



Untersuchung von organischen Spurenstoffen

bei den Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und
«Jonen nach ARA Zwillikon» im Jahr 2015

mit einem Vergleich mit den Resultaten der früheren Untersuchungen an diesen Stellen

**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, 14. April 2016, gedruckt am 11. Mai 2016

Foto Titelseite: Hauptmessstelle «Jonen nach ARA Zwillikon»

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	2
Verzeichnis der Abkürzungen und wichtigen Grössen	3
Zusammenfassung	5
1 Einleitung	7
2 Methode	10
2.1 Probenahme	10
2.2 Analytik	10
2.2.1 Analysemethoden	10
2.2.2 Untersuchte Verbindungen	11
2.3 Auswertung der Daten	12
2.3.1 Bestimmung der Wasserqualität	12
2.3.2 Ermittlung der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»	16
3 Resultate	18
3.1 Verteilung der Nachweise	18
3.1.1 Pestizide	18
3.1.2 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» und Abbauprodukte	20
3.2 Maximale Konzentrationen	21
3.3 Ermittlung der Frachten der Spurenstoffe «Industrie und Haushalt» im Jahr 2015	23
3.3.1 Glatt	23
3.3.2 Jonen	25
3.4 Qualität des Wassers	27
3.4.1 Auswertung mittels Belastungsindex	27
3.4.2 Auswertung mittels Qualitätskriterien	27
3.5 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden im Jahr 2015	28
4 Diskussion	30
4.1 Überblick über die Nachweise im Jahr 2015	30
4.2 Pestizide	30
4.2.1 Nachweise oberhalb Bestimmungsgrenze und Anforderungswert GSchV	30
4.2.2 Maximale Konzentrationen	31
4.2.3 Vergleich der Jonen mit der Glatt	32
4.2.4 Ausgewählte Pestizide	33
4.3 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»	35
4.3.1 Häufigkeit der Nachweise	35
4.3.2 Frachten	35
4.4 Diskussion der Wasserqualität	37
4.4.1 Wasserqualität aufgrund des Belastungsindex	38
4.4.2 Wasserqualität aufgrund der Qualitätskriterien	38
4.5 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden	39
Literatur	41
Anhang: Untersuchte Verbindungen	42
I Beschreibung der Verbindungen	42
II Bestimmungsgrenzen, Qualitätskriterien und Zuordnung zu taxonomischen Gruppen	44

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abb. 1.1:** Die Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon»
- Abb. 1.2:** Lage der beprobten Hauptmessstellen
- Abb. 2.1:** Schöpfautomat
- Abb. 2.2:** Art der Zulassung der im Jahr 2015 untersuchten Pestizide
- Abb. 3.1:** Anteil der Wochenmischproben, in denen ein bestimmtes Pestizid in einer Konzentration oberhalb seiner Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurde
- Abb. 3.2:** Anzahl Pestizide, die in der durchschnittlichen Wochenmischprobe in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurde
- Abb. 3.3:** Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» bei Rheinsfelden vs. Abfluss der Glatt beim Verlassen des Greifensees
- Abb. 3.4:** Konzentrationen der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» vs. Kehrwert des Abflusses der Jonen
- Abb. 3.5:** Variation der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen
- Abb. 3.6:** Jahreszeitlicher Verlauf der Anzahl Nachweise der Pestizide oberhalb der Bestimmungsgrenze und Anforderungswert der GSchV
- Abb. 3.7:** Summe der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben
- Abb. 4.1:** Anzahl Pestizide, die in der durchschnittlichen Wochenmischprobe in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurde
- Abb. 4.2:** DEET in der Jonen 2015
- Abb. 4.3:** Prozentuale Anteile der einzelnen Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» an der gesamten Fracht in Glatt und Jonen
- Abb. 4.4:** Beitrag von Mecoprop zu den Summen der Konzentrationen der Pestizide (ohne DEET) in den einzelnen Wochenmischproben in der Glatt

Tabellen

- Tab. 1.1:** Mittlere Jahresabflüsse der Glatt und der Jonen in den jeweiligen Untersuchungsjahren sowie Charakteristika der Einzugsgebiete
- Tab. 2.1:** Untersuchungsperioden und Anzahl Proben
- Tab. 2.2:** Übersicht über die untersuchten Verbindungen
- Tab. 2.3:** Schema für die Beurteilung der Wasserqualität
- Tab. 3.1:** Nachgewiesene Pestizide im Jahr 2015
- Tab. 3.2:** Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen die Verbindungen, die zu den Spurenstoffen «Industrie & Haushalt» sowie zu den Abbauprodukten gehören, in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden wurden, und Durchschnittskonzentrationen in diesen Proben
- Tab. 3.3:** Maximale Konzentration, die für jede Verbindung in den jeweiligen Messkampagnen gemessen wurde
- Tab. 3.4:** Frachten ARA im Glatttal und Konzentrationen der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» im Abfluss Greifensee
- Tab. 3.5:** Frachten ARA der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen
- Tab. 3.6:** Wasserqualität, ermittelt mit Hilfe des Belastungsindex
- Tab. 3.7:** Wasserqualität, ermittelt mittels Qualitätskriterien
- Tab. 3.8:** Verbindungen mit einem Risikoquotienten $RQ_{max}(v)$ grösser gleich 1
- Tab. 4.1:** Nachgewiesene Verbindungen im Jahr 2015
- Tab. 4.2:** Spitzenreiter bei der Anzahl Nachweise in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen und des Anforderungswerts der GSchV
- Tab. 4.3:** Spitzenreiter bei den maximal gemessenen Konzentrationen
- Tab. 4.4:** Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in Glatt und Jonen

Tab. 4.5: Anteil der Fracht aus dem See an der Gesamtfracht in der Glatt bei Rheinsfelden bei einem Seeabfluss, der dem Jahresmittel entspricht

