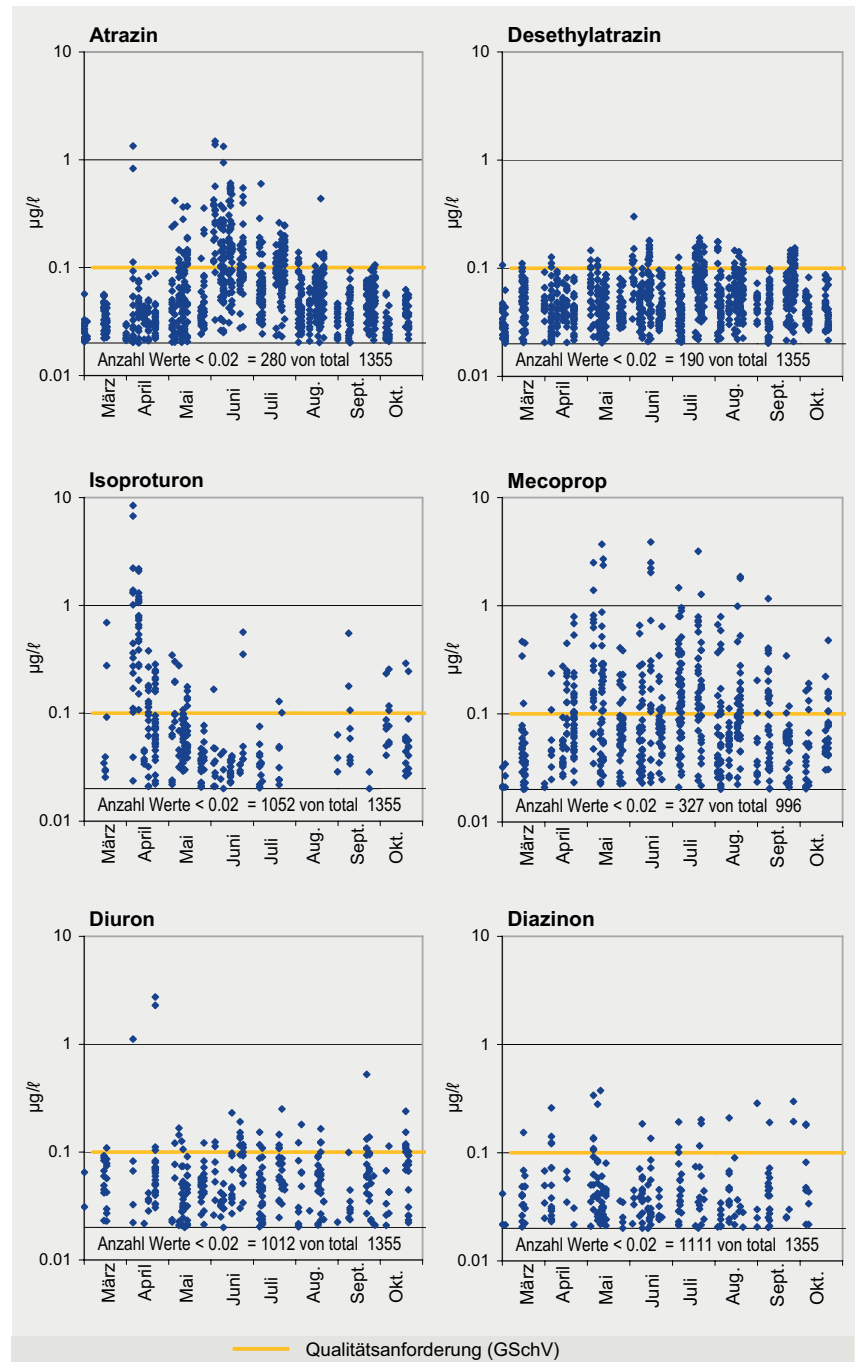


Abb. 3 Zeitliches Auftreten von ausgewählten Pestiziden in Fließgewässern (Daten 1999 bis 2005).

relevante Mengen ausgewaschen werden und über die Siedlungsentwässerung in die Gewässer gelangen [15].

