



Untersuchung der Spurenstoffe

bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» im Jahr 2014

mit einem Vergleich zu den Resultaten der früheren Untersuchungen an dieser Stelle

**AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Gewässerschutz**

Oberflächengewässerschutz

Dr. Jürg Sinniger
juerg.sinniger@bd.zh.ch

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

Zürich, 10. September 2015, gedruckt am 21. September 2015

Foto Titelseite: Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	2
Verzeichnis der Abkürzungen und wichtigen Grössen	3
Zusammenfassung	4
1 Einleitung	6
2 Methode	8
2.1 Probenahme	8
2.2 Analytik	8
2.2.1 Analysemethoden	8
2.2.2 Untersuchte Verbindungen	9
2.3 Auswertung der Daten	10
2.3.1 Bestimmung der Wasserqualität	10
2.3.2 Berechnung von Frachten	14
3 Resultate	15
3.1 Nachweise Pestizide und Indikatorsubstanzen ARA	15
3.1.1 Verteilung der Nachweise auf die einzelnen Verbindungen	15
3.1.2 Maximale Konzentrationen	17
3.2 Frachten der Indikatorsubstanzen	19
3.3 Qualität des Wassers	20
3.3.1 Auswertung mittels Belastungsindex	20
3.3.2 Auswertung mittels Qualitätskriterien	20
3.4 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden	21
4 Diskussion	23
4.1 Nachweise der Pestizide	23
4.2 Ausgewählte Verbindungen	24
4.2.1 Pestizide	24
4.2.2 Indikatorsubstanzen ARA	27
4.3 Diskussion der Wasserqualität	27
4.3.1 Wasserqualität aufgrund des Belastungsindex	27
4.3.2 Wasserqualität aufgrund der Qualitätskriterien	28
4.4 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden	29
5 Literatur	30
Anhang A: Untersuchte Verbindungen	31
I Beschreibung der Verbindungen	31
II Bestimmungsgrenzen, Qualitätskriterien und Zuordnung zu taxonomischen Gruppen	33
Anhang B: Resultate	34
I Nachweise Pestizide	34
II Ausgewählte Verbindungen	38

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abb. 1.1:** Die Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»
Abb. 1.2: Lage der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»
Abb. 2.1: Schöpfautomat
Abb. 3.1: Anteil der Wochenmischproben, in denen ein bestimmtes Pestizid in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurde
Abb. 3.2: Variation der wöchentlichen Frachten der Indikatorsubstanzen ARA
Abb. 3.3: Jahreszeitlicher Verlauf der Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze und Anforderungswert der GSchV
Abb. 3.4: Durchschnittliche Summen der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben

Tabellen

- Tab. 1.1:** Mittlere Jahresabflüsse des Furtbachs bei Würenlos in den Jahren 2007 bis 2009, 2011 und 2014 sowie Charakteristika des Einzugsgebiets
Tab. 2.1: Untersuchungsperioden und Anzahl Proben
Tab. 2.2: Untersuchte Verbindungen
Tab. 2.3: Schema für die Beurteilung der Wasserqualität
Tab. 3.1: Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen die Verbindungen in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurden
Tab. 3.2: Höchste Konzentration, die für jede Verbindung in den jeweiligen Messkampagnen gemessen wurde
Tab. 3.3: Mittelwerte der wöchentlichen Frachten der Indikatorsubstanzen ARA
Tab. 3.4: Wasserqualität, ermittelt mit Hilfe des Belastungsindex
Tab. 3.5: Wasserqualität, ermittelt mittels Qualitätskriterien
Tab. 3.6: Verbindungen mit einem Risikoquotienten $RQ_{max}(v)$ grösser als eins
Tab. 4.1: Spitzenreiter bei der Anzahl Nachweisen in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV
Tab. 4.2: Spitzenreiter bei den maximal gemessenen Konzentrationen
Tab. 4.3: Verhältnis der Grössen, die die Variation der Frachten der Indikatorsubstanzen ARA beschreiben
Tab. 4.4: Verbindungen, die in den fünf Untersuchungsperioden mit einem RQ_{max} grösser als 1 auftraten

Verzeichnis der Abkürzungen und wichtigen Grössen

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AF	Anforderungswert
Anh.	Anhang
ARA	Abwasserreinigungsanlage
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
BG	Bestimmungsgrenze
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heisst
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
Gl.	Gleichung
GSchV	Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2014); SR 814.201
IS	Indikatorsubstanzen
Konz.	Konzentration
LC-MS	Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie
MüM	Meter über Meer
Nr.	Nummer
resp.	respektive
s.	siehe
Tab.	Tabelle
unbefr.	unbefriedigend
vgl.	vergleiche
Wo	Woche
z.B.	zum Beispiel
Ziff.	Ziffer

Wichtige Grössen

Symbol	Beschreibung	Einheit
AQK	Akutes Qualitätskriterium	µg/l
ARQ	Akuter Risikoquotient	1
BI	Belastungsindex	1
c	Konzentration in einer Wochenmischprobe	µg/l
CQK	Chronisches Qualitätskriterium	µg/l
CRQ	Chronischer Risikoquotient	1
F	Fracht	µg/s
RQ	Risikoeffizient	1
RQ _{max}	maximaler Risikoeffizient	1
\bar{Q}	Mittlerer Wochenabfluss	m ³ /s

Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Spurenstoffe im Jahr 2014 bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» wurden von März bis Oktober Wochenmischproben gesammelt und im Labor auf 66 Verbindungen hin analysiert. Nach den Untersuchungen in den Jahren 2007 bis 2009 und 2011 war dies die fünfte derartige Messkampagne an dieser Stelle. Um die Wasserqualität des Furtbachs zu beurteilen, benützte man einerseits den Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung (GSchV) und andererseits stoffspezifische, effektbasierte Qualitätskriterien.

Die Belastung des Furtbachs mit Pestiziden war im Jahr 2014 etwas geringer als im langjährigen Vergleich. Zwar konnten in jeder der Wochenmischproben des Jahres 2014 mehr Pestizide in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden als im langjährigen Vergleich, aber die Anzahl Pestizide, die in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSch vorlagen, war kleiner. Ebenfalls deutlich geringer als im langjährigen Vergleich war im Jahr 2014 die durchschnittliche Summe der Konzentrationen der Pestizide in den einzelnen Wochenmischproben.

Gemäss Belastungsindex ist die Wasserqualität des Furtbachs bei Würenlos in allen fünf Untersuchungsperioden «schlecht». Bezüglich der Herbizide ist die Qualität in den Jahren 2007 und 2014 «unbefriedigend», während sie in den Jahren dazwischen «schlecht» ist. Verantwortlich für die Belastung sind insbesondere Diuron, Metazachlor und Propachlor. In Bezug auf die Insektizide ist die Wasserqualität in den Jahren von 2007 bis 2011 «schlecht», während sie im Jahr 2014 «unbefriedigend» war. Verantwortlich für die Belastung ist fast ausschliesslich Diazinon. Was die Fungizide betrifft, so belasten diese das Wasser nicht nennenswert.

Die fünf Indikatorsubstanzen ARA (Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Mecoprop und Sulfamethoxazol) wurden in allen Wochenmischproben gefunden. Von Benzotriazol und Mecoprop wurden die höchsten Konzentrationen gemessen. Betrachtet man die wöchentlichen Frachten, so stellt man fest, dass diejenigen von Mecoprop stark variieren, während sich die Frachten der anderen Verbindungen in engen Grenzen bewegen. Dies bestätigt, dass Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol in mehr oder weniger konstanten Mengen über die Abwasserreinigungsanlagen in den Furtbach gelangen, während Mecoprop in wechselnden Mengen aus Landwirtschaft und Siedlungsgebieten eingetragen wird.

Die Beurteilung, wie stark die Primärproduzenten, die Invertebraten und die Vertebraten durch das Pestizidgemisch belastet werden, widerspiegelt den Befund für die Wirkstoffgruppen. So werden die Primärproduzenten hauptsächlich durch die Herbizide gefährdet und die Invertebraten durch die Insektizide. Bei den Vertebraten

ten ist die Konzentration des Diclofenac ausschlaggebend. Diese Verbindung, die erstmals im Rahmen der Kampagne 2014 gemessen wurde, ist hauptsächlich für die unbefriedigende Wasserqualität bezüglich der Vertebraten verantwortlich.

In allen fünf Messkampagnen hat man festgestellt, dass die Wochenmischproben mit hohen Konzentrationen an Schadstoffen von Anfang April bis Mitte September auftreten. Zwischen diesen Eckpunkten ist der Anstieg und Fall der Summe der Konzentrationen nicht gleichmässig, sondern es gibt eine erste Spitze Ende Mai / Anfang Juni, und eine zweite, etwas kleinere Mitte August.

1 Einleitung

Die Untersuchungen der Spurenstoffe im Jahre 2014 dienten dem Ziel, ein möglichst umfassendes Bild davon zu erhalten, wie stark der Furtbach mit Pestiziden¹ und Abbauprodukten sowie vier Spurenstoffen, die vornehmlich über Abwasserreinigungsanlagen ARA in die Gewässer eingetragen werden, belastet ist. Wie dies bereits im Rahmen von ähnlichen Messkampagnen in früheren Jahren geschehen ist, wurden die Proben bei der Hauptmessstelle² «Furtbach bei Würenlos» (Abb. 1.1) erhoben [2-5]. Diese Stelle ist wie alle anderen Hauptmessstellen im Kanton Zürich mit einem Schöpfautomaten ausgerüstet, der es erlaubt, Mischproben zu sammeln. Seit das «Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL» im Jahr 2007 mit den Messkampagnen an Hauptmessstellen begonnen hat, wurden sechs Fließgewässer des Kantons auf diese Art und Weise untersucht [2-8].



Abb. 1.1: Die Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»

Nach den Untersuchungen in den Jahren 2007 bis 2009 und 2011 [2-5] handelte es sich im Jahr 2014 um die fünfte Messkampagne an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos». Tabelle 1.1 auf der nächsten Seite listet die mittleren Abflüsse auf, die an dieser Stelle in den Untersuchungsjahren gemessen wurden [9]; ferner ist in der Tabelle angegeben, welchen Anteil der Wald, die Siedlung und die Landwirtschaft im Einzugsgebiet haben, und wie hoch im Furtbach der Anteil des gereinigten Abwassers ist [10].

¹ Pestizide sind Stoffe, die zur Bekämpfung oder Abwehr unerwünschter Organismen verwendet werden. Die Produkte, in denen sie zum Einsatz kommen, nennt man je nach Verwendungszweck und -ort Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Sind die Pestizide erst einmal in die Umwelt ausgebracht, finden viele von ihnen den Weg ins Wasser, wo sie oder ihre Abbauprodukte die aquatische Umwelt schädigen und unser Trinkwasser gefährden können.

² Zurzeit werden im Kanton Zürich 16 Hauptmessstellen betrieben. Sie dienen der Überwachung der wichtigsten Fließgewässer. Bis Ende 2011 waren es 17. Ab Januar 2012 wurde die Hauptmessstelle «Sihl bei Hütten» aufgehoben, da das Wasser der Sihl an dieser Stelle seit vielen Jahren eine gute bis sehr gute Qualität aufwies. Da sich in unmittelbarer Nähe aller Hauptmessstellen Stationen für die Messung des Abflusses befinden, ist es möglich, den Verlauf der Pestizidkonzentrationen gegen den Abfluss aufzutragen oder Frachten zu berechnen. [1]

mittlerer Jahresabfluss [m ³ /s]					Charakteristik Einzugsgebiet			
2007	2008	2009	2011	2014	Wald	Siedlung	Landwirtschaft	Anteil Abwasser
0.663	0.685	0.576	0.440	0.535	30 %	21 %	47 %	> 50 %

Tab. 1.1: Mittlere Jahresabflüsse des Furtbachs bei Würenlos in den Jahren 2007 bis 2009, 2011 und 2014 sowie Charakteristika des Einzugsgebiets

Die untenstehende Abbildung 1.2 zeigt die Lage der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» im Kanton Zürich und gibt die Nummer der Messstelle, ihre Landeskoordinaten, ihre Höhe über Meer und die Grösse ihres Einzugsgebiets an [10].



Abb. 1.2: Lage der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»

Der vorliegende Bericht wertet die Daten aus, die im Rahmen dieser Untersuchungen gewonnen wurden. Dabei steht die Beantwortung folgender Fragen im Vordergrund:

- Wie gross ist die Belastung des Furtbachs bei Würenlos mit Spurenstoffen, und welche Verbindungen sind hauptsächlich verantwortlich für die Belastung?
- Welches Bild der Belastung ergibt die Auswertung der Daten, wenn der Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung (GSchV) oder effektbasierte Qualitätskriterien als Richtschnur genommen werden?
- Wie sieht der jahreszeitliche Verlauf der Belastung mit Pestiziden aus?
- Wie unterscheiden sich die Resultate der fünf Kampagnen aus den Jahren 2007 bis 2009, 2011 und 2014?

2 Methode

2.1 Probenahme

Wie alle Hauptmessstellen ist auch diejenige des Furtbachs mit einem Schöpfautomaten ausgerüstet (*Abb. 2.1*). Für die Untersuchungen entnahm das Gerät dem Bach abflussproportionale Tagesmischproben, die jeweils am Ende einer Woche zu einer Wochenmischprobe vereint wurden.



Abb. 2.1: Schöpf-
automat

Das Labor Veritas, Zürich sammelte im Auftrag des AWEL die Proben wöchentlich ein und analysierte sie. Tabelle 2.1 zeigt, von wann bis wann die Untersuchungsperioden in den Jahren 2007 bis 2009, 2011 und 2014 dauerten, wie viele Wochenmischproben die Messreihen jeweils umfassten und wie hoch der mittlere Abfluss im jeweiligen Zeitraum war.