Tab. 4.6: Variation der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen

Tab. 4.7: Verbindungen, die 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
Kap.	Kapitel
Kat.	Kategorie
Konz.	Konzentration
LC-MS	Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie
MüM	Meter über Meer
Nr.	Nummer
resp.	respektive
s.	siehe
Tab.	Tabelle
unbefr.	unbefriedigend
usw.	uns so weiter
u.U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
vs.	versus
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	µg/l
CQK	Chronisches Qualitätskriterium	µg/l
CRQ	Chronischer Risikoquotient	1
F	Fracht	µg/s
RQ	Risikoeffizient	1

RQ_{\max} maximaler Risikoeffizient
 \bar{Q} Mittlerer Wochenabfluss

1
 m^3/s

Zusammenfassung

Für die Untersuchung der Spurenstoffe im Jahr 2015 bei den Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen vor ARA Zwillikon» wurden von März bis Oktober Wochenmischproben gesammelt und im Labor auf 100 organische Spurenstoffe (Pestizide, Spurenstoffe «Industrie & Haushalt», Abbauprodukte) hin analysiert. Um die Wasserqualität der beiden Fließgewässer zu beurteilen, benützte man einerseits den Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung GSchV und andererseits stoffspezifische, effektbasierte Qualitätskriterien.

In beiden Flüssen zusammen waren insgesamt 43 Pestizide nachweisbar. In der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt fand man 8.6 Pestizide in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und 0.5 in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV. Für die Jonen betrug die entsprechenden Zahlen 7.5 bzw. 1.4. Die Summe der Konzentrationen in der durchschnittlichen Probe der Glatt war mit 0.34 µg/l kleiner als in derjenigen der Jonen (1.11 µg/l). Die Unterschiede lassen sich dadurch erklären, dass Einzugsgebiet und Abfluss der Glatt rund zehnmal grösser sind als diejenige der Jonen. Die Glatt sammelt die Pestizide aus einem grösseren Gebiet als die Jonen, gleichzeitig verdünnt sie die Pestizide, da nicht alle Zuflüsse in gleichem Masse belastet sind. Deshalb sind in ihrem Wasser mehr Pestizide nachweisbar als in der Jonen, aber in tieferen Konzentrationen. Die hohen Konzentrationen findet man in der Jonen, wo die Pestizidstösse weniger verdünnt werden; dafür ist die Anzahl Pestizide, die in der Durchschnittsprobe der Jonen nachgewiesen werden können, kleiner, da in ihrem (kleineren) Einzugsgebiet weniger Pestizide verwendet werden.

Die Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» konnten sowohl in der Glatt als auch in der Jonen in praktisch allen Wochenmischproben nachgewiesen werden. Die Resultate der Berechnung der Frachten bestätigten die Annahme, dass der Eintrag von Spurenstoffen «Industrie & Haushalt» über die Abwasserreinigungsanlagen ARA relativ konstant ist. Den grössten Anteil an der Fracht trug mit 60 bis 70 Prozent Benzotriazol, gefolgt von Diclofenac mit 11 bis 17 Prozent. Die Fracht an Spurenstoffen «Industrie & Haushalt», die über die ARA im Glatttal in die Glatt eingetragen wurden, war in der Glatt rund 4 bis 7 Mal höher als in der Jonen.

Mit Hilfe des Belastungsindex wurde die Qualität des Wassers der Glatt bei Rheinsfelden im Jahr 2015 als «mässig» beurteilt, diejenige des Wassers der Jonen als «unbefriedigend». Auch bei der Beurteilung der Wasserqualität mittels Qualitätskriterien schnitt die Glatt durchwegs besser ab als die Jonen. Bezüglich der Herbizide war die Qualität des Wassers der Glatt «mässig», während das Wasser der Jonen

unbefriedigend war. Verantwortlich für die Belastung waren vor allem die Herbizide Diuron, Metazachlor und – im Fall der Jonen im Jahr 2008 – MCPA und 2,4-D.

In Bezug auf die Insektizide war die Qualität des Glattwassers im Jahr 2015 «gut». Der Grund für diese markante Verbesserung im Vergleich zu den früheren Jahren war, dass seit dem Jahr 2013 Diazinon nicht mehr verwendet werden durfte. Diese Verbesserung beobachtete man auch in der Jonen. Im Jahr 2015 wurde zwar immer noch Diazinon gefunden, wenn auch viel seltener und in tieferen Konzentrationen als im Jahr 2008. Was die Fungizide betraf, so belasteten diese das Wasser nicht nennenswert.

Die Beurteilung, wie stark die Primärproduzenten, die Invertebraten und die Vertebraten durch das Pestizidgemisch belastet wurden, widerspiegelte den Befund für die Wirkstoffgruppen. So wurden die Primärproduzenten hauptsächlich durch die Herbizide gefährdet und die Invertebraten durch die Insektizide. Bei den Vertebraten war die Konzentration des Diclofenac ausschlaggebend. Diclofenac dominierte auch die Beurteilung der Wasserqualität bezüglich der Belastung durch die Spurenstoffe «Industrie & Haushalt».

Betrachtete man die Summe der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben der Glatt im Jahresverlauf, so fielen Spitzen auf, die mehr oder weniger gleichmässig verteilt waren, wobei die höchsten Ausschläge im Sommer zu finden waren. Diese Spitzen wurden hauptsächlich durch Mecoprop verursacht. Die Konzentrationsspitzen der Jonen liessen sich nicht auf hohe Konzentrationen eines einzelnen Pestizids zurückführen. In der Jonen waren es im Verlauf der Untersuchungsperiode immer wieder andere Verbindungen, die in hohen Konzentrationen auftraten. Dies widerspiegelte die Applikationszeiten der entsprechenden Pestizide in der Landwirtschaft, in öffentlichen Anlagen und privaten Gärten.

1 Einleitung

Die Untersuchungen bei den Hauptmessstellen¹ «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» (Abb. 1.1) im Jahre 2015 dienten dem Ziel, ein umfassendes Bild davon zu erhalten, wie stark die Glatt und die Jonen mit organischen Spurenstoffen² belastet sind. Bei den untersuchten Stoffen handelte es sich einerseits um Pestizide³, die vor allem in der Landwirtschaft als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln zum Einsatz kommen, andererseits um Spurenstoffe wie z.B. Arzneimittel, die ihren Ursprung in den Siedlungsgebieten haben. Während der Eintrag der Pestizide in die Gewässer stark abhängig vom Zeitpunkt und Ort der Anwendung der Pflanzenschutzmittel ist, gelangen die Spurenstoffe aus den Siedlungen vornehmlich über die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in die Gewässer, wobei ihr Eintrag in die Gewässer wesentlich konstanter ist als bei den Pestiziden.