Auch das Insektizid *Diazinon*, das in vielen Publikumsprodukten für Haus und Garten enthalten ist, wird der Eintrag über die Siedlungsentwässerung als Ursache für die erhöhten Werte vermutet. Besonders pro-

blematisch dürften dabei das Auswaschen von Spritzgeräten und Gebinden sowie die unsachgemäße Entsorgung von Spritzmittelresten über die Kanalisation sein.

3.4 Einzugsgebiete Glatt und Greifensee

Bei den Untersuchungen in den Einzugsgebieten Glatt und Greifensee

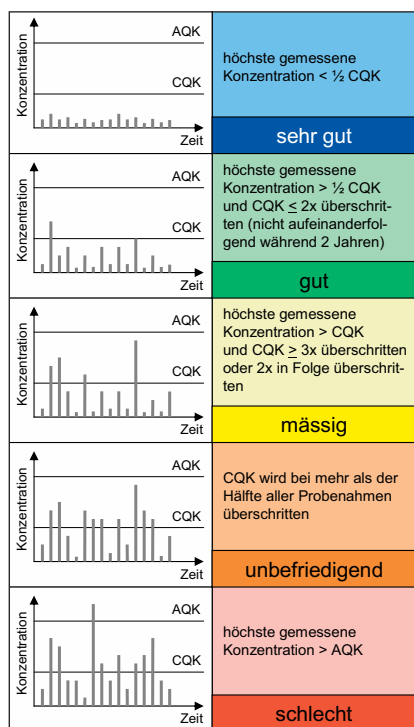


Abb. 4 Schema zur Beurteilung der Belastungssituation einer Untersuchungsstelle durch Pestizidwirkstoffe aufgrund von monatlichen Stichproben (AQK = akutes und CQK = chronisches Qualitätskriterium).

in den Jahren 2004 und 2005 wurden 702 Wasserproben auf Pestizide untersucht und erstmals nach dem Konzept von *Chèvre et al.* [10] ausgewertet, welches auf wirkungsbasierten Qualitätskriterien zur Beurteilung der *chronischen Toxizität* (CQK) und der *akuten Toxizität* (AQK) basiert. Bei der chronischen Toxizität muss zur Beurteilung der Belastungssituation zusätzlich die Einwirkdauer berücksichtigt werden. Da bei den Untersuchungen in den Einzugsgebieten von Glatt und Greifensee in den Jahren 2004 und 2005 jeweils von März bis Oktober monatlich nur eine Probe pro Stelle untersucht werden konnte, musste das Konzept von *Chèvre* gemäss dem in *Abbildung 4* dargestellten Schema angepasst werden.

Die Beurteilung von Pestizidgemischen ist sinnvoll für Stoffgruppen, die den gleichen Wirkungsmechanismus aufweisen. Für die Beurteilung einer solchen Stoffgruppe kann für eine Untersuchungsprobe die Summe der *Risikoquotienten* (RQ) der Einzelstoffe gebildet werden.

$$RQ_{\text{Mischung}} = \frac{\text{Konz.}_i}{\text{CQK}_i} + \frac{\text{Konz.}_j}{\text{CQK}_j}$$