	2007	2008	2009	2011	2014
Untersuchungsperiode	16. Apr. (Wo 16) bis 4. Nov. (Wo 44)	3. Mrz. (Wo 10) bis 2. Nov. (Wo 44)	2. Mrz. (Wo 10) bis 1. Nov. (Wo 44)	28. Feb. (Wo 9) bis 30. Okt. (Wo 43)	17. Mrz. (Wo 12) bis 9. Nov. (Wo 45)
Anzahl Wochenmischproben	28	33	35	35	33
Bemerkung	Keine Mischprobe der Wo 33	Keine Mischproben der Wo 17 und 19			Keine Mischprobe der Wo 44
mittlerer Abfluss [m ³ /s]	0.587	0.736	0.528	0.346	0.478

Tab. 2.1: Untersuchungsperioden und Anzahl Proben

2.2 Analytik

2.2.1 Analysemethoden

Um die verschiedenen Verbindungen mit ihren unterschiedlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften zu erfassen, erfolgte die Anreicherung der Proben mittels Festphasenextraktion einmal im neutralen und einmal im sauren Millieu. Zur anschließenden Bestimmung der Konzentrationen der Verbindungen in den Extrakten wurden die Gaschromatographie-Massenspektrometrie und die Flüssigchromato-

graphie-Massenspektrometrie eingesetzt. Zur Qualitätssicherung wurden auch Proben vom Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht.

2.2.2 Untersuchte Verbindungen

Die Parameterliste des Labors Veritas basiert auf dem Untersuchungsprogramm des Gewässerschutzlabors des AWEL, das sich im Kanton Zürich für die Überwachung der Fliessgewässer bewährt hat. Die Proben wurden im Jahr 2014 auf 66 Verbindungen hin analysiert:

- 41 Herbizide;
- 7 Insektizide;
- 9 Fungizide;
- 1 Algizid;
- 1 Repellent;
- 3 Abbauprodukte;
- 1 Korrosionsschutzmittel;
- 3 Medikamente.

Tabelle 2.2 listet die untersuchten Verbindungen in alphabetischer Reihenfolge auf. Von 45 Verbindungen lagen Qualitätskriterien vor, die 5 mit einem Sternchen gekennzeichneten Verbindungen gehören zu den sogenannten Indikatorsubstanzen ARA. In Anhang A befinden sich weitere Listen mit Beschreibungen der Verbindungen sowie Bestimmungsgrenzen und Qualitätskriterien. Für die Listen der Verbindungen, die in den früheren Messkampagnen untersucht wurden, wird auf die entsprechenden Berichte [2-5] verwiesen.

Stoff-Code	Verbindung	Stoff-Code	Verbindung	Stoff-Code	Verbindung
102	2,4-D	115	Dimethenamid	178	Metsulfuron-methyl
153	2,6-Dichlorbenzamid	116	Dimethoat	136	Monolinuron
104	Alachlor	117	Diuron	173	Napropamid
106	Atrazin	118	Ethofumesat	137	Oxadixyl
159	Azoxystrobin	120	Fenpropimorph	138	Penconazol
107	Bentazon	121	Fluroxypyr	140	Permethrin
510	Benzotriazol*	122	Hexazinon	141	Pirimicarb
607	Carbamazepin*	187	Imidacloprid	142	Propachlor
160	Carbendazim	150	Irgarol 1051	143	Propazin
161	Chloridazon	123	Isoproturon	144	Propiconazol
108	Chlortoluron	124	Linuron	169	Propyzamid
109	Cyanazin	126	MCPA	190	Pyraclostrobin
110	Cypermethrin	127	MCPB	145	Sebuthylazin
111	DEET	128	Mecoprop*	146	Simazin
112	Desethylatrazin	129	Metalaxyl	641	Sulfamethoxazol*
156	Desisopropylatrazin	130	Metamitron	192	Tebuconazol
113	Diazinon	131	Metazachlor	152	Tebutam
181	Dicamba	132	Methabenzthiazuron	147	Terbuthylazin
154	Dichlobenil	133	Metobromuron	148	Terbutryn
114	Dichlorprop	134	Metolachlor	182	Thiacloprid
611	Diclofenac*	135	Metoxuron	179	Thifensulfuron-methyl
151	Dimethachlor	174	Metribuzin	149	Triclopyr

Schwach gedruckt: keine Qualitätskriterien vorhanden

* Indikatorsubstanz ARA

Tab. 2.2: Untersuchte Verbindungen. Die Verbindungen sind alphabetisch geordnet

2.3 Auswertung der Daten

2.3.1 Bestimmung der Wasserqualität

Im vorliegenden Bericht werden zwei verschiedene Verfahren angewendet, um von den gemessenen Konzentrationen der Verbindungen zu einem Urteil über die Qualität des Wassers, das der Furtbach bei seiner Hauptmessstelle führt, zu gelangen. Das erste Verfahren – die Ermittlung des Belastungsindex *BI* – vergleicht die Konzentrationen der organischen Pestizide mit dem Anforderungswert der GSchV von 0.1 µg/l. Dieser Index gibt einen summarischen Eindruck von der Belastung eines Gewässers, ist aber aus ökotoxikologischer Sicht nicht aussagekräftig, da er erstens nur die organischen Pestizide berücksichtigt und zweitens ausser Acht lässt, wie giftig die einzelnen Verbindungen für die im Wasser lebenden Organismen sind. Um mehr über die Gefahr zu erfahren, die von Einzelverbindungen oder Mischungen von Verbindungen für die Lebewesen im Wasser ausgeht, wurden die Daten mit Hilfe eines zweiten Verfahrens ausgewertet, das stoffspezifische, effektbasierte Qualitätskriterien als Massstab benützt. Die Methode, die für den vorliegenden Bericht benützt wurde, entspricht einem Vorschlag, den das Bundesamt für Umwelt (BAFU) im Jahr 2014 in einem Beurteilungskonzept gemacht hat [11].

Auswertung mittels Belastungsindex

Die GSchV fordert für Fliessgewässer und Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird, dass die Konzentrationen organischer Pestizide den Wert von 0.1 µg/l je Einzelstoff nicht überschreiten.³ Inwieweit das Wasser an einer Messstelle dieser Anforderung entspricht, wird mit Hilfe des Belastungsindex *BI* überprüft. Er entspricht der Anzahl Pestizide *p*, die in der durchschnittlichen Wochenmischprobe in einer Konzentration *c(p)* oberhalb des Anforderungswerts vorliegen (Gl. 1). Die Verbindungen, die zu den Abbauprodukten, Medikamenten usw. gehören, werden bei der Ermittlung des Belastungsindex nicht berücksichtigt.

$$(Gl. 1) \quad BI = \frac{\text{Anzahl } c(p) > 0.1 \mu\text{g/l}}{\text{Anzahl Proben}}$$

Tabelle 2.3 zeigt, welche Bereiche des Belastungsindex welcher Wasserqualität entsprechen.

Auswertung mittels stoffspezifischer, effektbasierter Qualitätskriterien

Für die meisten Verbindungen liegen zwei Qualitätskriterien vor. Das Chronische Qualitätskriterium, das *CQK(v)* gibt Auskunft darüber, ab welcher Konzentration Organismen gefährdet sind, wenn eine bestimmte Verbindung *v* über längere Zeit auf sie einwirkt. Das Akute Qualitätskriterium *AQK(v)* ist ein Anhaltspunkt dafür, ab

³ Anh. 2 Ziff. 12 Abs. 5 Nr. 12 GSchV

welcher Konzentration Organismen geschädigt werden, wenn sie einem Stoss einer Verbindung v ausgesetzt sind. Ein Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit diesen beiden Qualitätskriterien zeigt, ob eine Verbindung bezüglich chronischer oder akuter Toxizität ein Risiko für die Organismen darstellt. Die Quotienten, die aus diesen Vergleichen resultieren, heissen entsprechend Chronischer Risikoquotient $CRQ(v)$ bzw. Akuter Risikoquotient $ARQ(v)$. Leider liegen nicht für alle Verbindungen, deren Konzentrationen bestimmt wurden, Angaben zur chronischen und akuten Toxizität vor. Das hier verwendete Verfahren stützt sich auf Werte, die das «Schweizerische Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL» (Ökotoxzentrum) auf seiner Internetseite veröffentlicht [12]. Das Ökotoxzentrum wird seine Liste weiterentwickeln, sodass zukünftige Listen von der, die jetzt im Anhang zu finden ist, abweichen werden.

Bestimmung der Risikoquotienten einzelner Verbindungen

Um die Verbindungen bezüglich ihrer chronischen Wirkung zu beurteilen, stützte man sich nicht auf Wochenmischproben, sondern Zweiwochenmischproben⁴. Für die Bestimmung des $CRQ(v)$ musste man deshalb in einem ersten Schritt für jede Verbindung v die Konzentrationen $c(v,t)$ abschätzen, die in Zweiwochenmischproben zu erwarten gewesen wären. Dazu wurden die Mischproben von jeweils zwei aufeinanderfolgenden Wochen t und $t+1$ rechnerisch zu einer Probe vereint, wobei t der Nummer der Kalenderwoche entspricht (s. Tab. 2.1). Um zu vermeiden, dass zwei aufeinanderfolgende Wochenmischproben, die eine hohe Konzentration einer bestimmten Verbindung aufwiesen, zufällig zwei verschiedenen Zweiwochenmischproben zugeordnet werden, berechnete man die *gleitenden* Werte. D.h., um von einer Zweiwochenmischprobe zur nächsten zu gelangen, wurde die Kalenderwochennummer t jeweils nur um 1 erhöht. Auf diese Art und Weise kommt die hohe Konzentration einer Verbindung, die ja über zwei Wochen andauerte, bei den Konzentrationen in den Zweiwochenmischproben auf jeden Fall zum Ausdruck.

Weil erstens die Proben abflussproportional genommen worden waren und zweitens Daten zum Abfluss in Form von mittleren Tagesabflüssen vorlagen, konnten die Konzentrationen in den Zweiwochenmischproben $c_{zw}(v,t)$ mittels der Frachten berechnet werden. Die mittleren Wochenabflüsse $\bar{a}(t)$ und $\bar{a}(t+1)$ entsprachen dabei den Mittelwerten der mittleren Tagesabflüsse der ersten bzw. zweiten Woche, die Konzentrationen $c_w(v,t)$ und $c_w(v,t+1)$ den Konzentrationen der Verbindungen in den jeweiligen Wochenmischproben (Gl. 2). Da von der Woche 44 keine Mischprobe vorlag (s. Tab. 2.1), waren die Mischproben der Wochen 42 und 43 die letzten, mit denen eine Zweiwochenmischprobe gebildet werden konnte.

⁴ Zwei Wochen entsprechen in etwa der Dauer der Tests, die zur Herleitung der CQK herangezogen werden.

$$(Gl. 2) \quad c_{zw}(v, t) = \frac{\sum_{i=0}^1 c_w(v, t+i) \cdot \bar{Q}(t+i)}{\sum_{i=0}^1 \bar{Q}(t+i)}; \quad t=12, 13.. 42$$

Anschliessend bestimmte man für jede Verbindung v in jeder der Zweiwochenmischproben die Risikoquotienten $CRQ_{zw}(v, t)$. Dazu verglich man *die Hälfte*⁵ der Konzentration $c_{zw}(v, t)$ mit dem $CQK(v)$ (Gl. 3):

$$(Gl. 3) \quad CRQ_{zw}(v, t) = \frac{0.5 \cdot c_{zw}(v, t)}{CQK(v)}; \quad t=12, 13.. 42$$

Die $ARQ(v)$ wurden aus den Konzentrationen in den Wochenmischproben berechnet. Dadurch wurde sichergestellt, dass für die Beurteilung der akut toxischen Effekte die höchsten Konzentrationen verwendet wurden, die tatsächlich gemessen wurden. Für die Berechnung des $ARQ_w(v, t)$ wurde die Konzentration $c_w(v, t)$, die die Verbindung v in der Probe der Woche t hatte, durch das $AQK(v)$ dividiert (Gl. 4):

$$(Gl. 4) \quad ARQ_w(v, t) = \frac{c_w(v, t)}{AQK(v)} \quad t = 12, 13.. 43$$

Um zu beurteilen, wie stark das Wasser an der Messstelle bezüglich einer bestimmten Verbindung v belastet war, wählte man von allen $CRQ_{zw}(v, t)$ und $ARQ_w(v, t)$, die von dieser Verbindung bestimmt worden waren, den höchsten Wert – den $RQ_{max}(v)$ – aus.

Bestimmung der Wasserqualität bezüglich Gruppen von Verbindungen

Die Wasserqualität an der Messstelle bezüglich einer Gruppe G von Verbindungen wird bestimmt durch diejenige Zweiwochenmischprobe, die bezüglich dieser Gruppe am stärksten belastet ist. Die Belastung einer Zweiwochenmischprobe ihrerseits wird hergeleitet, indem man das Risiko hinsichtlich der chronischen und hinsichtlich der akuten Toxizität des Gemisches berechnet. Das höhere Risiko bestimmt dann die Belastung der Probe bezüglich der Gruppe.

Das Wasser des Furtbachs bei seiner Hauptmessstelle wurde bezüglich dreier Gruppen von Pestiziden beurteilt, nämlich der Herbizide H , der Insektizide I und der Fungizide F . Zudem wurde die Qualität bezüglich der Verbindungen bestimmt, die zu

⁵ Die Konzentration in einer Zweiwochenmischprobe kann nur dann direkt mit dem CQK verglichen werden, wenn die Probe *zeitproportional* genommen wurde. [11] In der vorliegenden Untersuchung wurden aber abflussproportionale Proben gesammelt. Für abfluss- (oder pegelproportionale) Mischproben schlägt das Beurteilungskonzept den Faktor 0.5 vor, weil die Konzentrationen in solchen Proben dadurch geprägt werden, dass bei hohen Abflüssen auch hohe Konzentrationen auftreten. Das führt zu einem Übergewicht der kurzen Zeiten, in denen hohe Abflüsse mit hohen Konzentrationen auftreten, im Vergleich zu den langen Zeiten mit niedrigen Abflüssen und tiefen Konzentrationen. Abfluss- und pegelproportionale Mischproben zeigen daher höhere Konzentrationen an Schadstoffen als Proben, die zeitproportional genommen werden.

den Indikatorsubstanzen ARA gehören. Die Liste in Anhang A gibt Aufschluss darüber, welche Verbindung zu welcher Gruppe gehört.