«Glatt vor Rhein»



«Jonen nach ARA Zwillikon»

Abb. 1.1: Die Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon»

Die beiden Messstellen sind wie alle anderen Hauptmessstellen im Kanton Zürich mit Schöpfautomaten ausgerüstet, die die Entnahme von Mischproben erlauben.⁴ Sie wurden im Jahr 2015 nicht zum ersten Mal untersucht: Für die Hauptmessstelle «Glatt vor Rhein» war es nach den Untersuchungen in den Jahren 2007 und 2012

¹ Um die wichtigsten Fließgewässer seines Gebiets zu überwachen, betreibt der Kanton Zürich zurzeit 16 Hauptmessstellen. 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 gemessenen Konzentrationen gegen den Abfluss aufzutragen oder Frachten zu berechnen. [1]

² Unter dem Begriff «organische Spurenstoffe» versteht man ein breites Spektrum organischer Stoffe, die erstens nur aufgrund menschlichen Wirkens in den Gewässern vorkommen und zweitens meist in Konzentrationen von Nano- bis Mikrogramm pro Liter im Wasser nachweisbar sind. Die meisten von ihnen stammen aus Produkten, die in Haus und Garten, in der Industrie und im Gewerbe oder in der Landwirtschaft verwendet werden, z.B. Desinfektions- und Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Andere bedeutende Quellen sind Lebensmittel, Medikamente und Produkte für die Körperpflege. Zu den organischen Spurenstoffen gehören aber nicht nur synthetische Stoffe, sondern auch natürliche Stoffe wie die körpereigenen Östrogene. Einige organische Spurenstoffe können bereits in sehr tiefen Konzentrationen Schaden anrichten.

³ 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.

die dritte und für die Hauptmessstelle «Jonen nach ARA Zwillikon» nach der Untersuchung im Jahr 2008 die zweite Messkampagne. [2-5]

Tabelle 1.1 listet die mittleren Abflüsse auf, die an diesen Stelle in den jeweiligen Untersuchungsjahren gemessen wurden [10]; ferner ist in der Tabelle angegeben, welchen Anteil der Wald, die Siedlung und die Landwirtschaft in den entsprechenden Einzugsgebieten haben, und wie hoch der Anteil des gereinigten Abwassers in Glatt und Jonen bei diesen Hauptmessstellen ist [11, 12].

	mittlerer Jahresabfluss [m ³ /s]				Charakteristik Einzugsgebiet			
	2007	2008	2012	2015	Wald	Siedlung	Landwirtschaft	Anteil Abwasser
Glatt	7.53		9.35	6.95	24 %	26 %	45 %	30 - 50 %
Jonen		0.635		0.502	28 %	15 %	56 %	> 50 %

Tab. 1.1: Mittlere Jahresabflüsse der Glatt und der Jonen in den jeweiligen Untersuchungsjahren sowie Charakteristika der Einzugsgebiete

Die Abbildung 1.2 zeigt die Lage der beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» im Kanton Zürich und gibt die Nummern der Messstellen, ihre Landeskoordinaten, ihre Höhe über Meer und die Grösse ihrer Einzugsgebiete an [11, 12].

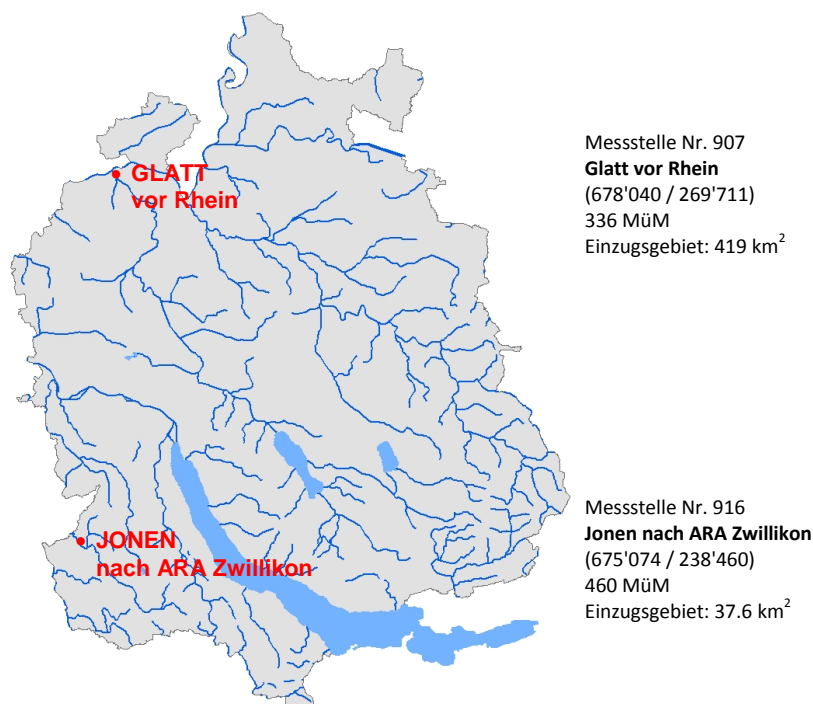


Abb. 1.2: Lage der beobachteten Hauptmessstellen

⁴ 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 [2-9].

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 der Glatt und der Jonen 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 Kampagnen aus den Jahren 2007 und 2012 an der Glatt und aus dem Jahr 2008 an der Jonen von den Resultaten, die im Jahr 2015 erhalten wurden?