Ist die Summe der Risikoquotienten grösser als eins, kann durch die beurteilte Stoffgruppe das Risiko einer chronischen Gefährdung der Wasserorganismen bestehen. Das analoge Vorgehen wurde für die Beurteilung der akuten Toxizität angewendet. Für die *Herbizidgruppen* der *Triazine* (Atrazin, Simazin, Terbutylazin, Terbutryn) und der *Phenylharnstoffe* (Diuron, Isoproturon, Linuron), welche die biochemischen Prozesse der Photosynthese mit dem gleichen Wirkungsmechanismus beeinträchtigen, wird der Zustand im Einzugsgebiet in *Abbildung 5* beurteilt. In einzelnen Gewässerabschnitten in der Glatt und am Lieburgerbach wird für diese Herbizide eine mässige Beeinträchtigung festgestellt, die mehrheitlich auf Einträge von Diuron über Abwasserreinigungsanlagen zurückzuführen sind. Im Dorfbach Windlach, einem Bach mit landwirtschaftlich geprägtem Einzugsgebiet, wurden in einer Frühjahrsprobe eine Konzentration von 2,7 µg/l Diuron festgestellt, womit die Schwelle der akuten Toxizität deutlich überschritten wurde und zu einem als schlecht bewerteten Zustand führte. Für *Insektizide*, die im Gewässer bereits in kleinsten Konzentrationen Insekten, Krebse und allenfalls Fische schädigen können, wird die Belastungssituation in der *Abbildung 6* dargestellt und muss in einzelnen Gewässerabschnitten als schlecht beurteilt werden.

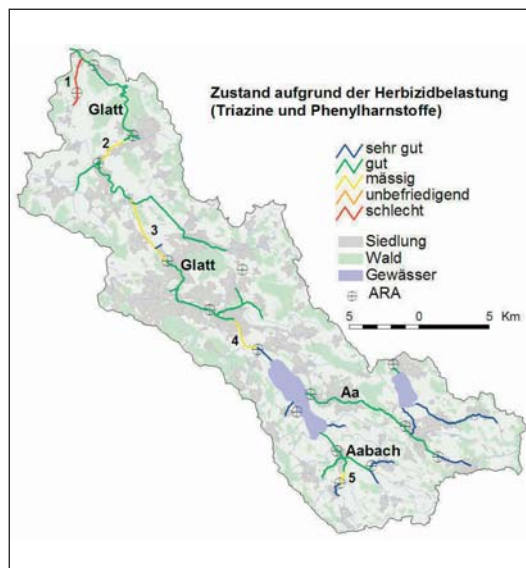


Abb. 5 Herbizidbelastung in den Einzugsgebieten Glatt und Greifensee basierend auf wirkungsbasierten Qualitätskriterien für chronische und akute Toxizität (Probenahmestellen: 1 Dorfbach Windlach; 2, 3, 4 Glatt; 5 Lieburgerbach).

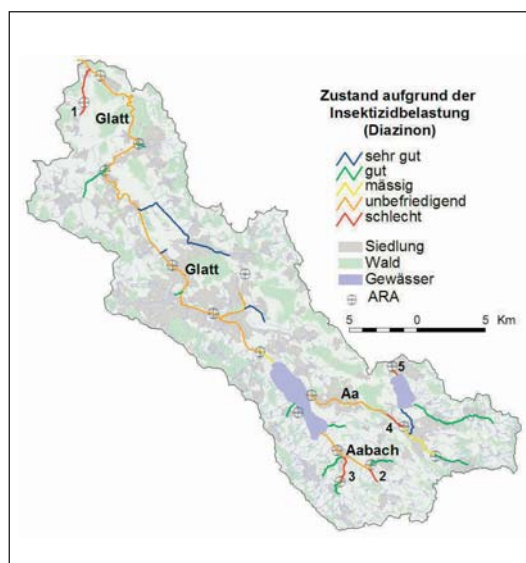


Abb. 6 Insektizidbelastung in den Einzugsgebieten Glatt und Greifensee basierend auf wirkungsbasierten Qualitätskriterien für chronische und akute Toxizität (Probenahmestellen: 1 Dorfbach Windlach, 2 Aabach, 3 Lieburgerbach, 4 Aa, 5 Seezufluss).