Schadstoffe können auch entsprechend ihrer Wirkung auf verschiedene Arten von Organismen gruppiert werden, z.B. die taxonomischen Gruppen der Primärproduzenten Pp, der Invertebraten Iv und der Vertebraten Ve [13]. In Anhang A II ist aufgelistet, welche Verbindung auf welche Gruppe von Organismen wirkt. Aus der Liste ist ersichtlich, dass eine Verbindung nicht nur für eine einzelne Gruppe toxisch sein kann, sondern auch für zwei oder sogar für drei. Wirkt ein Schadstoff auf mehr als eine Gruppe, werden für alle betroffenen Gruppen dieselben Qualitätskriterien, die für diese Verbindung gelten, benutzt. Die Toxizität für eine Gruppe kann auch davon abhängig sein, ob die chronische oder die akute Wirkung betrachtet wird. Die Risikoquotienten von Atrazin beispielsweise müssen bei allen drei taxonomischen Gruppen berücksichtigt werden, wenn es um die chronische Toxizität geht, und nur bei den Primärproduzenten, wenn es um die akute Toxizität geht. Diesem Umstand kann mit einem Faktor $f_{G-CRQ}(v_i)$ und $f_{G-ARQ}(v_i)$ Rechnung getragen werden, der 1 ist, wenn der Risikoquotient einer Verbindung v_i in der Summe berücksichtigt wird, oder 0, wenn die Verbindung keinen Beitrag leistet.

Für die Bestimmung des Risikos bezüglich der chronischen Toxizität addierte man für jede der Zweiwochenmischproben t die $CRQ(v_i, t)$ der n Verbindungen v_i , die zu einer Gruppe G gehören (Gl. 5).

$$(Gl. 5) \quad CRQ_{zw}(G, t) = \sum_{i=1}^n CRQ_{zw}(v_i, t) \cdot f_{G-CRQ}(v_i); \quad t = 12, 13.. 42$$

Um das Risiko bezüglich der akuten Toxizität zu bestimmen, addierte man für jede der Wochenmischproben t die $ARQ(v_i, t)$ der n Verbindungen v_i , die zu der Gruppe G gehören (Gl. 6):






$$(Gl. 6) \quad ARQ_w(G, t) = \sum_{i=1}^n ARQ_w(v_i, t) \cdot f_{G-ARQ}(v_i); \quad t = 12, 13.. 43$$

Die höchste aller Summen $CRQ_{zw}(G, t)$ und $ARQ_w(G, t)$, der $RQ_{max}(G)$, bestimmte gemäss dem Schema in Tabelle 2.3 die Qualität des Wassers bezüglich der Gruppe G .

Schema für die Beurteilung für die Wasserqualität

Das Schema in Tabelle 2.3 zeigt, wie aufgrund des Belastungsindex und der Risikoquotienten die Wasserqualität an einer Messstelle bestimmt wird.

Tab. 2.3: Schema für die Beurteilung der Wasserqualität

Qualität	Bedingung gemäss BI	Bedingung gemäss Qualitätskriterien
 sehr gut	$BI < 0.2$	$RQ < 0.1$
 gut	$0.2 \leq BI < 0.5$	$0.1 \leq RQ < 1$
 mässig	$0.5 \leq BI < 1$	$1 \leq RQ < 2$
 unbefriedigend	$1 \leq BI < 2$	$2 \leq RQ < 10$
 schlecht	$2 \leq BI$	$10 \leq RQ$

2.3.2 Berechnung von Frachten

Um die Annahme zu überprüfen, dass die Mengen der Indikatorsubstanzen ARA, die über die ARA in den Furtbach eingetragen werden, konstant sind, müssen die Frachten der Substanzen berechnet werden: Die Fracht $F_w(v_{IS-ARA}, t)$ der Indikatorsubstanz ARA v_{IS-ARA} in der Woche t ist definiert als das Produkt der Konzentration $c_w(v_{IS-ARA}, t)$ der Substanz v_{IS-ARA} in der Wochenmischprobe t mal des mittleren Wochenabflusses $\bar{Q}(t)$ der betreffenden Woche (Gl. 7):

$$(Gl. 7) \quad F_w(v_{IS-ARA}, t) = c(v_{IS-ARA}, t) \cdot \bar{Q}(t); \quad t = 12, 13.. 43$$

Stimmt die Annahme, dass der Eintrag der Indikatorsubstanzen ARA in den Furtbach und somit deren Frachten konstant sind (Gl. 8), besteht zwischen Konzentration und Kehrwert des Abflusses ein linearer Zusammenhang (Gl. 9):

$$(Gl. 8) \quad F_w(v_{IS-ARA}, t) = k$$

$$(Gl. 9) \quad c(v_{IS-ARA}, t) = k \cdot \frac{1}{Q(t)}; \quad t = 12, 13.. 43$$

3 Resultate

3.1 Nachweise Pestizide und Indikatorsubstanzen ARA

3.1.1 Verteilung der Nachweise auf die einzelnen Verbindungen

Tabelle 3.1 listet für alle Kampagnen und alle Pestizide und Indikatorsubstanzen ARA die Anteile der Wochenmischproben auf, in denen die Verbindungen in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze (erster Wert) und des Anforderungswerts der GSchV (zweiter Wert) gefunden wurden. Da die Anzahl der Wochenmischproben pro Kampagne variierte, sind die Anteile in Prozent angegeben. Die Werte für Atrazin in der ersten Spalte z.B. bedeuten, dass Atrazin in der Kampagne 2007 in 100 Prozent der Wochenmischproben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und in 18 Prozent der Wochenmischproben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen wurde.

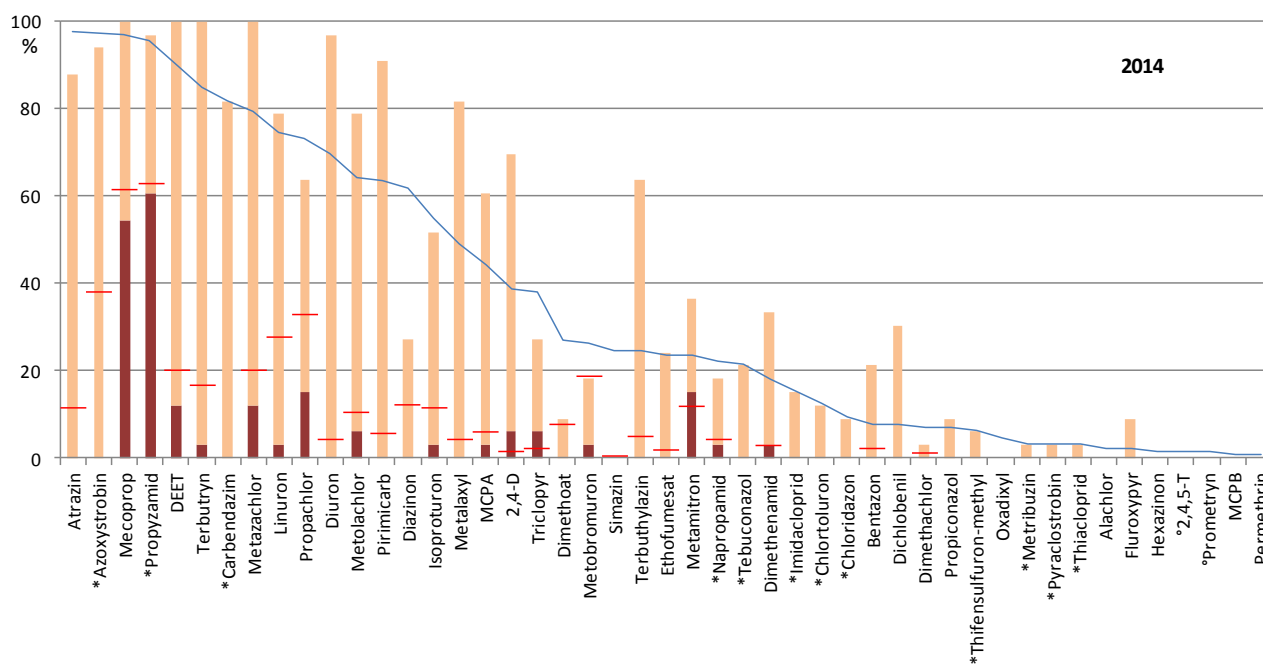
Das Feld derjenigen Kampagne, in deren Rahmen eine Verbindung am häufigsten in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde, ist farbig hinterlegt. Wird der Maximalwert mehr als einmal erreicht, ist dasjenige Feld eingefärbt, das neben dem Maximalwert die höchste Anzahl Nachweise in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV enthält. Ist ein Feld leer, wurde die Verbindung in der betreffenden Kampagne nicht gemessen; ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Es sind nur diejenigen Verbindungen aufgeführt, die in mindestens einer der Kampagnen mindestens einmal gemessen wurden. Die Verbindungen sind alphabetisch geordnet. Im Anhang B I sind die Zahlen für die Pestizide in Form von Säulengrafiken dargestellt.

	2007	2008	2009	2011	2014
Pestizide und Abbauprodukte					
2,4,5-T	-	-	3/0		
2,4-D	36/0	21/0	29/3	37/0	70/6
Alachlor	-	9/0	-	-	-
Atrazin	100/18	100/12	100/26	100/3	88/0
Azoxystrobin				100/74	94/0
Bentazon	7/0	3/3	6/6	-	21/0
Carbendazim					82/0
Chloridazon					9/0
Chlortoluron					12/0
DEET	86/25	97/12	71/17	97/34	100/12
Diazinon	82/11	85/18	43/9	74/23	27/0
Dichlobenil	-	-	-	6/0	30/0
Dimethachlor	-	21/3	9/3	-	3/0
Dimethenamid	7/0	24/9	23/3	-	33/3
Dimethoat	-	36/6	66/31	17/0	9/0
Diuron	64/7	42/6	51/0	89/9	97/0

	2007	2008	2009	2011	2014
Ethofumesat	43/4	21/0	14/3	17/3	24/0
Fluroxypyr	-	-	-	-	9/0
Hexazinon	-	-	-	6/0	-
Imidacloprid					15/0
Isoproturon	29/4	79/18	54/14	57/17	52/3
Linuron	79/21	64/36	71/29	80/49	79/3
MCPA	36/7	45/18	20/0	57/3	61/3
MCPB	-	-	-	3/0	-
Mecoprop	100/61	97/55	91/71	97/66	100/55
Metalaxyl	7/0	36/0	26/9	86/11	82/0
Metamitron	21/14	24/15	11/6	23/9	36/15
Metazachlor	54/14	76/18	86/37	77/17	100/12
Metobromuron	14/11	33/21	31/26	31/31	18/3
Metolachlor	54/0	36/9	66/20	83/14	79/6
Metribuzin					3/0
Napropamid				26/6	18/3
Oxadixyl	-	15/0	6/0	-	-
Permethrin	-	3/0	-	-	-
Pirimicarb	54/0	70/3	31/0	71/23	91/0
Prometryn	-	3/0	-		
Propachlor	61/32	85/27	66/51	89/37	64/15
Propiconazol	-	3/0	11/0	9/0	9/0
Propyzamid				94/66	97/61
Pyraclostrobin					3/0
Simazin	18/0	67/3	37/0	-	-
Tebuconazol					21/0
Terbuthylazin	-	-	3/0	51/23	64/0
Terbutryn	32/0	82/15	100/17	100/46	100/3
Thiacloprid					3/0
Thifensulfuron-methyl					6/0
Triclopyr	14/0	27/0	34/3	80/3	27/6
Durchschnittliche Anz. Verbindungen pro Probe > BG / > 0.1	10.0/2.3	13.1/3.1	11.6/3.8	16.6/5.7	18.4/2.1
Indikatorsubstanzen ARA (ausser Mecoprop)					
Benzotriazol					100
Carbamazepin					100
Diclofenac					100
Sulfamethoxazol					100

Tab. 3.1: Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen die Verbindungen in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurden

Abbildung 3.1 zeigt für die Kampagne 2014, wie sich die Nachweise der Pestizide in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV auf die einzelnen Verbindungen verteilen (s. Tab. 3.1). Die Verbindungen sind nach abnehmender durchschnittlicher Häufigkeit geordnet, mit der sie in allen fünf Kampagnen in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden.



* 2011 oder 2014 erstmals untersucht / * 2009 oder 2011 letztmals untersucht
Mittelwerte aller Kampagnen: — Konz. > Bestimmungsgrenze — Konz. > Anforderungswert GSchV

Abb. 3.1: Anteil der Wochenmischproben (in Prozent), in denen ein bestimmtes Pestizid in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens; blaue Linie) und des Anforderungswerts der GSchV (dunkler Teil des Balkens; rote Strecke) gefunden wurde

Folgende Pestizide konnten im Rahmen der Kampagne 2014 nie in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden: Alachlor, Cyanazin, Cypermethrin, Dicamba, Dichlorprop, Fenpropimorph, Hexazinon, MCPB, Methabenzthiazuron, Metoxuron, Metsulfuron-methyl, Monolinuron, Oxadixyl, Penconazol, Permethrin, Propazin, Sebuthylazin, Simazin, Tebutam.

3.1.2 Maximale Konzentrationen

In Tabelle 3.2 sind die maximalen Konzentrationen aufgelistet, die in den Wochenmischproben der fünf Kampagnen gemessen wurden. Der höchste Wert, der von jeder Verbindung gemessen wurde, ist farbig hinterlegt. Ist ein Feld leer, wurde die Verbindung in der betreffenden Kampagne nicht gemessen; ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Es sind nur die Verbindungen aufgeführt, die in mindestens einer der Kampagnen mindestens einmal gemessen wurden. Die Verbindungen sind alphabetisch geordnet.