2 Methode

2.1 Probenahme

Wie alle Hauptmessstellen sind auch diejenigen an der Glatt und an der Jonen mit Schöpfautomaten ausgerüstet (Abb. 2.1). Für die Untersuchungen entnahmen die Geräte den Gewässern abflussproportionale Tagesmischproben, die jeweils am Ende einer Woche zu Wochenmischproben 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 verschiedenen Untersuchungsperioden dauerten, wie viele Wochenmischproben die Messreihen jeweils umfassten und wie hoch der mittlere Abfluss im jeweiligen Zeitraum war.

	2007 Glatt	2008 Jonen	2012 Glatt	2015 Glatt	2015 Jonen
Untersuchungsperiode	14. Mai (Wo 20) bis 4. Nov. (Wo 44)	3. Mrz. (Wo 10) bis 2. Nov. (Wo 44)	5. Mrz. (Wo 10) bis 30. Sept. (Wo 39)	23. Mrz. (Wo 13) bis 22. Nov. (Wo 47)	
Anzahl Wochenmischproben	24	35	29	35	
Bemerkung	Daten Wo 44 un- vollständig, daher nicht berücksichtigt		Keine Mischprobe in Wo 12		
mittlerer Abfluss [m ³ /s] in der Untersuchungsperiode	8.30	0.708	7.40	6.63	0.489

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 Milieu. Zur anschließenden Bestimmung der Konzentrationen der Verbindungen in den Extrakten

wurden die Gaschromatographie-Massenspektrometrie und die Flüssigchromatographie-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 bewährten Untersuchungsprogramm des Gewässerschutzlabors des AWEL und umfasste im Jahr 2015 100 organische Spurenstoffe. Bei 83 Verbindungen handelte es sich um Pestizide, bei 7 um Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» und bei 10 um Abbauprodukte von Pestiziden und Medikamenten (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Übersicht über die untersuchten Verbindungen

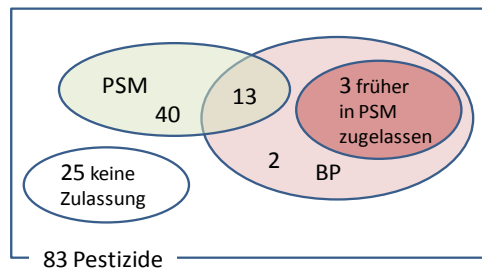
100 organische Spurenstoffe			
83 Pestizide	7 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»		10 Abbauprodukte
	6 Medikamente	1 Korrosionsinhibitor	
56 Herbizide	2 Antibiotika	1 Korrosionsinhibitor	9 Abbauprodukte von Pestiziden
13 Insektizide	1 Antiepileptikum		1 Abbauprodukt eines Medikaments
12 Fungizide	1 Schmerzmittel		
1 Repellent	1 Diuretikum		
1 Antifouling	1 Betablocker		

Von den 83 Pestiziden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung oder in früheren Jahren 81 als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln zugelassen, zwei Pestizide (das Repellent DEET und das Antifouling Irgarol) wurden seit jeher nur als Wirkstoffe in Biozidprodukten eingesetzt. Die Pestizide, die als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln zugelassen waren, können weiter in drei Gruppen – die Herbizide, die Insektizide und die Fungizide – eingeteilt werden (s. Tab. 2.2).

Zum Zeitpunkt der Untersuchung waren von den 83 Pestiziden 53 als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln zugelassen, wobei 13 davon auch in Biozidprodukten eingesetzt werden durften. Zu DEET und Irgarol kamen drei weitere Verbindungen, die nur in Biozidprodukten eingesetzt werden durften, nämlich die beiden Herbizide Terbutryn und Monolinuron sowie das Insektizid Permethrin. Die restlichen 25 Pestizide, die früher alle als Wirkstoffe in Pflanzenschutzmitteln zugelassen waren, durften im Jahr 2015 weder in Pflanzenschutzmitteln noch in Biozidprodukten verwendet werden (Abb. 2.2; s. Anh. A I).

Von den 100 Verbindungen wurden 48 im Jahr 2015 zum ersten Mal untersucht. Bei 34 der 48 Verbindungen handelte es sich um Wirkstoffe, die für den Einsatz in Pflanzenschutzmitteln zugelassen sind, bei den restlichen um Medikamente und Abbauprodukte von Pestiziden und Medikamenten. Welche Verbindung in welcher Kampagne untersucht wurde, ist aus Anhang A II ersichtlich. Im Anhang befinden sich des weiteren Listen mit Informationen zur Zulassung der Verbindungen sowie Bestimmungsgrenzen und Qualitätskriterien.

Abb. 2.2: Art der Zulassung der im Jahr 2015 untersuchten Pestizide



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 einer Beurteilung der Qualität des Wassers 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. Sind die gemessenen Konzentrationen grösser als die Qualitätskriterien, so kann ein Risiko für Wasserorganismen angenommen werden. 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 [13].

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.⁵ 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 auf der nächsten Seite*). Die Verbindungen, die zu den Abbauprodukten, Arzneimitteln usw. gehören, werden bei der Ermittlung des Belastungsindex nicht berücksichtigt. Tabelle 2.3 zeigt, welche Bereiche des Belastungsindex welcher Wasserqualität entsprechen.

⁵ Anh. 2 Ziff. 12 Abs. 5 Nr. 12 GSchV (Stand vom 1. Oktober 2015)

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

Auswertung mittels stoffspezifischer, effektbasierter Qualitätskriterien

Für die meisten Verbindungen liegen zwei Qualitätskriterien vor. Das Akute Qualitätskriterium $AQK(v)$ ist ein Anhaltspunkt dafür, ab welcher Konzentration Organismen geschädigt werden, wenn sie einem Stoss einer Verbindung v von einem bis zu vier Tagen Dauer ausgesetzt sind [13]. Das Chronische Qualitätskriterium $CQK(v)$ gibt Auskunft darüber, ab welcher Konzentration Organismen gefährdet sind, wenn eine bestimmte Verbindung über eine längere Zeit auf sie einwirkt. Ein Vergleich der gemessenen Konzentrationen mit diesen beiden Qualitätskriterien zeigt also, ob eine Verbindung bezüglich akuter oder chronischer Toxizität ein Risiko für die Organismen darstellt. Die Quotienten, die aus den Vergleichen resultieren, heissen entsprechend Akuter Risikoquotient $ARQ(v)$ bzw. Chronischer Risikoquotient $CRQ(v)$. 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-EPFL⁶» (Ökotoxzentrum) auf seiner Internetseite veröffentlicht [14]. 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 Zweiwochenmischproben⁷. 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.