Das in den Einzugsgebieten am häufigsten nachgewiesene Insektizid war *Diazinon*. Aufgrund der hohen Toxizität wird für Diazinon ein sehr strenges Qualitätskriterium von 0,003 µg/l für die chronische Toxizität postuliert. Bei einer Bestimmungsgrenze von 0,01 µg/l führt dies dazu, dass jeder Nachweis von Diazinon als potenzielles Risiko für die aquatische Umwelt bewertet werden muss.

4. Belastung des Grundwassers

In 80 % der untersuchten 50 Quell- und Grundwasserfassungen im Kanton Zürich kann Atrazin und dessen Abbauprodukt *Desethylatrazin* in Spuren nachgewiesen werden. In vier Fällen wurden die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung von 0,1 µg/l je Einzelstoff nicht eingehalten, die Maximalwerte betragen für Atrazin 0,20 µg/l und für Desethylatrazin 0,22 µg/l (Abb. 7).

Erwähnenswert sind die häufigen Nachweise von 2,6-Dichlorbenzamid in mehr als der Hälfte der untersuchten Fassungen bei einem 90-Perzentil-Wert von 0,08 µg/l (Abb. 7). In zwei Fassungen überschritten die gemessenen Konzentrationen von 2,6-Dichlorbenzamid die Anforderungen der Gewässerschutzverordnung, der Maximalwert betrug 0,31 µg/l. 2,6-Dichlorbenzamid ist ein Abbauprodukt des Herbizidwirkstoffes Dichobencil, der in Unkrautvernichtungsmitteln auf Wiesen und Weiden sowie im Obst- und Gartenbau eingesetzt wird. In einem Pumpwerk eines landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebietes wurden einzelne erhöhte Werte von Oxadixyl bis 0,19 µg/l nachgewiesen. Andere Wirkstoffe sind im Grundwasser nur vereinzelt in Spurenkonzentrationen unter 0,1 µg/l feststellbar.

Die Befunde im Kanton Zürich zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Grundwasseruntersuchungen. Die umfassendsten Daten liefern die Auswertungen des nationalen Netzes zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers in der Schweiz des BAFU (NAQUA), in denen die Triazine und deren Abbauprodukte für die überwiegende Mehrheit aller Nachweise verantwortlich gemacht werden [16]. Auch auf die häufigen Nachweise von 2,6-Dichlorbenzamid, das in der Schweiz erst seit wenigen Jahren im Grundwasser analysiert wird, wurde in neueren Arbeiten bereits hingewiesen [17].

Insgesamt bestätigen die Grundwasseruntersuchungen eine im Vergleich zu den Oberflächengewässern geringere Belastung des Grundwassers mit Pestiziden, die nach derzeitigem Wissensstand für den Menschen kaum eine Gesundheitsgefährdung darstellt. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Grundwassergebieten, insbesondere im Nahbereich von belasteten Grundwasserfassungen, ist jedoch weiter sorgfältig zu überwachen und nach Möglichkeit weiter einzuschränken.

5. Eintrag von Pestiziden in Gewässer

5.1 Akute und chronische Belastungen der Oberflächengewässer

Akute Gewässerverschmutzungen durch Pestizide, die zu sichtbaren Schäden an Fischen, Krebsen oder anderen Wasserlebewesen führen, sind meist auf Havarien oder Fehler bei der Anwendung zurückzuführen. Im Kanton Zürich führen jedes Jahr durch Pestizide verursachte akute Gewässerverschmutzungen zu Fisch- oder Krebssterben. Besondere Vorsicht ist auf Strassen und Vorplätzen geboten. Hier können in Spritzmittel eingesetzte Pestizide über das Entwässerungssystem direkt ins Oberflächengewässer gelangen. Bei unsachgemässer Handhabung drohen dem Verursacher Strafverfolgung und hohe Kosten für die angerichteten

Schäden. Wer Pestizide einsetzt, ist sich häufig nicht bewusst, welche kleinen Pestizidmengen bereits die Flora und Fauna in Gewässern massiv schädigen können. Bei den chronischen Gewässerbelastungen sind die Eintragspfade der Pestizide aus der Landwirtschaft vielfältiger und Gegenstand von umfangreichen Studien des Bundesamtes für Landwirtschaft und der Forschungsanstalten Agroscope [18] und Eawag [19, 20]. Neben den Einträgen von Pestiziden aus der Landwirtschaft sind zunehmend auch die diffusen Einträge von Bioziden aus Baustoffen von Interesse [21].