	2007	2008	2009	2011	2014
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Pestizide und Abbauprodukte					
2,4,5-T	-	-	0.034		
2,4-D	0.088	0.090	0.239	0.072	0.205
2,6-Dichlorbenz.	0.086	0.076	0.084	0.128	0.049
Alachlor	-	0.029	-	-	-

	2007	2008	2009	2011	2014
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Atrazin	0.180	0.414	0.419	0.246	0.039
Azoxystrobin				0.562	0.071
Bentazon	0.064	0.149	0.572	-	0.044
Carbendazim					0.092
Chloridazon					0.055
Chlortoluron					0.045
DEET	0.760	0.237	0.623	0.266	0.167
Desethylatrazin	0.160	0.098	0.055	0.060	0.031
Desisopropylatrazin	0.012	0.030	0.044	-	-
Diazinon	0.206	0.389	0.197	0.256	0.087
Dichlobenil	-	-	-	0.077	0.030
Dimethachlor	-	0.107	0.962	-	0.038
Dimethenamid	0.060	0.937	0.181	-	0.159
Dimethoat	-	0.183	0.752	0.083	0.059
Diuron	0.191	0.164	0.083	0.224	0.063
Ethofumesat	0.200	0.080	0.107	0.280	0.086
Fluroxypyr	-	-	-	-	0.017
Hexazinon	-	-	-	0.039	-
Imidacloprid					0.012
Irgarol 1051	0.098	0.017	0.066	-	-
Isoproturon	0.112	0.721	0.815	1.376	0.101
Linuron	0.350	1.170	0.674	0.821	0.109
MCPA	0.113	0.609	0.088	0.588	0.131
MCPB	-	-	-	0.012	-
Mecoprop	2.774	3.250	1.329	2.038	1.390
Metalaxyl	0.064	0.086	0.532	0.184	0.090
Metamitron	0.900	0.214	0.399	0.340	0.467
Metazachlor	0.254	0.807	0.897	0.609	0.213
Metobromuron	0.540	0.812	0.732	0.394	0.550
Metolachlor	0.097	0.238	0.477	0.450	0.135
Metribuzin					0.054
Napropamid				0.187	0.149
Oxadixyl	-	0.025	0.023	-	-
Permethrin	-	0.026	-	-	-
Pirimicarb	0.094	0.181	0.086	0.480	0.066
Prometryn	-	0.025	-		
Propachlor	1.670	1.635	0.705	1.630	0.314
Propiconazol	-	0.026	0.055	0.039	0.033
Propyzamid				2.578	1.180
Pyraclostrobin					0.017
Simazin	0.066	0.131	0.068	-	-
Tebuconazol					0.027
Terbuthylazin	-	-	0.015	1.839	0.074
Terbutryn	0.038	0.206	0.167	0.588	0.106
Thiacloprid					0.012
Thifensulfuron-methyl					0.024
Triclopyr	0.045	0.050	0.136	0.573	0.197

	2007	2008	2009	2011	2014
Anzahl nachgewiesener Verbindungen oberhalb...					
• Bestimmungsgrenze	26	33	32	30	41
• AF GSchV	14	20	20	23	16
Anzahl Höchstwerte	6	10	11	14	10
Indikatorsubstanzen ARA (ausser Mecoprop)					
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
Benzotriazol					2.510
Carbamazepin					0.148
Diclofenac					0.617
Sulfamethoxazol					0.147

Tab. 3.2: Höchste Konzentration, die für jede Verbindung in den jeweiligen Messkampagnen gemessen wurde

3.2 Frachten der Indikatorsubstanzen

Abbildung 3.2 zeigt in Form von Kastengrafiken⁶, wie stark die Frachten der fünf Indikatorsubstanzen (IS) variierten, wenn man sie aufgrund der Konzentrationen in den einzelnen Wochenmischproben für jede Woche berechnete (s. Kap. 2.3.2). Tabelle 3.3 auf der nächsten Seite gibt den Mittelwert der wöchentlichen Frachten an.

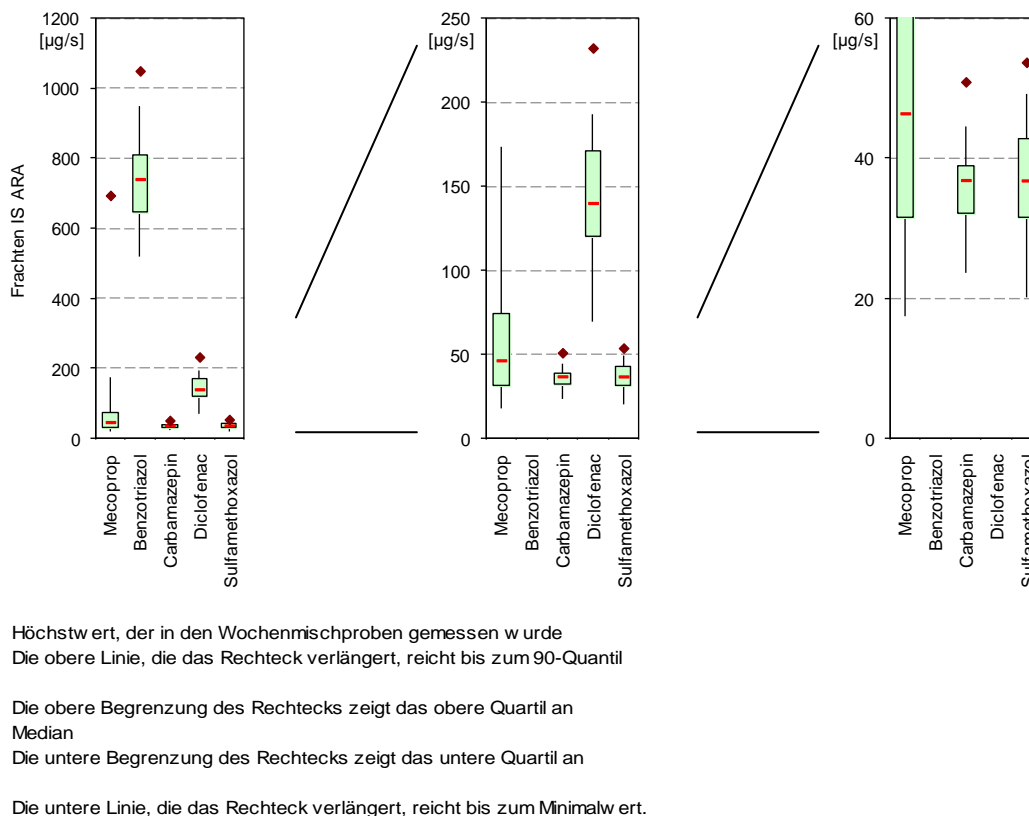


Abb. 3.2: Variation der wöchentlichen Frachten der Indikatorsubstanzen ARA

⁶ Kastengrafiken (auch Kastenschaubilder oder Boxplots genannt) werden hauptsächlich verwendet, wenn man sich schnell einen Überblick über die Verteilung von Daten verschaffen will. Die Box wird durch das obere und das untere Quartil begrenzt. Sie umfasst also den Bereich, in dem 50% der Daten liegen. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand und ist ein Mass der Streuung der Daten. Der Median wird als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man einen Eindruck von der Schiefe der Verteilung der Daten. Die obere Linie, die das Rechteck verlängert, reicht bis zum 90-Quantil, die untere bis zum kleinsten Wert der Daten. Die Box inklusive Linien decken somit 90% der Spannweite der Daten ab.

Verbindung	Benzotriazol	Carbamazepin	Diclofenac	Sulfamethoxazol	Mecoprop
Fracht [g/W]	453	22	88	22	57

Tab. 3.3: Mittelwerte der wöchentlichen Frachten der Indikatorsubstanzen ARA

3.3 Qualität des Wassers

3.3.1 Auswertung mittels Belastungsindex

Tabelle 3.4 zeigt für alle Messkampagnen an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» die Wasserqualität, wie sie mit Hilfe des Belastungsindex ermittelt wurde (s. Kap. 2.3.1).

	2007	2008	2009	2011	2014
BI	2.3	3.1	3.8	5.7	2.1

Tab. 3.4: Wasserqualität, ermittelt mit Hilfe des Belastungsindex

3.3.2 Auswertung mittels Qualitätskriterien

Wasserqualität

Tabelle 3.5 zeigt für alle Messkampagnen an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» die Wasserqualität, wie sie mit Hilfe der Qualitätskriterien ermittelt wurde (s. Kap. 2.3.1). Zu jedem $RQ_{max}(G)$ ist angegeben, welche Verbindung oder welche Verbindungen am meisten zum Wert beitragen. In Klammern ist der Beitrag der jeweiligen Verbindung zum $RQ_{max}(G)$ in Prozent aufgeführt.

	2007	2008	2009	2011	2014
Herbizide	8.3	18.7	19.5	14.6	8.2
	Propachlor (52%); Metazachlor (40%)	Metazachlor (61%); Propachlor (24%)	Metazachlor (80%)	Metazachlor (53%); Diuron (26%)	Metazachlor (64%)
Insektizide	13.8	26.1	13.2	17.1	5.8
	Diazinon (100%)	Diazinon (99%)	Diazinon (99%)	Diazinon (100%)	Diazinon (100%)
Fungizide	0.0004	0.01	0.03	0.6	0.2
	Metalaxyl (100%)	Propiconazol (100%)	Propiconazol (100%)	Azoxystrobin (100%)	Carbendazim (74%)
Primärproduzenten	23.7	20.7	20.4	14.8	8.4
	Irgarol (74%)	vgl. Herbizide	vgl. Herbizide	vgl. Herbizide	vgl. Herbizide
Invertebraten	13.8	26.3	13.4	17.5	6.0
	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide
Vertebraten					4.8
					Diclofenac (95%)
Indikatorsub. ARA					5.1
					Diclofenac (96%)

Tab. 3.5: Wasserqualität, ermittelt mittels Qualitätskriterien

Verbindungen mit $RQ > 1$

Tabelle 3.6 listet für alle Messkampagnen an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» diejenigen Verbindungen auf, deren $RQ_{max}(v)$ grösser gleich 1 war (s.

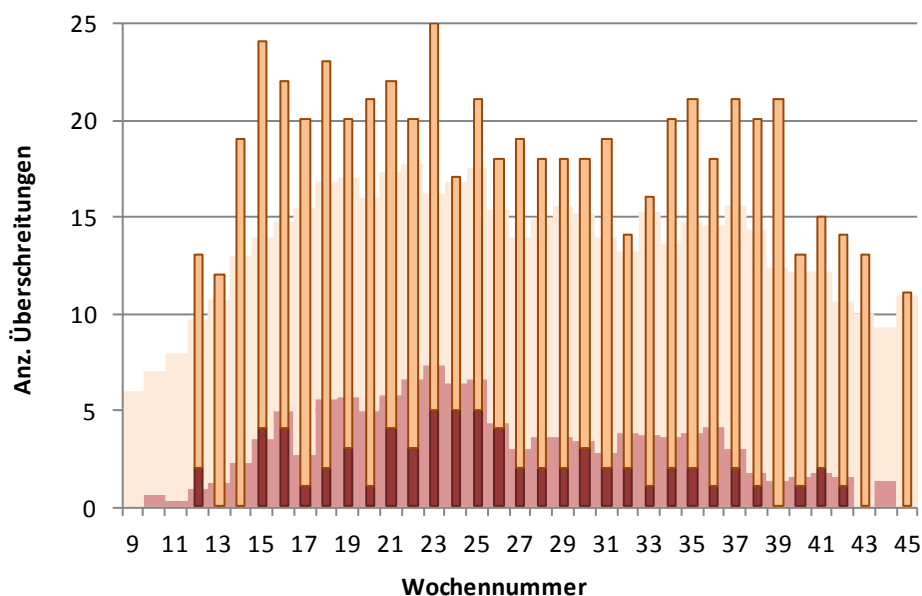
Kap. 2.3.1). Ausser bei Diazinon war es bei allen Verbindungen der CRQ, der für die Beurteilung der Wasserqualität bezüglich der betreffenden Verbindungen ausschlaggebend war. Da bei Diazinon das CQK gleich gross ist wie das AQK, bestimmt bei dieser Verbindung in jedem Fall der ARQ die Wasserqualität.

	2007	2008	2009	2011	2014
1 ≤ RQ < 2	-	Irgarol (1.9) Linuron (1.2) Terbutryn (1.2)	Diuron (1.4) Linuron (1.1) Terbutryn (1.1)	Isoproturon (1.4) Linuron (1.5)	Diuron (1.3) Propachlor (1.6)
2 ≤ RQ < 10	Diuron (3.4) Metazachlor (4.7) Propachlor (4.4)	Dimethenamid (2.7) Diuron (3.7) Propachlor (5.3)	Dimethachlor (6.8) Dimethoat (4.4) Irgarol (7.1) Propachlor (2.9)	Diuron (5.4) Metazachlor (8.0) Pirimicarb (2.3) Propachlor (4.7) Terbutylazin (3.0) Terbutryn (3.6)	Diazinon (5.8) Metazachlor (5.2)
10 ≤ RQ	Diazinon (14) Irgarol (18)	Diazinon (26) Metazachlor (11)	Diazinon (13) Metazachlor (16)	Diazinon (17)	Diclofenac (11)
Anz. Verb.	5	8	9	9	5

Tab. 3.6: Verbindungen mit einem Risikoquotienten $RQ_{max}(v)$ grösser gleich 1

3.4 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden

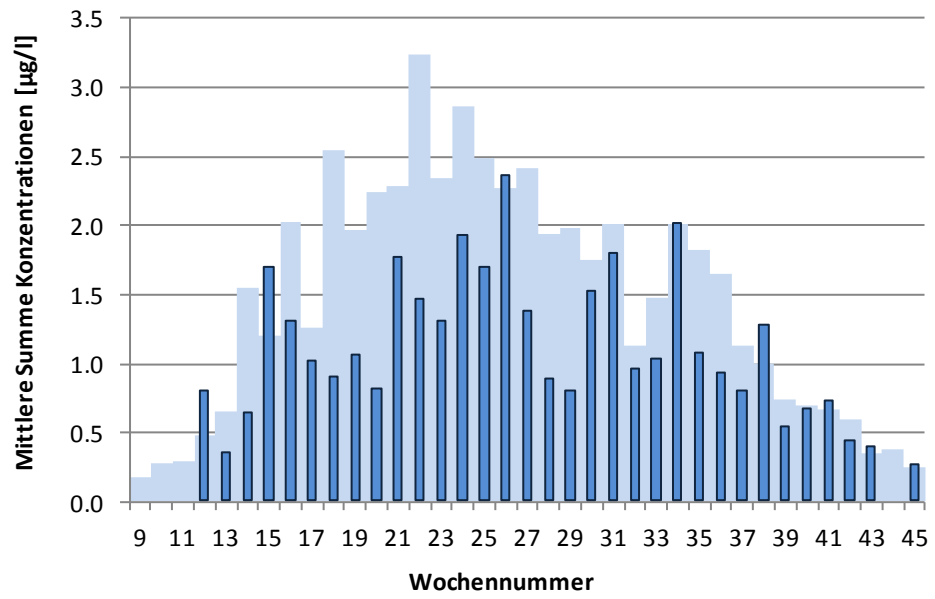
Abbildung 3.3 zeigt die Anzahl der Pestizidnachweise in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV in den Wochenmischproben, und zwar einmal im langjährigen Mittel 2007 bis 2014 und einmal im Verlauf des Jahres 2014.



helle Flächen: Mittelwerte 2007 bis 2014; dunkle Flächen: Werte 2014

Abb. 3.3: Jahreszeitlicher Verlauf der Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens) und Anforderungswert der GSchV (dunkler Teil des Balkens)

Abbildung 3.4 zeigt die Summen der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben, und zwar einmal im langjährigen Mittel und einmal im Verlauf des Jahres 2014.



helle Flächen: Mittelwerte 2007 bis 2014; dunkle Flächen: Werte 2014

Abb. 3.4: Durchschnittliche Summen der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben

4 Diskussion

4.1 Nachweise der Pestizide

Tabelle 4.1 zeigt, welche Verbindungen...