⁶ Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs; EPFL: École polytechnique fédérale de Lausanne

⁷ Zwei Wochen entsprechen in etwa der Dauer der Tests, die zur Herleitung der CQK herangezogen werden.

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 $\bar{q}(t)$ und $\bar{q}(t+1)$ 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).

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

Anschliessend bestimmte man für jede Verbindung v in jeder der Zweiwochenmischproben die Risikoquotienten $CRQ_{zw}(v,t)$. Dazu verglich man *die Hälfte*⁸ 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

⁸ 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

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 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 [15]. 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).

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

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):






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

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 Ermittlung der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»

Es wird angenommen, dass die Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt», die über die ARA in die Gewässer eingetragen werden, mehr oder weniger konstant sind. Die Fracht $F(v_{SIH},t)$ des Spurenstoffs v_{SIH} in der Woche t ist definiert als das Produkt der Konzentration $c(v_{SIH},t)$ der Substanz v_{SIH} in der Wochenmischprobe t mal den mittleren Wochenabfluss $\bar{Q}(t)$ der betreffenden Woche (Gl. 7):

$$(Gl. 7) \quad F(v_{SIH},t) = c(v_{SIH},t) \cdot \bar{Q}(t); \quad t = 13, 14... 47$$

Um abzuschätzen, wie gross die Fracht $F(v_{SIH})$ des Spurenstoffs v_{SIH} ist, wurden die Frachten für alle Wochen t berechnet und der Mittelwert gebildet. Zusätzlich zum Mittelwert wurde noch die Standardabweichung ermittelt, um einen Eindruck davon zu erhalten, wie stark die Werte für die Frachten streuen.

Im Fall der Glatt ergibt sich eine Besonderheit dadurch, dass sie einem See – dem Greifensee – entspringt. Das Wasser der Glatt, das bei Rheinsfelden in den Rhein fliesst, besteht zu einem guten Teil aus Seewasser. Sind nun bereits im Seewasser Spurenstoffe gelöst, dann tragen diese je nachdem, wie gross ihre Konzentration im Seewasser ist, mehr oder weniger zur gesamten Fracht an Spurenstoffen der Glatt bei. Die Fracht $F_R(v_{SIH},t)$ eines Spurenstoffs v_{SIH} , die die Glatt bei Rheinsfelden in der Woche t mit sich führt, setzt sich also zusammen aus der Fracht $F_S(v_{SIH},t)$, die aus dem Greifensee stammt, und der Fracht $F_{ARA}(v_{SIH},t)$, die zwischen Greifensee und Rheinsfelden über die ARA in die Glatt eingetragen wird (Gl. 8):

$$(Gl. 8) \quad F_R(v_{SIH},t) = F_S(v_{SIH},t) + F_{ARA}(v_{SIH},t); \quad t = 13, 14... 47$$

Ersetzt man die Ausdrücke für die Frachten der Glatt bei Rheinsfelden und beim Abfluss See durch die Produkte der entsprechenden Konzentrationen und Abflüsse (s. Gl. 7), ergibt sich Gleichung 9:

$$(Gl. 9) \quad c_R(v_{SIH},t) \cdot \bar{Q}_R(t) = c_S(v_{SIH},t) \cdot \bar{Q}_S(t) + F_{ARA}(v_{SIH},t); \quad t = 13, 14... 47$$

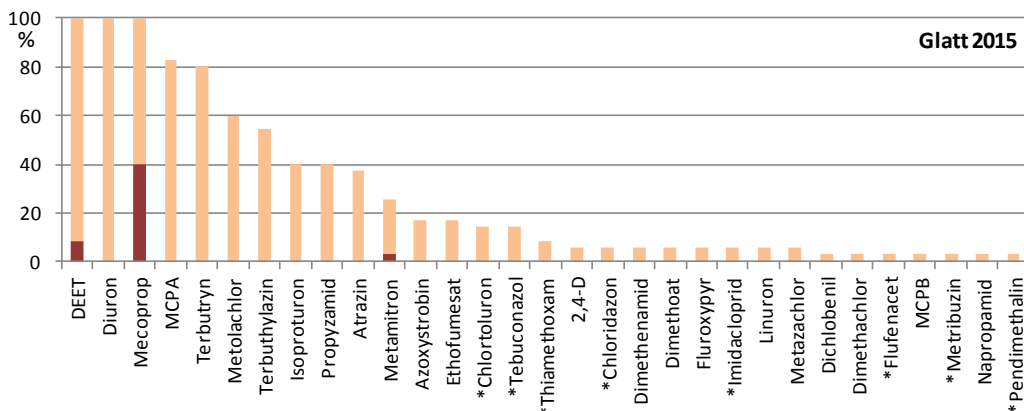
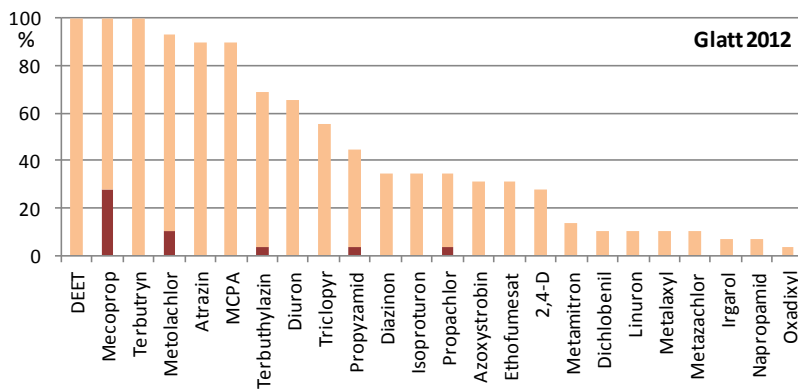
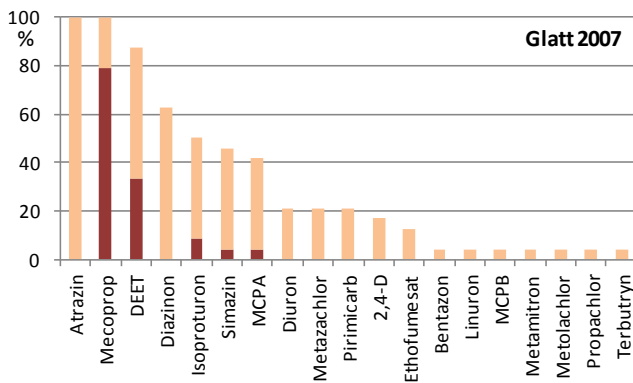
Wenn man annimmt, dass neben der Fracht $F_{ARA}(v_{SIH})$ auch die Konzentration $c_S(v_{SIH})$ des Spurenstoffs v_{SIH} im See während der ganzen Untersuchungsperiode konstant ist, kann man diese beiden Grössen über eine lineare Regression ermitteln: Trägt man für jede Woche t die Fracht $F_R(v_{SIH})$ einer Substanz v_{SIH} (linke Seite der *Gl. 11*) gegen den Abfluss der Glatt beim Verlassen des Greifensees \bar{Q}_S auf, so erhält man über die lineare Regression eine Gerade, deren Steigung der Konzentration $c_S(v_{SIH})$ des Spurenstoffs v_{SIH} im See und deren y -Achsenabschnitt der Fracht $F_{ARA}(v_{SIH})$ entspricht. Als Abfluss des Greifensees wurden im vorliegenden Bericht die Daten verwendet, die bei der Messstelle «Glatt-Dübendorf» erhoben wurden.