5.2 Eintrag über Abwasserreinigungsanlagen

Pestizide werden in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) schlecht eliminiert und gelangen über

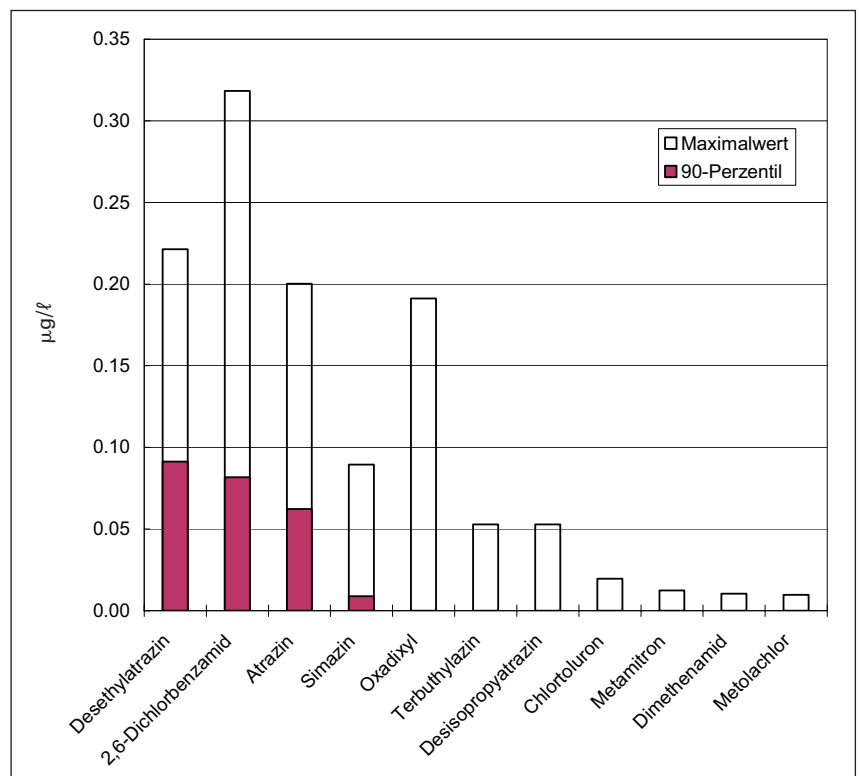


Abb. 7 Nachgewiesene Pestizide in 50 Quell- und Grundwasserfassungen im Kanton Zürich 2006 (total 41 Wirkstoffe und 3 Abbauprodukte analysiert).

das gereinigte Abwasser in die Oberflächengewässer. Auch das Meteorwasser aus der Siedlungsentwässerung, welches im *Trennsystem* direkt in die Oberflächengewässer oder im *Mischsystem* bei Regenereignissen über Entlastungen in den Vorfluter gelangt, stellt ebenfalls einen wichtigen Eintragspfad für Pestizide in die Gewässer dar. In Untersuchungen aus Deutschland wurden die ARA als *Haupteintragspfad* für Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern bezeichnet [22]. In einer Studie der Eawag wird darauf hingewiesen, dass vor allem Pestizide aus urbanen Anwendungen über die ARA eingetragen werden [19].