- im Durchschnitt aller fünf Kampagnen in mehr als 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze;
- im Jahr 2014 in mehr als 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze;
- im Durchschnitt aller fünf Kampagnen in mehr als 20 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV;
- im Jahr 2014 in mehr als 20 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV;
- in mehr als der Hälfte der Proben, in denen sie nachgewiesen werden konnten, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV

nachgewiesen wurden (s. Tab. 3.1 und Abb. 3.1).

	2007 - 2014	2014
Pestizide, die in mehr als 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden.	Atrazin Azoxytrobilin Carbendazim DEET Mecoprop Propyzamid Terbutryn	Atrazin Azoxytrobilin Carbendazim DEET Diuron Mecoprop Metalaxyl Metazachlor Pirimicarb Propyzamid Terbutryn
Pestizide, die in mehr als 20 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen wurden.	Azoxytrobilin DEET Linuron Mecoprop Metazachlor Propachlor Propyzamid	Mecoprop Propyzamid
Pestizide, die in mehr als der Hälfte der Proben, in denen sie nachgewiesen werden konnten, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV vorlagen.	Mecoprop Metamitron Metobromuron Propyzamid	Mecoprop Propyzamid

Tab. 4.1: Spitzenreiter bei der Anzahl Nachweise in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV

Tabelle 4.2 zeigt die zehn Pestizide, die im Rahmen der fünf Messkampagnen in den höchsten Konzentrationen gemessen wurden (s. Tab. 3.2):

Verbindung	Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	Jahr
Mecoprop	3.250	2008
Propyzamid	2.578	2011
Terbutylazin	1.839	2011
Propachlor	1.670	2007
Isoproturon	1.376	2011

Verbindung	Konzentration [$\mu\text{g/l}$]	Jahr
Linuron	1.170	2008
Dimethachlor	0.962	2009
Dimethenamid	0.937	2008
Metamitron	0.900	2007
Metazachlor	0.897	2009

Tab. 4.2: Spitzenreiter bei den maximal gemessenen Konzentrationen

Es zeigt sich, dass die Belastung des Furtbachs mit Pestiziden im Jahr 2014 kleiner war als im langjährigen Vergleich. Zwar...

- konnten im Jahr 2014 elf Pestizide in mehr als 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden verglichen mit nur sieben Verbindungen in den Jahren 2007 bis 2014 (s. Tab. 4.1);

aber

- im Jahr 2014 traten nur zwei Pestizide in mehr als 20 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV auf, verglichen mit sieben im langjährigen Vergleich (s. Tab. 4.1);
- nur zwei Pestizide lagen in mehr als der Hälfte der Proben, in denen sie nachgewiesen werden konnten, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV vor, verglichen mit vier im langjährigen Vergleich (s. Tab. 4.1);
- von keiner einzigen Verbindung, die nicht nur im Rahmen der Messkampagne 2014 untersucht wurde, fand man die höchste Konzentration im Jahr 2014 (s. Tab. 4.2).

Das lässt den Schluss zu, dass im Jahr 2014 nicht weniger Pestizide gefunden wurden und auch nicht weniger häufig, die Konzentrationen aber kleiner waren als im langjährigen Vergleich.

In den beiden Tabellen 4.1 und 4.2 fallen besonders die beiden Herbizide Mecoprop und Propyzamid auf: sie traten nicht nur sehr häufig auf, sondern lagen auch in mehr als der Hälfte der Proben, in denen sie gefunden wurden, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswert der GSchV vor. Von diesen beiden Verbindungen wurden auch die höchsten maximalen Konzentrationen gemessen.

4.2 Ausgewählte Verbindungen

4.2.1 Pestizide

Atrazin und Terbutylazin

Seitdem die Frist für die Verwendung von Atrazin Ende Juni 2011 abgelaufen ist, nimmt die Häufigkeit ab, mit der es in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungs-

grenze und insbesondere oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen wird (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.1*). Der Anteil der Wochenmischproben, in denen Atrazin in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden wurde, sank von 100 Prozent in den Kampagnen 2007 bis 2011 auf 88 Prozent im Jahr 2014. Der Anteil Proben, in denen das Herbizid in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV auftrat, sank im Jahr 2014 auf Null, während dieser Anteil in früheren Kampagnen bis zu 26 Prozent betrug. Ebenfalls deutlich zurückgegangen sind die Konzentrationen (s. *Anh. B II*). Die maximale Konzentration von Atrazin betrug im Jahr 2014 noch 0.04 µg/l, was rund zehnmal kleiner ist als die maximalen Konzentrationen, die in den Jahren 2008 und 2009 gemessen wurden (s. *Tab. 3.2*).

Im selben Masse, wie die Anzahl Nachweise und die Konzentrationen für Atrazin sanken, stiegen sie für Terbutylazin (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.1*). Dieser Wirkstoff tritt vermutlich darum häufiger und in höheren Konzentrationen auf, weil er ein Ersatz für Atrazin ist. Während Terbutylazin in den Kampagnen 2007 und 2008 nicht nachgewiesen werden konnte, trat es im Jahr 2009 in 3, dann in 51 (2011) und im Jahr 2014 schliesslich in 64 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze in Erscheinung. Im Jahr 2011 wurde eine maximale Konzentration von 1.8 µg/l gemessen (s. *Tab. 3.2*); im Jahr 2014 trat Terbutylazin nie in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV auf.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass Terbutylazin als toxischer eingeschätzt wird als Atrazin. Die Werte für das CQK und das AQK sind beim Terbutylazin (0.22 bzw. 1.28 µg/l) tiefer als beim Atrazin (0.6 bzw. 2 µg/l) (s. *Anh. A*). Im Jahr 2011 überschritt die maximale Konzentration des Terbutylazins den Wert des AQK.

In Anhang B II sind die Variationen der Konzentrationen von Atrazin und Terbutylazin in den Wochenmischproben der Messkampagnen 2007 bis 2014 dargestellt, ergänzt mit den entsprechenden Daten für Desethylatrazin.

Diazinon

Diazinon wurde am 15. Mai 2011 aus dem Anhang der zugelassenen Wirkstoffe gestrichen, die Aufbrauchfrist lief bis zum 15. Mai 2013. Es kann allerdings nach wie vor in Tierarzneimitteln verwendet werden. Der Anteil Wochenmischproben, in denen Diazinon nachgewiesen wurde, ging im Jahr 2014 deutlich zurück. Im Jahr 2014 konnte die Verbindung – im Gegensatz zu den Kampagnen in früheren Jahren – auch nie in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden werden (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.2*).

Metobromuron und Propachlor

Die Anwendung metobromuronhaltiger Produkte ist seit dem 31. Juli 2011 verboten. Das Herbizid konnte im Jahr 2014 aber noch in rund 20 Prozent der Proben nachgewiesen werden (s. *Tab. 3.1*). Allerdings lag die Konzentration nur noch in einer Probe oberhalb des Anforderungswerts der GSchV (wobei der Wert aber um mehr als das Fünffache überschritten wurde (s. *Tab. 3.2*)). In den früheren Jahren lagen die Konzentrationen von Metobromuron jeweils in mehr als der Hälfte der Proben, in denen es nachgewiesen wurde, oberhalb des Anforderungswerts.

Die Aufbrauchfrist von Propachlor lief am 15. Mai 2013 ab. Trotzdem konnte dieses Herbizid im Jahr 2014 noch in rund zwei Drittel der Proben nachgewiesen werden, wobei in fünf Proben der Anforderungswert der GSchV überschritten wurde (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.1*).

In Anhang B II sind die Verläufe der Konzentrationen von Metobromuron und Propachlor im Verlauf der Untersuchungsperiode 2014 dargestellt, und zwar vor dem Hintergrund der Durchschnittskonzentrationen aller Kampagnen. Die Abbildungen lassen vermuten, dass die beiden Herbizide im Jahr 2014 trotz des Verwendungsverbots noch ausgebracht wurden, wenn auch in geringerer Masse als in früheren Jahren.

Simazin

Simazin wurde in den Jahren 2011 und 2014 nicht mehr gefunden, während es in den früheren Kampagnen regelmässig nachgewiesen werden konnte (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.1*). Alle Bewilligungen für Pflanzenschutzmittel, die Simazin als Wirkstoff enthalten, wurden widerrufen; die Anwendung simazinhaltiger Produkte ist seit dem 31. Dezember 2011 verboten.

Terbutryn

Für Pflanzenschutzmittel, die Terbutryn als Wirkstoff enthalten, existieren keine Bewilligungen mehr, die Aufbrauchfrist lief bis zum 31. Juli 2011. Eine Grundbelastung mit Terbutryn wird allerdings bestehen bleiben, da dieser Stoff als Algizid in Fassadenanstrichen verwendet wird. Entsprechend konnte Terbutryn auch im Jahr 2014 in allen Wochenmischproben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden. Der Anforderungswert der GSchV wurde allerdings nur noch einmal überschritten. Im Jahr 2011 lag die Konzentration von Terbutryn in ca. der Hälfte der Proben darüber (s. *Tab. 3.1 und Abb. 3.1*). In Anhang B II sind die Resultate von Terbutryn detailliert dargestellt.

4.2.2 Indikatorsubstanzen ARA

Alle fünf Indikatorsubstanzen ARA wurden in 100 Prozent der Wochenmischproben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden (s. Tab. 3.1). Die mit Abstand höchsten Konzentrationen wurden von Benzotriazol und Mecoprop gemessen (s. Tab. 3.2).

Betrachtet man die Frachten, stellt man fest, dass die wöchentlichen Frachten von Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol weniger variieren als diejenigen von Mecoprop (s. Abb. 3.2). Die Quotienten zwischen den verschiedenen Grössen, die die Variation beschreiben, sind bei den vier erstgenannten Verbindungen kleiner als bei Mecoprop (Tab. 4.3). Dies ist in Übereinstimmung mit der Annahme, dass Mecoprop nicht nur in konstanten Mengen über die Punktquellen der ARA, sondern auch in wechselnden Mengen diffus aus der Landwirtschaft und den Siedlungsgebieten eingetragen wird.

Indikatorsubstanz ARA	Mecoprop	Benzotriazol	Carbamazepin	Diclofenac	Sulfamethoxazol
oberes Quartil / unteres Quartil	2.4	1.2	1.2	1.4	1.4
Maximaler Wert / Minimaler Wert	39.9	2.0	2.2	3.4	2.7
90-Quantil / Minimaler Wert	10.0	1.8	1.9	2.8	2.5

Tab. 4.3: Verhältnis der Grössen, die die Variation der Frachten der Indikatorsubstanzen ARA beschreiben

Die Hypothese, dass Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol in konstanten Mengen in den Furtbach eingetragen werden, kann auch überprüft werden, indem die Konzentrationen der Verbindungen gegen den Kehrwert der Abflüsse aufgetragen werden (s. Kap. 2.3.2). Je konstanter die Fracht ist, desto besser ist die lineare Korrelation zwischen diesen beiden Grössen. Im Anhang B II sind die Daten für die fünf Indikatorsubstanzen ARA dargestellt. Bei Mecoprop zeigt sich im Vergleich zu den anderen vier Substanzen eine deutlich schlechtere Linearität.

4.3 Diskussion der Wasserqualität

Die beiden Verfahren, wie aufgrund der Analysenresultate die Wasserqualität an der Messstelle «Furtbach bei Würenlos» beurteilt werden kann, wurden in Kapitel 2.3.1 vorgestellt.

4.3.1 Wasserqualität aufgrund des Belastungsindex

Gemäss Belastungsindex ist die Qualität des Wassers des Furtbachs bei Würenlos in allen fünf Untersuchungsperioden «schlecht» (s. Tab. 3.3). Das heisst, in allen Kampagnen fand man im Durchschnitt in jeder Wochenmischprobe mehr als zwei Pestizide in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV. Im Jahr

2014 wurde mit 2.1 der tiefste Index gemessen, im Jahr 2011 erreichte er mit 5.7 das Maximum.

4.3.2 Wasserqualität aufgrund der Qualitätskriterien

Auch nach diesem Auswertungsverfahren wird die Qualität des Wassers im Furtbach bei Würenlos für alle fünf Kampagnen ähnlich beurteilt (s. Tab. 3.4).

Bezüglich der Herbizide ist die Qualität in den Jahren 2007 und 2014 «unbefriedigend», während sie in den Jahren dazwischen «schlecht» ist. Verantwortlich für die Belastung sind insbesondere Diuron, Metazachlor und Propachlor. In Bezug auf die Insektizide ist die Wasserqualität in den Jahren von 2007 bis 2011 «schlecht», während sie im Jahr 2014 «unbefriedigend» war. Verantwortlich für die Belastung ist fast ausschliesslich Diazinon. Der Grund dafür, dass die Wasserqualität im Jahr 2014 besser als in den Jahren zuvor war, liegt sicher darin begründet, dass Diazinon seit dem Jahr 2013 nicht mehr verwendet werden darf (s. Kap. 4.2.1). Was die Fungizide betrifft, so belasten diese das Wasser nicht nennenswert.

Die Beurteilung, wie stark die Primärproduzenten, die Invertebraten und die Vertebraten durch das Pestizidgemisch belastet werden, widerspiegelt den Befund für die Wirkstoffgruppen. So werden die Primärproduzenten hauptsächlich durch die Herbizide gefährdet und die Invertebraten durch die Insektizide. Auffallend ist, dass im Jahr 2007 der Risikoquotient für die Primärproduzenten viel höher ist als derjenige für die Herbizide. Der Grund dafür ist, dass im Jahr 2007 Irgarol nachgewiesen wurde. Dieses Algizid, das bereits in sehr tiefen Konzentrationen toxisch ist, wird nur in Biozidprodukten eingesetzt und trägt somit nicht zur Belastung durch die Herbizide bei. Bei den Vertebraten ist die Konzentration des Diclofenac ausschlaggebend. Diese Verbindung, die im Rahmen der Kampagne 2014 das erste Mal gemessen wurde, ist hauptsächlich für die unbefriedigende Wasserqualität bezüglich der Vertebraten verantwortlich.