3 Resultate

3.1 Verteilung der Nachweise

3.1.1 Pestizide

Abbildung 3.1 zeigt für alle Messkampagnen bei den beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon», wie sich die Nachweise der Pestizide in Konzentrationen oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen und des Anforderungswerts der GSchV auf die einzelnen Verbindungen verteilen. Die Pestizide sind nach abnehmender Häufigkeit geordnet, mit der sie in den Wochenmischproben der jeweiligen Kampagne in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen nachgewiesen wurden.



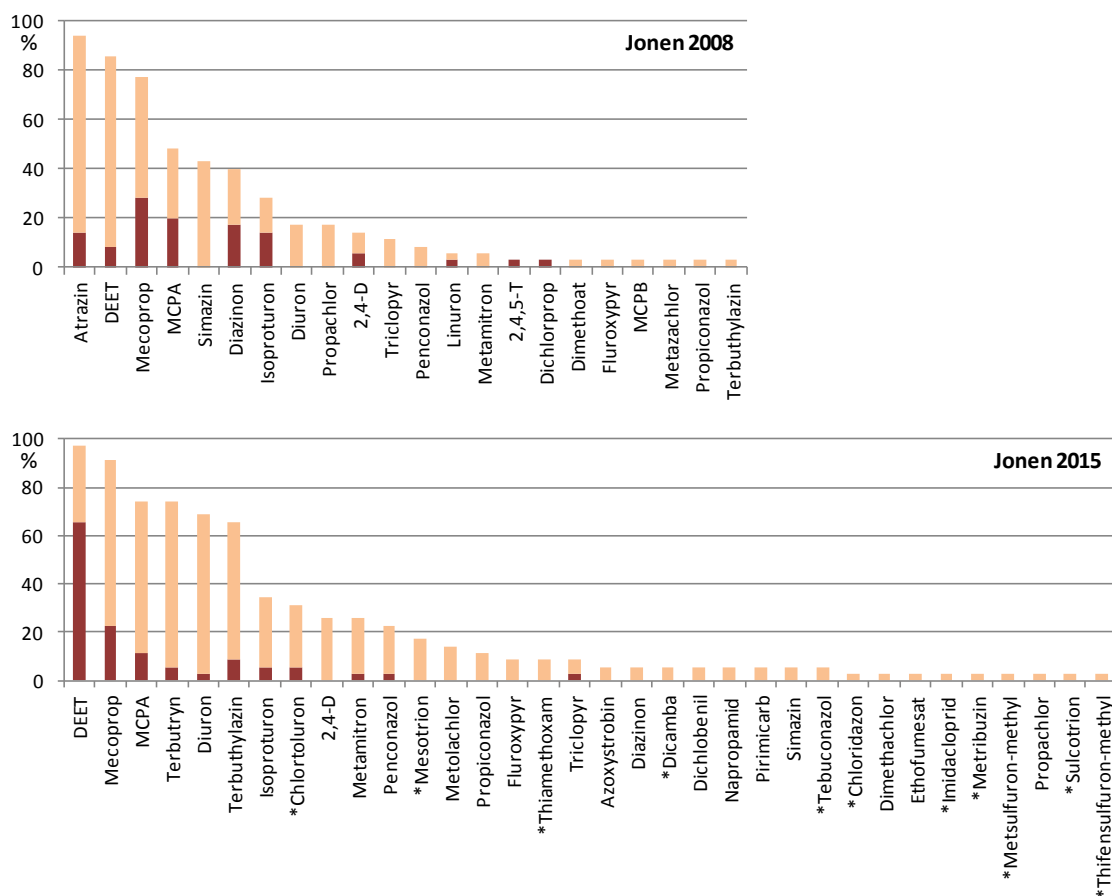


Abb. 3.1: Anteil der Wochenmischproben (in Prozent), in denen ein bestimmtes Pestizid in einer Konzentration oberhalb seiner Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens) und des Anforderungswerts der GSchV (dunkler Teil des Balkens) gefunden wurde. Die mit einem Stern bezeichneten Pestizide wurden im Jahr 2015 in Glatt und Jonen zum ersten Mal untersucht

Im Rahmen der Messkampagnen 2015 wurden also von den 83 Pestiziden, auf die hin man die Wochenmischproben untersuchte (s. Tab. 2.2), 43 in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen gefunden, davon 31 in der Glatt und 34 in der Jonen (s. Abb. 3.1). 22 Pestizide konnten in beiden fliessgewässern nachgewiesen werden, folglich 9 nur in der Glatt und 12 nur in der Jonen. Die restlichen 40 Pestizide traten in beiden Flüssen nie in Konzentrationen oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen auf (Tab. 3.1).