Die Ergebnisse in den Einzugsgebieten Glatt und Greifensee bestätigen, dass in urbanen Siedlungsgebieten massgebliche Einträge von problematischen Pestiziden wie Diazinon und Diuron über die ARA erfolgen. Auch Pestizide aus der Landwirtschaft können in relevanten Mengen über die ARA in die Gewässer gelangen. Dies bestätigen auch Untersuchungen durch das Gewässerschutz- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, die in Ablaufproben von ARA stark erhöhte Pestizidwerte nachwiesen [23]. Belastungsspitzen, welche über gereinigtes Abwasser in die Gewässer gelangen, weisen auf eine unsachgemässe Entsorgung von Spritzmittelresten oder Spülwässer der Gerätereinigung über die Kanalisation hin.

6. Massnahmen zur Reduktion der Pestizideinträge

Wie die Ergebnisse der mehrjährigen Untersuchungskampagnen aufzeigen, besteht *Handlungsbedarf*. Die Pestizideinträge in die Fließgewässer müssen reduziert werden. Bei allen Anwendungen, ob in der Landwirtschaft, im Gartenbau, auf Sportplätzen oder beim Unter-

halt, müssen die Pestizideinsätze auf ein Minimum beschränkt und die notwendigen Vorsichtsmassnahmen getroffen werden.

Bereits heute sind der Umgang und die Verwendung von *Pflanzenschutzmitteln* in der Schweiz in verschiedenen Gesetzen und Verordnungen geregelt. Auf Verordnungsstufe sind dies in der Schweiz die im Rahmen der neuen Chemikaliengesetzgebung erlassenen Regelungen in der *Pflanzenschutzmittelverordnung* und in der *Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung* [24]. Diese Regelungen, wie die Verwendungsverbote in besonders sensiblen Bereichen in Grundwasserschutzzonen, Naturschutz- und Rietgebieten, Mooren, an oberirdischen Gewässern inkl. Schutzstreifen und auf Dächern, Terrassen, Lagerplätzen sowie im Bereich von Strassen und Geleisen müssen dem Anwender bekannt sein und strikte eingehalten werden.

Ein weiteres zentrales Anliegen ist der fachgerechte Umgang mit Pflanzenschutzmitteln von der Lagerung, dem Umfüllen, der Anwendung bis zur Entsorgung. Es muss sichergestellt werden, dass keine Spritzmittel in die Gewässer gelangen. Die breite Umsetzung dieser Regelungen, die in der Landwirtschaft als gute fachliche Praxis angestrebt werden, erfordern weitere Anstrengungen im Bereich *Schulung* und *Information* und eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Gewässerschutz. Der fachgerechte Umgang mit Pflanzenschutzmitteln muss dabei auch Mindestanforderungen für Spritzgeräte umfassen. Mit einer fachgerechten Reinigung von Spritzgeräten kann verhindert werden, dass belastetes Spülwasser über die Kanalisation entsorgt wird. Dazu hat der Kanton Bern [25] verbindliche Richtlinien erlassen, die verlangen, dass nur noch Spritzgeräte mit einem

integrierten Frischwassertank eingesetzt werden dürfen. Diese technische Massnahme ermöglicht es dem Anwender, die Gerätereinigung auf dem Felde durchzuführen und das belastete Spülwasser am Anwendungsort auszubringen und dadurch von der Kanalisation fernzuhalten.

Weitergehende Reduktionen könnten durch eine Ökologisierung der Landwirtschaft und eine Förderung der standortgerechten Landwirtschaft erzielt werden [18, 26, 27]

Auch die Pestizideinträge aus der Verwendung von Pflanzenschutzmitteln im nichtlandwirtschaftlichen Bereich wie im Haus- und Gartenbereich, auf Sportanlagen oder bei Unterhaltsarbeiten müssen reduziert werden. Wichtig ist, dass alle Verbraucher von Pestiziden über die Produkte und die fachgerechte Anwendung und Entsorgung informiert sind. Wie weit dies bei der breiten Anwendung von problematischen Wirkstoffen in frei erhältlichen Publikumsprodukten für Haushalt und Garten möglich ist, bleibt jedoch fraglich.