In den fünf Kampagnen wurden zwischen fünf und neun Verbindungen mit einem RQ_{max} grösser als 1 gefunden (s. Tab. 3.5). Dabei bestätigt sich, dass das Wasser des Furtbachs im Jahr 2014 weniger belastet war als in den Jahren zuvor. In diesem Jahr hatten lediglich vier Pestizide einen RQ_{max} grösser als 1, wobei kein einziges die Marke von 10 überschritt. Von den vier Pestiziden werden zwei in Zukunft hoffentlich ganz verschwinden, nämlich Diazinon und Propachlor, deren landwirtschaftliche Verwendung verboten ist.

Die vierzehn Verbindungen, die im Rahmen der fünf Kampagnen einen RQ_{max} grösser als 1 aufwiesen, sind in Tabelle 4.4 aufgeführt (s. Tab. 3.5). Zu jeder Verbindung

sind der höchste RQ_{max} mit dem Jahr, in dem dieser Wert gemessen wurde, sowie die Anzahl Kampagnen angegeben, in denen sie einen RQ_{max} grösser als 1 zeigten.

Verbindung	RQ_{max}	Jahr	Anzahl Kampagnen
Diazinon	26	2008	5
Metazachlor	16	2009	5
Diuron	5.4	2011	5
Propachlor	5.3	2008	5
Irgarol	18	2007	3
Terbutryn	3.6	2011	3
Linuron	1.5	2011	3
Dimethachlor	6.8	2009	1
Dimethoat	4.4	2009	1
Terbuthylazin	3.0	2011	1
Dimethenamid	2.7	2008	1
Pirimicarb	2.3	2011	1
Isoproturon	1.4	2011	1
(Diclofenac)	11	2014	1

() nur 2014 bestimmt

Tab. 4.4: Verbindungen, die in den fünf Untersuchungsperioden mit einem RQ_{max} grösser als 1 auftraten

Erwähnenswert ist, dass die beiden Verbindungen, die am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen gefunden wurden, nämlich Mecoprop und Propyzamid, nicht zu den Verbindungen mit einem RQ_{max} grösser als 1 gehören. AQK und CQK von Mecoprop sind zu hoch, als dass diese Verbindung das Wasser nennenswert belasten könnte, und von Propyzamid sind zurzeit keine Qualitätskriterien bekannt.

4.4 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden

In allen fünf Messkampagnen hat man festgestellt, dass die Wochenmischproben mit hohen Konzentrationen an Schadstoffen von Anfang April bis Mitte September auftreten. Zwischen diesen Eckpunkten ist der Anstieg und Fall der Summe der Konzentrationen nicht gleichmässig, sondern es scheint eine erste Spitze Ende Mai / Anfang Juni zu geben, und eine zweite, etwas kleinere Mitte August (s. Abb. 3.3 und 3.4).

In jeder der Wochenmischproben des Jahres 2014 konnten mehr Pestizide in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden als im langjährigen Vergleich, während die Anzahl Pestizide, die in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSch vorlagen, kleiner war (s. Abb. 3.3). Das steht im Einklang mit der Beobachtung, dass im Jahr 2014 mehr Pestizide in mehr als 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden konnten als im langjährigen Vergleich, während die Anzahl Pestizide, die in mehr als 20 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts vorlag, kleiner war (s. Kap. 4.1). Die durchschnittliche Summe der Konzentrationen der Pestizide in den einzelnen Wochenmischproben war im Jahr 2014 ebenfalls deutlich geringer als im langjährigen Vergleich (s. Kap. 4.4).

5 Literatur

- [1] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2012): *Untersuchung der Oberflächengewässer. Messprogramm 2012/2013.*
- [2] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2008): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach Würenlos und Glatt vor Rhein im Jahr 2007.*
- [3] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2009): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach Würenlos und Jonen nach ARA Zwillikon im Jahr 2008.*
- [4] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2010): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach bei Würenlos, Glatt vor Rhein, Jonen nach ARA Zwillikon und Reppisch bei Dietikon in den Jahren 2007 bis 2009.*
- [5] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2012): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach bei Würenlos und Aabach bei Mönchaltorf im Jahr 2011 mit einem Vergleich zu den Resultaten der früheren Untersuchungen an diesen Stellen.*
- [6] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2011): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Töss bei Freienstein und Aabach bei Mönchaltorf im Jahr 2010 mit einem Vergleich zu den Resultaten der Untersuchungen 2007 bis 2009 bei den Hauptmessstellen an Furtbach, Glatt, Jonen und Reppisch.*
- [7] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2013): *Pestiziduntersuchungen (inkl. Untersuchung von Glyphosat und AMPA) bei der Hauptmessstelle Glatt vor Rhein im Jahr 2012 mit einem Vergleich zu den Resultaten der Untersuchungen im Jahr 2007.*
- [8] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2014): *Pestiziduntersuchungen bei der Hauptmessstelle Aabach bei Mönchaltorf in den Jahren 2010, 2011 und 2013.*
- [9] «Jahrbuch Abflüsse und Wasserstände» auf der Website des AWEL
- [10] http://www.hw.zh.ch/chemie/fg/913_IBUK.pdf (letzter Aufruf: 6.7.2015)
- [11] Wittmer, I., M. Junghans, H. Singer und C. Stamm (2014): *Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus diffusen Einträgen.* Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf
- [12] <http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege/index> (letzter Aufruf: 21.7.2015)
- [13] Marion Junghans; Petra Kunz; Inge Werner (2013): *Toxizität von Mischungen – Aktuelle, praxisorientierte Ansätze für die Beurteilung von Gewässerproben.* Aqua & Gas Nr. 5, S. 54 - 61

Anhang A: Untersuchte Verbindungen

I Beschreibung der Verbindungen

Pestizide

Stoff-Code	Verbindung	Substanzklasse	Wirkstoff-gruppe	Einsatzgebiet
102	2,4-D	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Mais, Getreide
104	Alachlor	Chloracetanilid	Herbizid	Mais, Soja
106	Atrazin	Triazin	Herbizid	Mais
159	Azoxystrobin	Strobilurin	Fungizid	Beeren, Obst, Gemüse, Weizen, Raps, ...
107	Bentazon	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Mais, Wiesen, Kartoffeln, Erbsen, Soja
160	Carbendazim	Benzimidazol	Fungizid*	Blüten-, Zweigdürre, Tomaten, Saatbeizmittel, Kelchfäule (Apfel)
161	Chloridazon	Pyridazinon	Herbizid	Randen, Zuckerrüben, Futterrüben
108	Chlortoluron	Phenylharnstoff	Herbizid	Wintergetreide
109	Cyanazin	Triazin	Herbizid	Erbsen
110	Cypermethrin	Pyrethroid	Insektizid	Raps
111	DEET	Diethyltoluamid	Repellent*	gegen Stechmücken
113	Diazinon	Organophosphat	Insektizid*	Obst, Gemüse
181	Dicamba		Herbizid	
154	Dichlobenil	Nitrilherbizid	Herbizid	Unkräuter, Ungräser
114	Dichlorprop	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Getreide
151	Dimethachlor	Chloracetanilid	Herbizid	
115	Dimethenamid	Chloracetanilid	Herbizid	Mais, Soja, Sonnenblumen, Bohnen
116	Dimethoat	Organophosphat	Insektizid	gegen Insekten und Spinnmilben
117	Diuron	Phenylharnstoff	Herbizid*	Obst, Reben, Spargel, Baumaterialien
118	Ethofumesat	Sulfonat	Herbizid	Rüben
120	Fenpropimorph	Morpholin	Fungizid	
121	Fluroxypyr	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Getreide
122	Hexazinon	Triazinon	Herbizid	Totalherbizid
187	Imidacloprid	Neonicotinoid	Insektizid	
150	Irgarol 1051	Methylthiotriazin	Antifouling*	ausschliesslich Biozidprodukte (Fassadenanstriche usw.)
123	Isoproturon	Phenylharnstoff	Herbizid*	Wintergetreide
124	Linuron	Phenylharnstoff	Herbizid	Mais, Kartoffeln, Bohnen, Soja, Sonnenblumen
126	MCPA	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Wiesen, Getreide, Zier- und Sportrasen
127	MCPB	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Wiesen, Kartoffeln, Getreide
128	Mecoprop	Phenoxykarbonsäure	Herbizid*	Getreide, Raps, Flachdächer
129	Metalaxyl	Acylanilid	Fungizid	Kartoffeln, Hopfen
130	Metamitron	Triazin	Herbizid*	Rüben
131	Metazachlor	Chloracetanilid	Herbizid	Raps, Kohl
132	Methabenzthiazuron	Harnstoffderivat	Herbizid	
133	Metobromuron	Phenylharnstoff	Herbizid	Feldsalat, Kartoffeln
134	Metolachlor	Chloracetanilid	Herbizid	Mais, Soja, Sonnenblumen, Bohnen
135	Metoxuron	Phenylharnstoff	Herbizid	Wintergetreide
174	Metribuzin	Triazinon	Herbizid	Kartoffeln, Weizen, Tomaten, Karotten
178	Metsulfuron-methyl	Sulfonylharnstoff	Herbizid	
136	Monolinuron	Phenylharnstoff	Herbizid	Kartoffeln, Bohnen, Soja, Sonnenblumen
173	Napropamid	Amid Herbizid	Herbizid	Erdbeeren, Raps, Tabak, Ziergehölze
137	Oxadixyl	Acylanilid	Fungizid	Reben, Kartoffeln, Tabak
138	Penconazol	Triazol	Fungizid	Reben, Kernobst
140	Permethrin	Pyrethroid	Insektizid	Mais, Kartoffeln, Raps, Gemüse
141	Pirimicarb	Carbamat	Insektizid	Blattläuse
142	Propachlor	Chloracetanilid	Herbizid	Kohl, Zwiebeln usw., Erdbeeren, Stauden, Ziergehölze
143	Propazin	Triazin	Herbizid	Totalherbizid (in Kombination)
144	Propiconazol	Triazol	Fungizid*	gegen Gelbrost, Braunrost, Mehltau
169	Propyzamid	Chlorbenzamid	Herbizid	Ziergehölze, Kernobst, Steinobst
190	Pyraclostrobin	Strobilurin	Fungizid	
145	Sebuthylazin	Triazin	Herbizid	
146	Simazin	Triazin	Herbizid	Kernobst, Gemüse, Beeren, Mais
192	Tebuconazol	Triazol	Fungizid*	Bäume, Sträucher, Blumen (Rosen); Holzschutzmittel
152	Tebutam	Amidherbizid	Herbizid	
147	Terbuthylazin	Triazin	Herbizid*	Kartoffeln
148	Terbutryn	Triazin	Herbizid*	Mais, Kartoffeln, Wintergetreide
182	Thiacloprid	Neonicotinoid	Insektizid	

179	Thifensulfuron-methyl	Sulfonylharnstoff	Herbizid	
149	Triclopyr	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	Wiesen, Nichtkulturland

* wird auch als Wirkstoff in Biozidprodukten eingesetzt

Transformationsprodukte

Stoff-Code	Verbindung	
153	2,6-Dichlorbenzamid	Abbauprodukt von Dichlobenil
112	Desethylatrazin	Abbauprodukt von Atrazin
156	Desisopropylatrazin	Abbauprodukt von Atrazin

Marker

Stoff-Code	Verbindung	Kategorie
510	Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel

Medikamente

Stoff-Code	Verbindung	Kategorie
607	Carbamazepin	Antiepileptikum
611	Diclofenac	Schmerzmittel
641	Sulfamethoxazol	Antibiotikum

II Bestimmungsgrenzen, Qualitätskriterien und Zuordnung zu taxonomischen Gruppen

Stoff-Code	Verbindung	BG* 2012	Wirkstoffgr. Kategorie	CQK*	AQK*	Taxonomische Gruppe CQK	Taxonomische Gruppe AQK
102	2,4-D	0.01	H	0.2	1.3	Pp	Pp
104	Alachlor	0.01	H	0.3	0.7	Pp	Pp
106	Atrazin	0.01	H	0.6	2	Pp / lv / Ve	Pp
159	Azoxystrobin	0.01	F	0.95	0.95	Pp / lv	Pp / lv / Ve
107	Bentazon	0.01	H	73	450	Pp	Pp
510	Benzotriazol	0.01	K†	30	120	Pp / lv / Ve	Pp / lv / Ve
607	Carbamazepin	0.01	AE†	0.5	2550	lv	Pp / lv / Ve
160	Carbendazim	0.01	F/B	0.34	0.57	lv / Ve	Pp / lv / Ve
161	Chloridazon	0.01	H	27	190	Pp	Pp
108	Chlortoluron	0.01	H	0.6	0.85	Pp	Pp
109	Cyanazin	0.01	H	0.57	4.7	Pp	Pp
111	DEET	0.01	IR / B	41	410	Pp / lv / Ve	Pp / lv / Ve
113	Diazinon	0.01	I / B	0.015	0.015	lv	lv
611	Diclofenac	0.01	S†	0.05		Ve	
151	Dimethachlor	0.01	H	0.046	6.6	Pp	Pp
115	Dimethenamid	0.01	H	0.13	1.6	Pp	Pp
116	Dimethoat	0.01	I	0.07	0.977	lv	lv
117	Diuron	0.01	H / B	0.02	0.06	Pp	Pp
118	Ethofumesat	0.01	H	22	26	Pp / lv	Pp / lv / Ve
121	Fluroxypyr	0.01	H	0.41		Pp / Ve	
187	Imidacloprid	0.01	I	0.013	0.1	lv	lv
150	Irgarol 1051	0.01	B	0.0023	0.013	Pp	Pp
123	Isoproturon	0.01	H / B	0.32	1.2	Pp	Pp
124	Linuron	0.01	H	0.26	1.37	Pp / Ve	Pp
126	MCPA	0.01	H	1.34	15.2	Pp	Pp
128	Mecoprop	0.01	H / B†	3.6	187	Pp	Pp
129	Metalaxyl	0.01	F	60		Pp / lv / Ve	
130	Metamitron	0.01	H / B	4	39	Pp	Pp
131	Metazachlor	0.01	H	0.02	0.7	Pp	Pp
133	Metobromuron	0.01	H	2		Pp / Ve	
134	Metolachlor	0.01	H	0.3	4.4	Pp / Ve	Pp
174	Metribuzin	0.01	H	0.058	1.78	Pp	Pp
173	Napropamid	0.01	H	5.12	6.8		
141	Pirimicarb	0.01	I	0.09	1.6	lv	lv
142	Propachlor	0.01	H	0.09	1.4	Pp	Pp
143	Propazin	0.01	H	4		Pp	Pp
144	Propiconazol	0.01	F / B	1.8	2.1	Pp	Pp
146	Simazin	0.01	H	1	4	Pp	Pp
641	Sulfamethoxazol	0.01	A†	0.6	2.7	Pp	Pp
192	Tebuconazol	0.01	F	1.2	1.4	Pp / lv / Ve	Pp / lv
147	Terbuthylazin	0.01	H / B	0.22	1.28	Pp / lv	Pp
148	Terbutryn	0.01	H / B	0.065	0.34	Pp	Pp / lv
182	Thiacloprid	0.01	I	0.01	0.08		
149	Triclopyr	0.02	H	4.6	4.6		