Nachweise 2015 in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen in...			
Glatt und Jonen (22)	nur Glatt (9)	nur Jonen (12)	keine Nachweise (40)
2,4-D, Azoxystrobin, Chloridazon, Chlortoluron, DEET, Dichlobenil, Dimethachlor, Diuron, Ethofumesat, Fluroxypyr, Imidacloprid, Isoproturon, MCPA, Mecoprop, Metamitron, Metolachlor, Metribuzin, Napropamid, Tebuconazol, Terbuthylazin, Terbutryn, Thiamethoxam	Atrazin, Dimethenamid, Dimethoat, Flufenacet, Linuron, MCPB, Metazachlor, Pendimethalin, Propyzamid	Diazinon, Dicamba, Mesotrion, Metsulfuron-methyl, Penconazol, Pirimicarb, Propachlor, Propiconazol, Simazin, Sulcotrion, Thifensulfuron-methyl, Triclopyr	2,4,5-T, 2,4-DB, Acclonifen, Alachlor, Ametryn, Bentazon, Bromacil, Carbendazim, Chlorbromuron, Chlorpyrifos, Cyanazin, Cyhalothrin, lambda, Cypermethrin, Cyproconazol, Cyprodinil, Dichlorprop, Endosulfan-methyl, Fenpropimorph, Hexazinon, Iodosulfuron-methyl, Irgarol, Malathion, Metalaxyl, Methabenzthiazuron, Methoxyfenoxid,

Nachweise 2015 in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen in... (Fortsetzung)			
Glatt und Jonen	nur Glatt	nur Jonen	keine Nachweise
			Metobromuron, Metoxuron, Monolinuron, Oxadixyl, Pencycuron, Permethrin, Prometon, Prometryn, Propazin, Pyraclostrobin, Sebuthylazin, Tebutam, Thiacloprid, Trifloxystrobin, Tritosulfuron

Tab. 3.1: Nachgewiesene Pestizide im Jahr 2015

In einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV fand man im Jahr 2015 in der Glatt 3 Pestizide, in der Jonen 11, wobei die 3 Pestizide, deren Konzentrationen in der Glatt den Anforderungswert überschritten – nämlich DEET, Mecoprop und Metamitron –, auch in der Jonen in hohen Konzentrationen auftraten (s. Abb. 3.1).

Im Jahr 2015 konnten in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt 8.6 Pestizide in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen und 0.5 Pestizide in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen werden (s. Abb. 3.1). In der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Jonen betrugen die entsprechenden Zahlen 7.5 und 1.4 Verbindungen (Abb. 3.2). Die Summe der Pestizidkonzentrationen in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt betrug 0.34 µg/l, diejenige in der durchschnittlichen Probe der Jonen 1.11 µg/l.

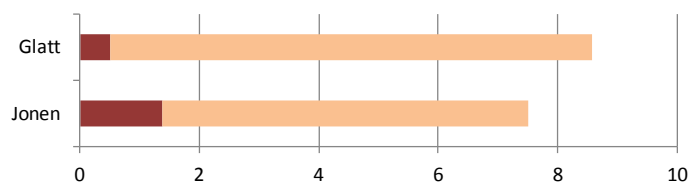


Abb. 3.2: Anzahl Pestizide, die in der durchschnittlichen Wochenmischprobe in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens) und des Anforderungswerts der GSchV (dunkler Teil des Balkens) gefunden wurde

3.1.2 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» und Abbauprodukte

Tabelle 3.2 listet für alle Kampagnen die Anteile der Wochenmischproben auf, in denen die Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» sowie die Abbauprodukte (s. Kap. 2.2.2) in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen gefunden wurden. Da die Anzahl der Wochenmischproben von Kampagne zu Kampagne variierte, sind die Anteile in Prozent angegeben. Bei den Abbauprodukten sind zudem die Durchschnittskonzentrationen der Verbindungen in denjenigen Proben angegeben, in denen sie in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen auftraten (in µg/l). Die Werte für Desethylatrazin in der ersten Spalte z.B. bedeuten, dass Desethylatrazin in der Kampagne 2007 in 100 Prozent der Wochenmischproben in einer Konzentration oberhalb seiner Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde, wobei die

Durchschnittskonzentration in diesen Proben 0.03 µg/l betrug. Ist ein Feld leer, wurde die Verbindung in der betreffenden Kampagne nicht gemessen; ein Strich bedeutet, dass keine Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze lag.

	Glatt % / [µg/l]			Jonen % / [µg/l]	
	2007	2012	2015	2008	2015
Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»					
Korrosionsinhibitoren					
Benzotriazol			100		100
Medikamente					
Carbamazepin			100		89
Clarithromycin			71.4		74
Diclofenac			100		100
Hydrochlorthiazid			100		97
Metoprolol			100		77
Sulfamethoxazol			100		86
Abbauprodukte					
2,6-Dichlorbenzamid	88 / 0.05	97 / 0.04	100 / 0.03	97 / 0.07	100 / 0.03
Desethylatrazin	100 / 0.03	100 / 0.02	66 / 0.01	80 / 0.05	6 / 0.01
Desethylterbuthylazin			43 / 0.02		20 / 0.03
Desisopropylatrazin	17/0.01	3/0.02	-	34/0.02	-
Dimethenamid-ESA			-		-
Metazachlor-ESA			23/0.01		3/0.01
Metolachlor-ESA			100/0.07		100/0.04
Metolachlor-OXA			57/0.02		20/0.03
N-Acetyl-Sulfamthoxazol			-		57/0.07
Propachlor-ESA			-		-

Tab. 3.2: Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen die Verbindungen, die zu den Spurenstoffen «Industrie & Haushalt» sowie zu den Abbauprodukten gehören, in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden wurden (erster Wert), und Durchschnittskonzentrationen in diesen Proben (zweiter Wert; in µg/l)

3.2 Maximale Konzentrationen

Tabelle 3.3 listet die maximalen Konzentrationen auf, die in den Wochenmischproben der fünf Kampagnen gefunden wurden. Ist ein Feld leer, wurde die Verbindung in der betreffenden Kampagne nicht gemessen; ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Liegt bei einem Pestizid der Wert oberhalb des Anforderungswerts der GSchV von 0.1 µg/l, so ist er farbig hinterlegt. Innerhalb der drei Gruppen Pestizide, Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» sowie Abbauprodukte sind die Verbindungen alphabetisch geordnet. Es sind nur diejenigen Verbindungen aufgeführt, die in mindestens einer der Kampagnen mindestens einmal in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen nachgewiesen wurden.