7. Ausblick

Für einen nachhaltigen Gewässerschutz müssen in Zukunft die Ergebnisse des Umweltmonitorings verstärkt in die Anwendungsregeln für eine gute fachliche Praxis einfließen und bei der Zulassung von Wirkstoffen mitberücksichtigt werden. Mit dem *neuen Chemikalien- und Landwirtschaftsrecht*, das in integralen Verordnungen die Zulassung und Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten regelt, sind dazu die gesetzlichen Grundlagen vorhanden. Neben den Einträgen von Pestiziden aus Pflanzenschutzmitteln können dadurch auch die problematischen Einträge von Wirkstoffen aus Biozidprodukten in Anstrichen und Baumaterialien reduziert werden.

Im Gegensatz zum Grundwasser, dessen Zustand meist als gut bewertet werden kann, weisen einzelne Fließgewässer zu hohe Pestizidbelastungen auf. Für eine abschliessende Beurteilung müssen dazu in der Schweiz verbindliche wirkungsbasierte Qualitätsziele zum Schutze der aquatischen Umwelt festgelegt werden.

Erst diese Qualitätsziele, die im benachbarten Ausland bereits für eine Auswahl von Pestiziden erfolgreich angewendet werden, ermöglichen eine einheitliche Beurteilung der Belastungssituation für Fließgewässer. Wie am Beispiel Diazinon dargelegt, können die wirkungsbasierten Qualitätsziele bei ausgewählten Pestiziden zu einer Verschärfung der Anforder-

rungen von weit unter 0,1 µg/l in Fliessgewässern führen. Dank der gleichzeitigen Weiterentwicklung der Analytik zu noch niedrigeren Bestimmungsgrenzen, können diese Stoffe in Zukunft auch im untersten Konzentrationsbereich von bis 1 ng/l nachgewiesen werden.

Verdankung

Die Autoren danken den Mitarbeitenden des Gewässerschutzlabors des Kantons Zürich, insbesondere *Hedy Pfister* und *Stefan Huber* (GC-MS und LC-MS Analytik) sowie *Hanspeter Keller*, *Hans-Ulrich Aeppli* und *Stefan Scherrer* (Probenahme und Aufbereitung) für die qualifizierte Durchführung der Analysen.