* Konzentrationen in µg/l

† Indikatorsubstanz

Kategorie:

A	Antibiotikum
AE	Antiepileptikum
B	Wirkstoff in Biozidprodukt
F	Fungizid
H	Herbizid
I	Insektizid
K	Korrosionsinhibitor
S	Schmerzmittel

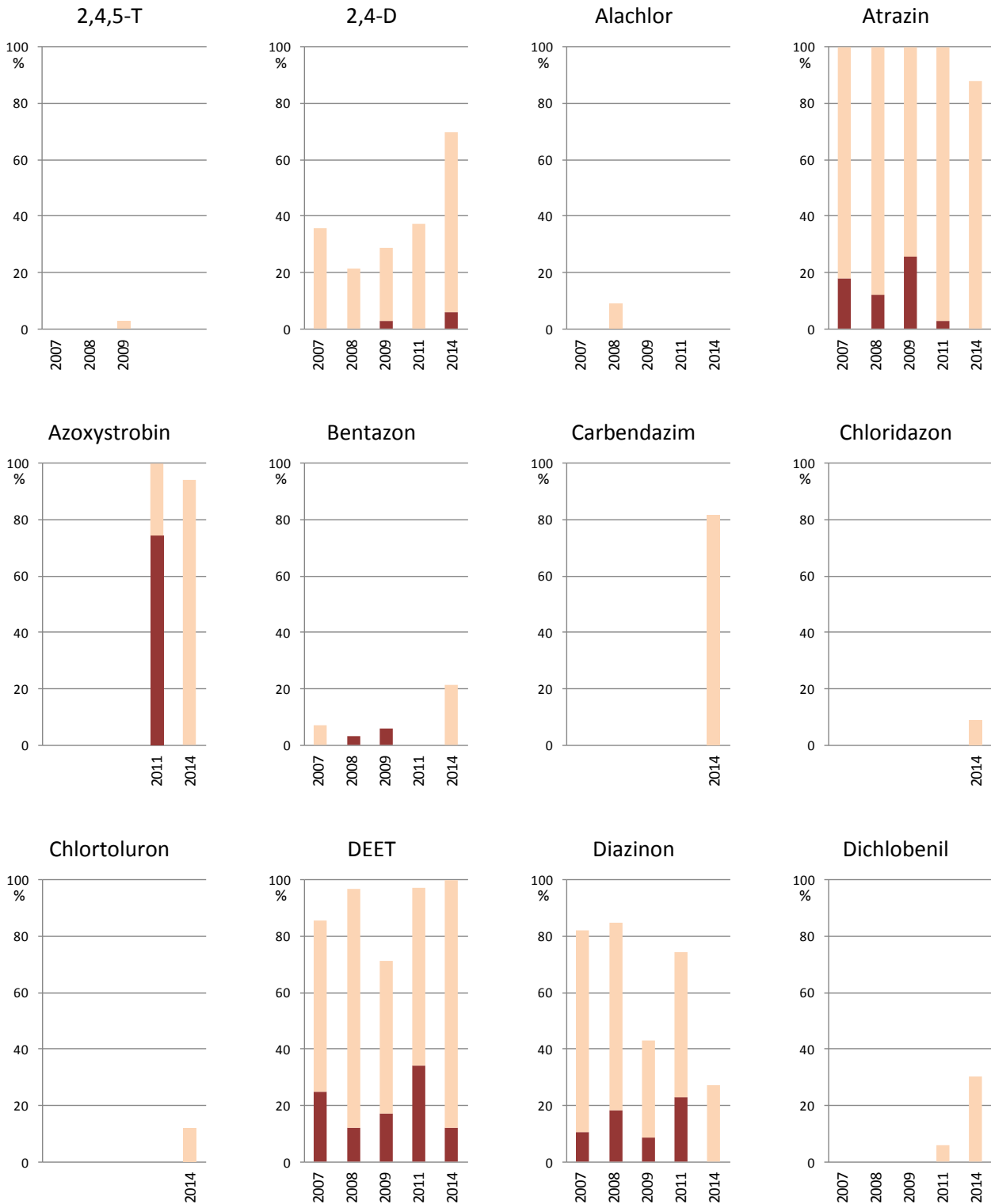
Taxonomische Gruppe:

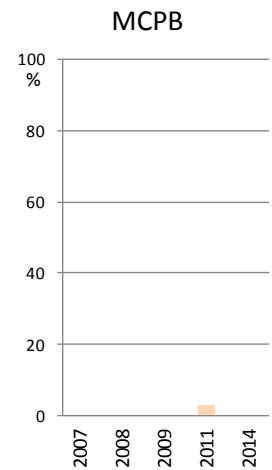
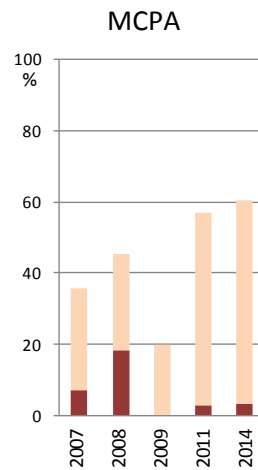
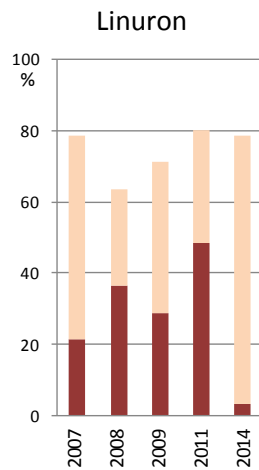
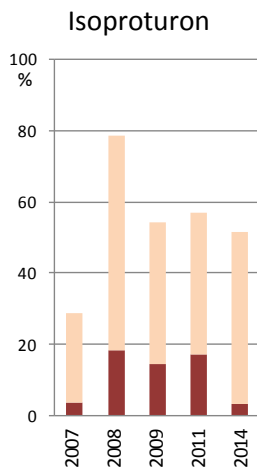
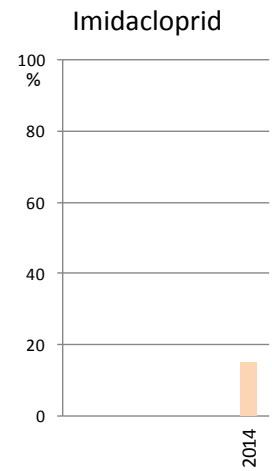
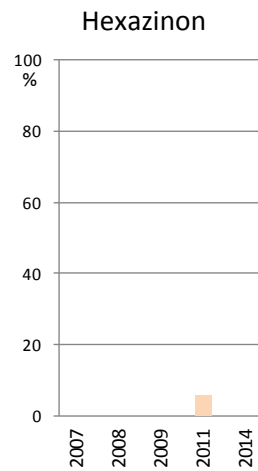
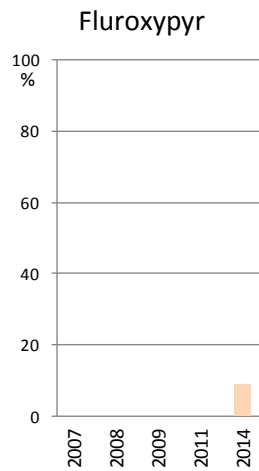
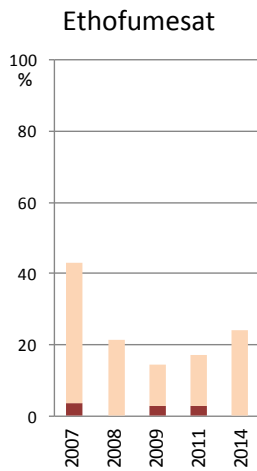
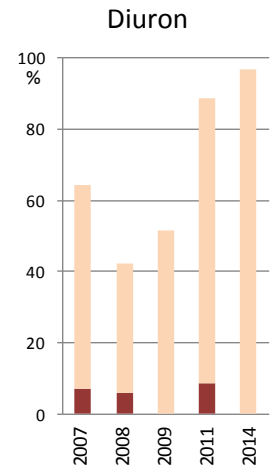
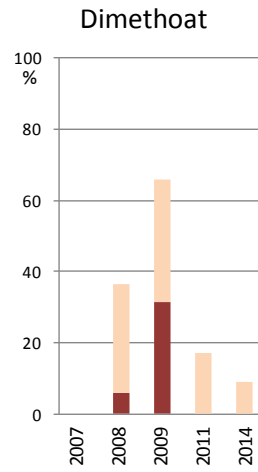
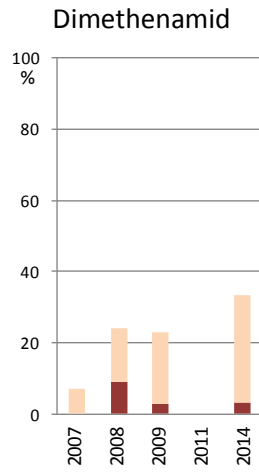
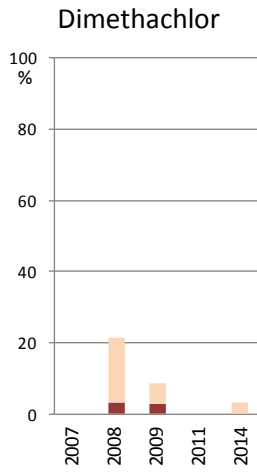
Pp	Primärproduzenten
lv	Invertebraten
Ve	Vertebraten

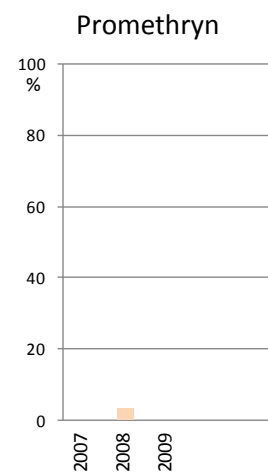
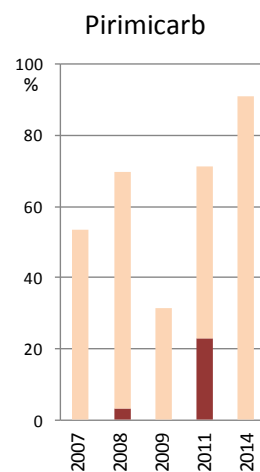
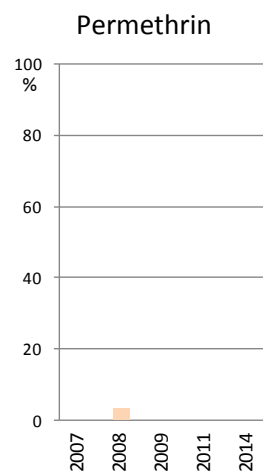
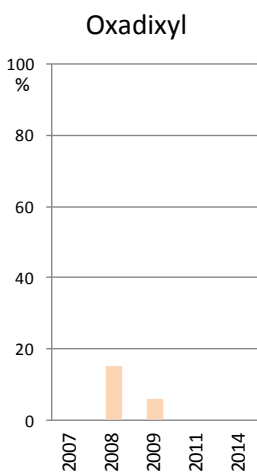
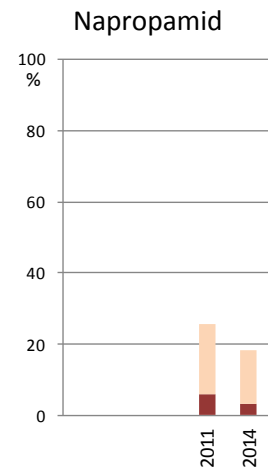
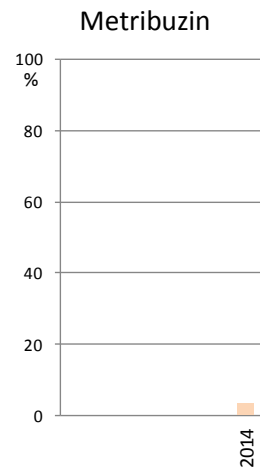
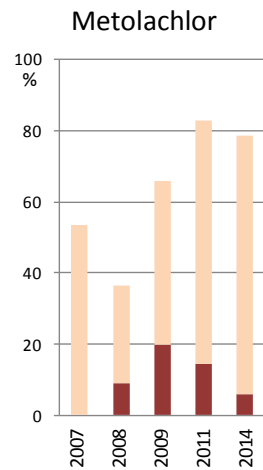
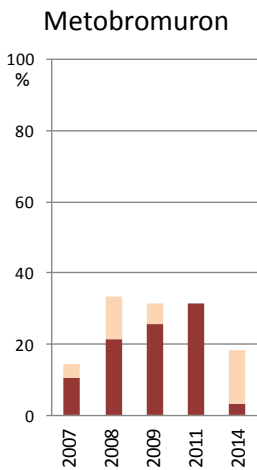
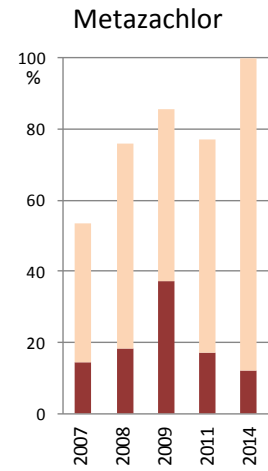
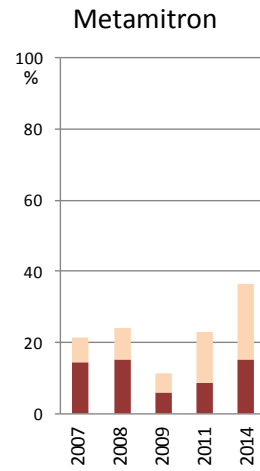
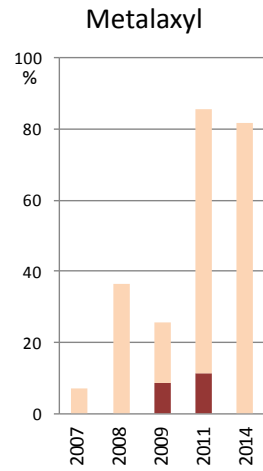
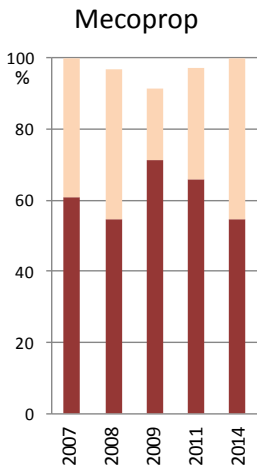
Anhang B: Resultate

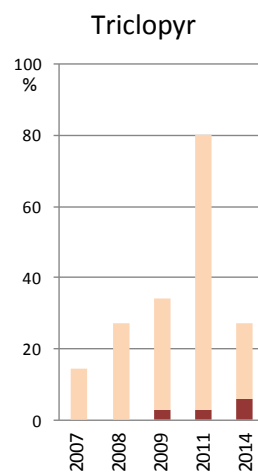
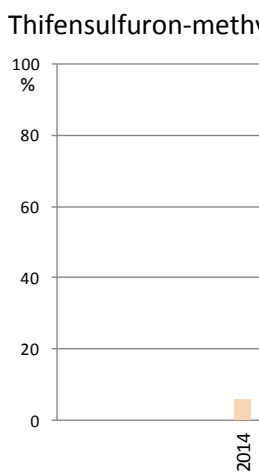
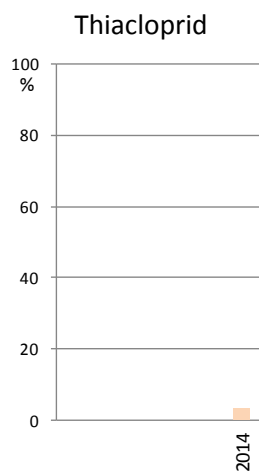
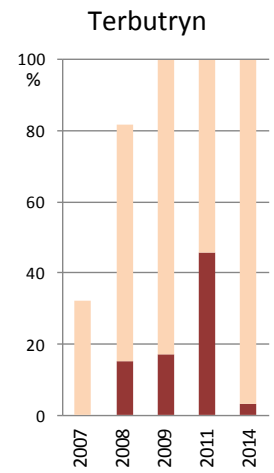
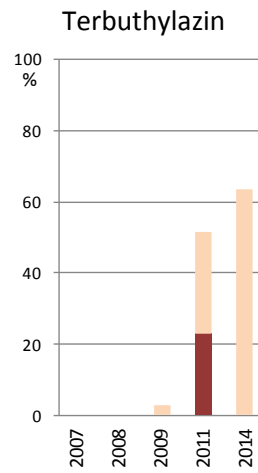
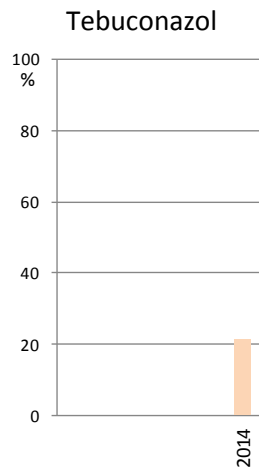
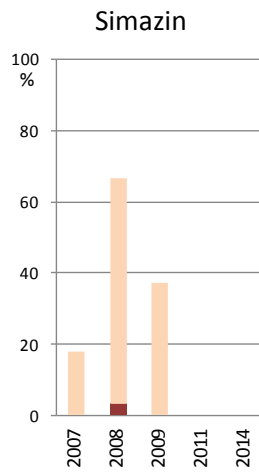
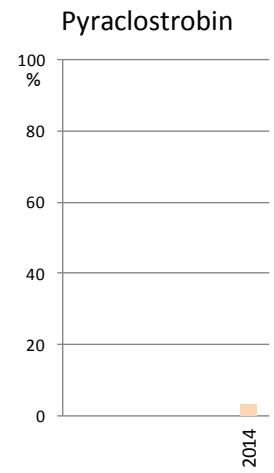
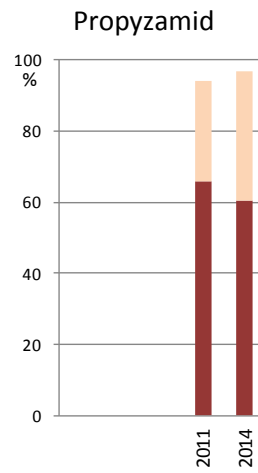
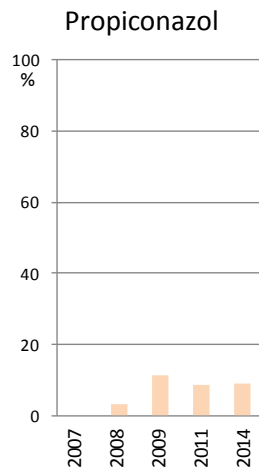
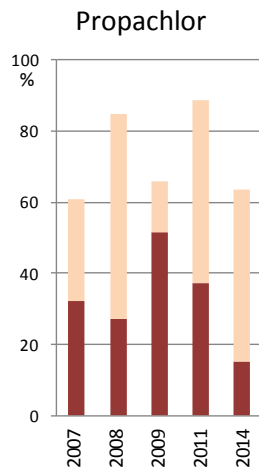
I Nachweise Pestizide

Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens) und Anforderungswert der GSchV (dunkler Teil des Balkens)





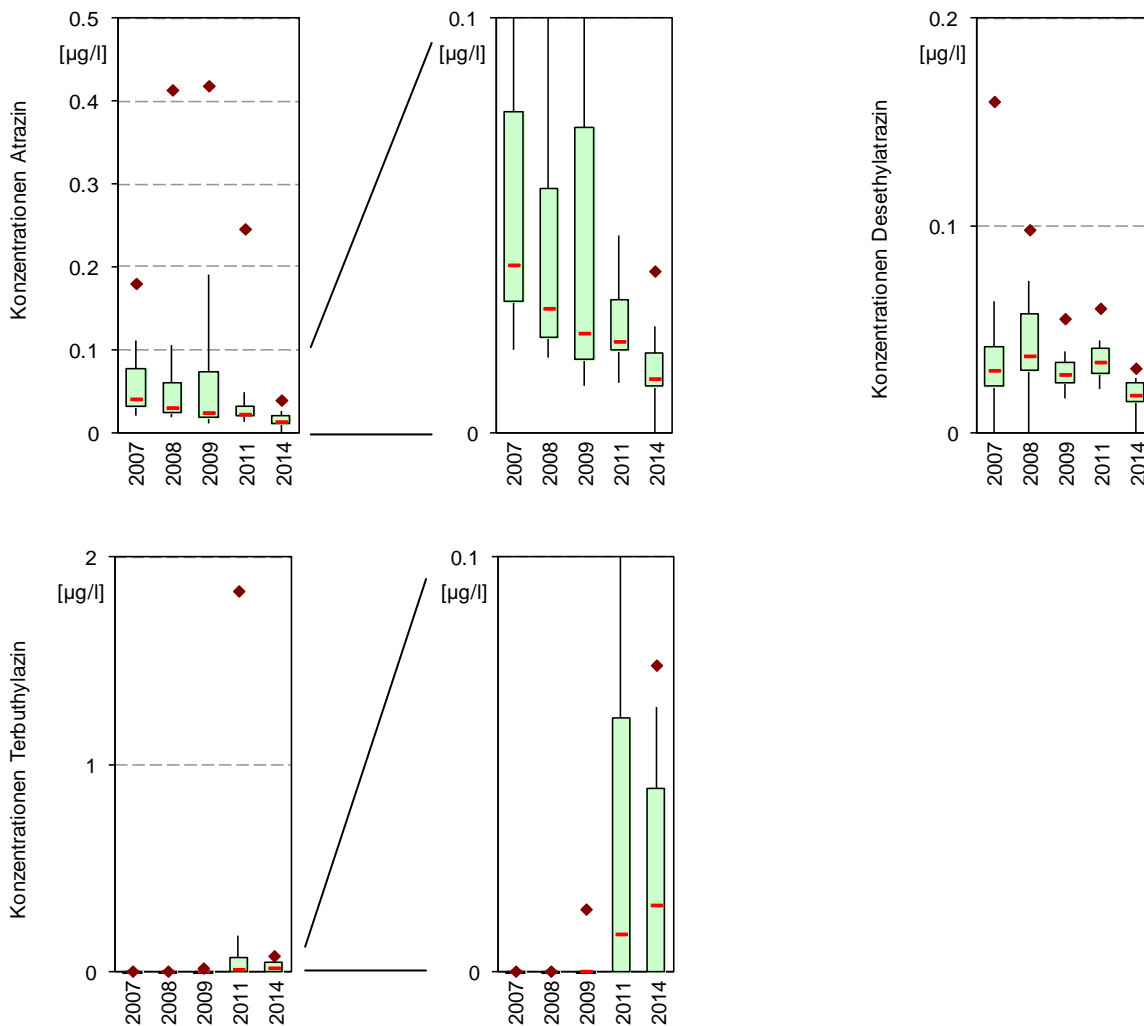




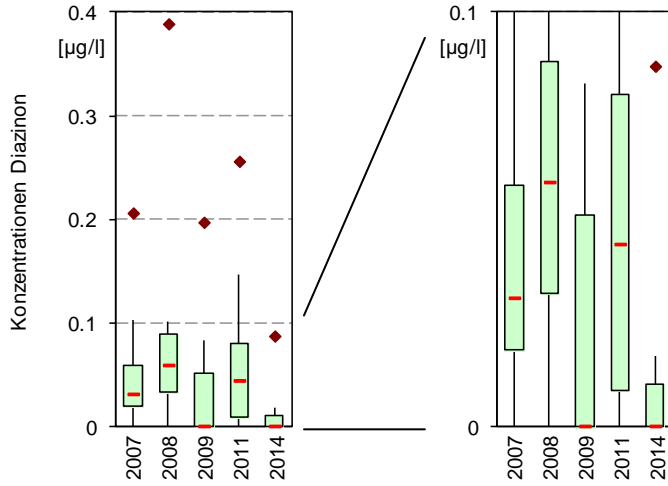
II Ausgewählte Verbindungen

Die Abbildungen für Atrazin, Desethylatrazin, Terbutylazin, Diazinon sowie Terbutryn zeigen die Variation ihrer Konzentrationen in den Wochenmischproben der Messkampagnen 2007 bis 2014 (*Legende s. Abb. 3.2*). Die Abbildungen für Metobromuron und Propachlor stellen die Konzentrationsverläufe im Verlaufe der verschiedenen Untersuchungsperioden dar.

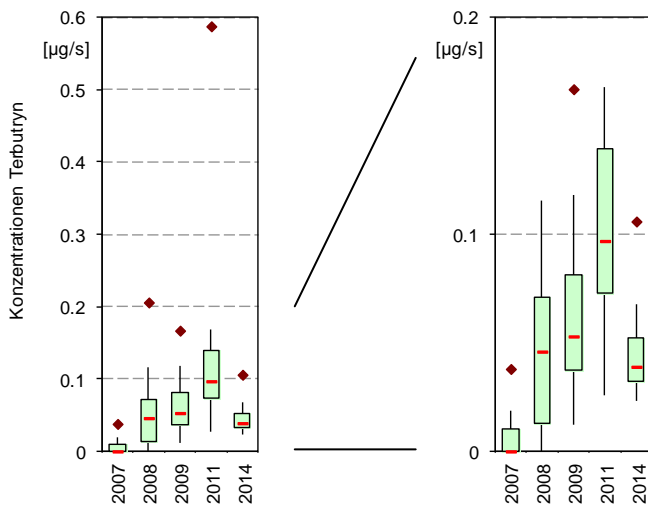
Atrazin, Desethylatrazin und Terbutylazin



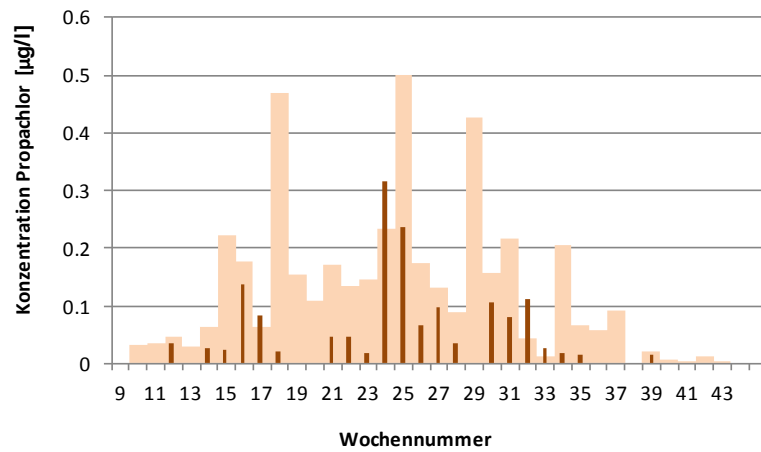
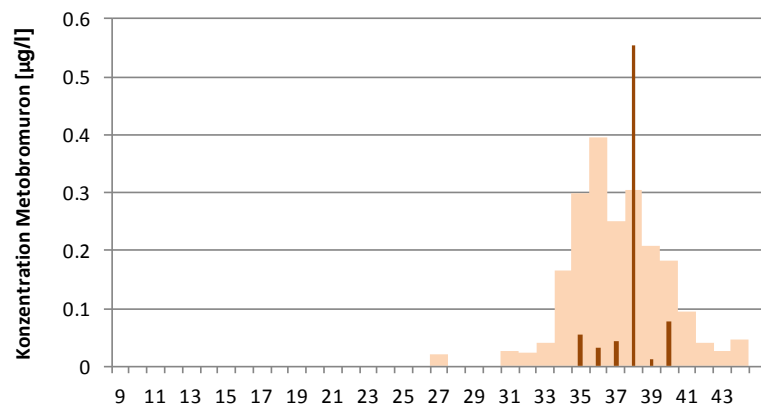
Diazinon



Terbutryn



Metobromuron und Propachlor



- Mittelwert der Konzentrationen 2007 bis 2014
- Konzentrationen 2014

Indikatorsubstanzen ARA