Literaturverzeichnis

- [1] *Schweizerische Gesellschaft für chemische Industrie* (2004): PSM-Statistik Schweiz 2004.
- [2] *Müller, E. et al* (2005): Pflanzenschutzmittel in Gewässern. gwa 1/05, p. 39–48.
- [3] *Balsiger, C.* (2004): Pflanzenschutzmittel belasten Flüsse und Bäche. Umweltpraxis 38, p. 37–40.
- [4] *Vioget, Ph.; Strawczynski, A.* (2005): Pesticide dans les cours d'eau vaudois en 2002, 2003 et 2004, rapport du Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud.
- [5] *Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein*: Jahresberichte 1999 bis 2005.
- [6] *Baudepartement Kanton Aargau, Abteilung für Umwelt* (2002): Pestizide in aargauischen Fliessgewässern, Umwelt Aargau 18/02.
- [7] *Amt für Umweltschutz des Kantons St. Gallen* (2003): Pestizide in St.Galler Fliessgewässern und im Grundwasser. Umwelt Facts 2/03.
- [8] *AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft* (2005): Pestizide in Fliessgewässern des Kanton Zürich, Fachbericht Auswertungen 1999 bis 2003.
- [9] *Umweltbundesamt* (2006): Übersicht über chemische Qualitätsanforderungen an Oberflächengewässer, Zielvorgaben der LAWA für Pestizide. www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/ow_s2_2.htm
- [10] *Chèvre, N. et al* (2006): Pestizide in Schweizer Oberflächengewässern. Wirkungsbasierte Qualitätskriterien. gwa 4/06, p. 297–307.
- [11] *AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft* (2006): Wasserqualität der Seen, Fliessgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich, Statusbericht 2006.
- [12] *CIPEL: Commission Internationale pour la Protection des Eaux de Léman, Interlaboratoire Micropolluants et Pesticides.*
- [13] *IFA-Tullin*: Kontrollprobensystem zur Wasseranalytik, www.ifatest.ch
- [14] *Umweltbundesamt* (2004): Liste prioritärer Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie. www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/stoffhaushalt/wrrl.htm
- [15] *Burkhardt, M. et al* (2005): Biozide in Fassadenbeschichtungen – Auswaschungen mit Folgen. Coviss 2 (7), p. 6–9.
- [16] *BUWAL/BWG* (2004): Naqua-Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003.
- [17] *Kantonales Amt für Lebensmittelkontrolle St. Gallen* (2005): Dichlorbenzamid in Grund- und Trinkwasser, Kleidoskop, Nr. 14/05, p. 2.
- [18] *Agroscope FAW Wädenswil* (2005): Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme, Synthesebericht Bereich Pflanzenschutzmittel.
- [19] *Gerecke, A.; Müller, S.; Singer, H.; Schärer, M.; Schwarzenbach, R.; Säggesser, M.; Ochsenbein, U.; Popow, G.* (2001): Pestizide in Oberflächengewässern. gwa 3/01.
- [20] *Leu, C.; Singer, H.; Stamm, C.; Müller, S.R.; Schwarzenbach, R.P.* (2004): Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. Environmental Science & Technology 38, p. 3827–3834.
- [21] *Eawag* (2006): Biozide und Additive für den Materialschutz von Gebäuden: Auswaschungen und Eintrag in Entwässerungssysteme von urbanen Gebieten, Projekt Urbic.
- [22] *Seel, P.; Knepper, T.P.; Gabriel, S.; Weber, A.; Haberer, K.* (1996): Kläranlagen als Haupteintragspfad für Pflanzenschutzmittel in Fliessgewässern, Vom Wasser, 86, 247–262.
- [23] *Ochsenbein, U.; Berset, J.D.* (2005): Pestizide in ARA-Ausläufen und Belastung der Gewässer, Cercl'eau-Tagung 2005. www.cercl'eau.ch/tagung2005.html
- [24] *Pflanzenschutzmittelverordnung und Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV)* (18. Mai 2005): Anhang 2.5 Pflanzenschutzmittel.
- [25] *Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft und Amt für Landwirtschaft Kanton Bern*, 2004: Richtlinien für den Umgang mit Pflanzenschutzmitteln und -Geräten in der Landwirtschaft.
- [26] *Singer, H.* (2005): Pestizideintrag ins Gewässer-Forschung trifft Politik, Eawag News 59d, p. 16–19.
- [27] *Zraggen, K.; Flury, C.* (2005): Förderung einer standortangepassten Landnutzung, Eawag News 59d, p. 24–26.

Keywords

Pestizide – Gewässer – Oberflächengewässer – Grundwasser

Adresse der Autoren

Christian Balsiger, dipl. Chem. FH
christian.balsiger@bd.zh.ch

Pius Niederhauser, Dr.
pius.niederhauser@bd.zh.ch

Oliver Jäggi, dipl. Chem. HTL
oliver.jaeggi@bd.zh.ch

Walo Meier, Dr.
walo.meier@bd.zh.ch

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Gewässerschutz
Gewässerschutzlabor:
Hardturmstrasse 105
CH-8005 Zürich
Tel. +41 (0)44 446 41 11
Fax +41 (0)44 446 41 00
www.labor.zh.ch

Zu kaufen gesucht

Gebrauchte
Stromaggregate und Motoren
(Diesel oder Gas) ab 250 bis 5000 KVA
alle Baujahre, auch für Ersatzteile

LIHAMIJ

Postfach 51, 5595 Leende – Holland
Tel.: 0031-4 02 06 14 40, Fax: 0031-4 02 06 21 58
E-mail: sales@lihamij.com