	Glatt [µg/l]			Jonen [µg/l]	
	2007	2012	2015	2008	2015
Pestizide					
2,4,5-T	-		-	0.498	-
2,4-D	0.043	0.040	0.015	0.339	0.050
Atrazin	0.080	0.026	0.015	0.665	-
Azoxystrobin		0.063	0.024		0.017
Bentazon	0.025	-	-	-	-
Chloridazon			0.040		0.014
Chlortoluron			0.029		0.458
DEET	0.836	0.074	0.696	0.139	7.920
Diazinon	0.070	0.036	-	0.432	0.029
Dicamba			-		0.066
Dichlobenil	-	0.013	0.012	-	0.022
Dichlorprop	-		-	1.97	-
Dimethachlor	-	-	0.024	-	0.020
Dimethenamid	-	-	0.024	-	-
Dimethoat	-	-	0.021	0.045	-
Diuron	0.045	0.029	0.050	0.056	0.124
Ethofumesat	0.033	0.048	0.029	-	0.031
Flufenacet			0.023		-
Fluroxypyr	-	-	0.013	0.039	0.083
Imidacloprid			0.013		0.032
Irgarol 1051	-	0.073	-	-	-
Isoproturon	0.150	0.040	0.062	0.749	0.206
Linuron	0.080	0.016	0.013	0.163	-
MCPA	0.113	0.030	0.031	2.268	0.196
MCPB	0.026	-	0.031	0.031	-
Mecoprop	0.998	0.446	0.594	0.959	0.583
Mesotrion			-		0.092
Metalaxyl	-	0.016	-	-	-
Metamitron	0.072	0.094	0.106	0.070	0.276
Metazachlor	0.016	0.089	0.025	0.012	-
Metolachlor	0.012	0.135	0.068	-	0.027
Metribuzin			0.013		0.014
Metsulfuron-methyl			-		0.013
Napropamid		0.063	0.016		0.025
Oxadixyl	-	0.020	-	-	-
Penconazol	-	-	-	0.021	0.135
Pendimethalin			0.015		-
Pirimicarb	0.022	-	-	-	0.014
Propachlor	0.045	0.237	-	0.072	0.011
Propiconazol	-	-	-	0.011	0.052
Propyzamid		0.170	0.050		-
Simazin	0.150	-	-	0.054	0.027
Sulcotrion			-		0.011
Tebuconazol			0.061		0.014
Terbuthylazin	-	0.132	0.040	0.019	0.173
Terbutryn	0.022	0.026	0.048	-	0.202
Thiamethoxam			0.012		0.019
Thifensulfuron-methyl			-		0.031

	Glatt [$\mu\text{g/l}$]			Jonen [$\mu\text{g/l}$]	
	2007	2012	2015	2008	2015
Pestizide (Fortsetzung)					
Triclopyr	-	0.036	-	0.059	0.218
Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»					
Benzotriazol			1.700		3.260
Carbamazepin			0.087		0.257
Clarythromycin			0.040		0.328
Diclofenac			0.412		1.110
Hydrochlorthiazid			0.246		0.590
Metoprolol			0.113		0.310
Sulfamethoxazol			0.086		0.212
Abbauprodukte					
2,6-Dichlorbenz.	0.103	0.069	0.036	0.157	0.048
Desethylatrazin	0.058	0.039	0.017	0.137	0.011
Desethylterbuthylazin			0.045		0.070
Desisopropylatrazin	0.014	0.015	-	0.040	-
Metazachlor-ESA			0.022		0.010
Metolachlor -ESA			0.136		0.163
Metolachlor -OXA			0.045		0.096
N-Acetyl-Sulfamethoxazol			-		0.157
Anzahl nachgewiesener Verbindungen oberhalb Bestimmungsgrenze			44		48
Anzahl nachgewiesener Pestizide oberhalb...					
• Bestimmungsgrenze			31		34
• AF GSchV			3		11

Tab. 3.3: Maximale Konzentration, die für jede Verbindung in den jeweiligen Messkampagnen gemessen wurde

3.3 Ermittlung der Frachten der Spurenstoffe «Industrie und Haushalt» im Jahr 2015

3.3.1 Glatt

Falls der Eintrag eines Spurenstoffs «Industrie & Haushalt» über die ARA in die Glatt und seine Konzentration im Wasser des Greifensees konstant sind, besteht zwischen der Fracht dieses Stoffs bei Rheinsfelden und dem Abfluss der Glatt beim Verlassen des Greifensees eine lineare Beziehung (s. Kap. 2.3.2). Zur Überprüfung der Annahme sind in Abbildung 3.3 die Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» bei Rheinsfelden gegen den Seeabfluss aufgetragen. Die Gerade, die mittels linearer Regression in die Punktwolke eingepasst werden kann, weist eine Steigung auf, die der Konzentration des Spurenstoffs im Seewasser entspricht, und einen y-Achsenabschnitt, der gleich der Fracht ist, die über die ARA im Glatttal in die Glatt gelangt (Tab. 3.4). Für die lineare Regression wurden die mit einem roten Kreis markierten «Ausreisser» sowie die Punkte beim Clarithromycin, die einer Fracht von 0 mg/s entsprechen (d.h., die Konzentration der Substanz lag bei Rheinsfelden unterhalb der Bestimmungsgrenze), nicht berücksichtigt.

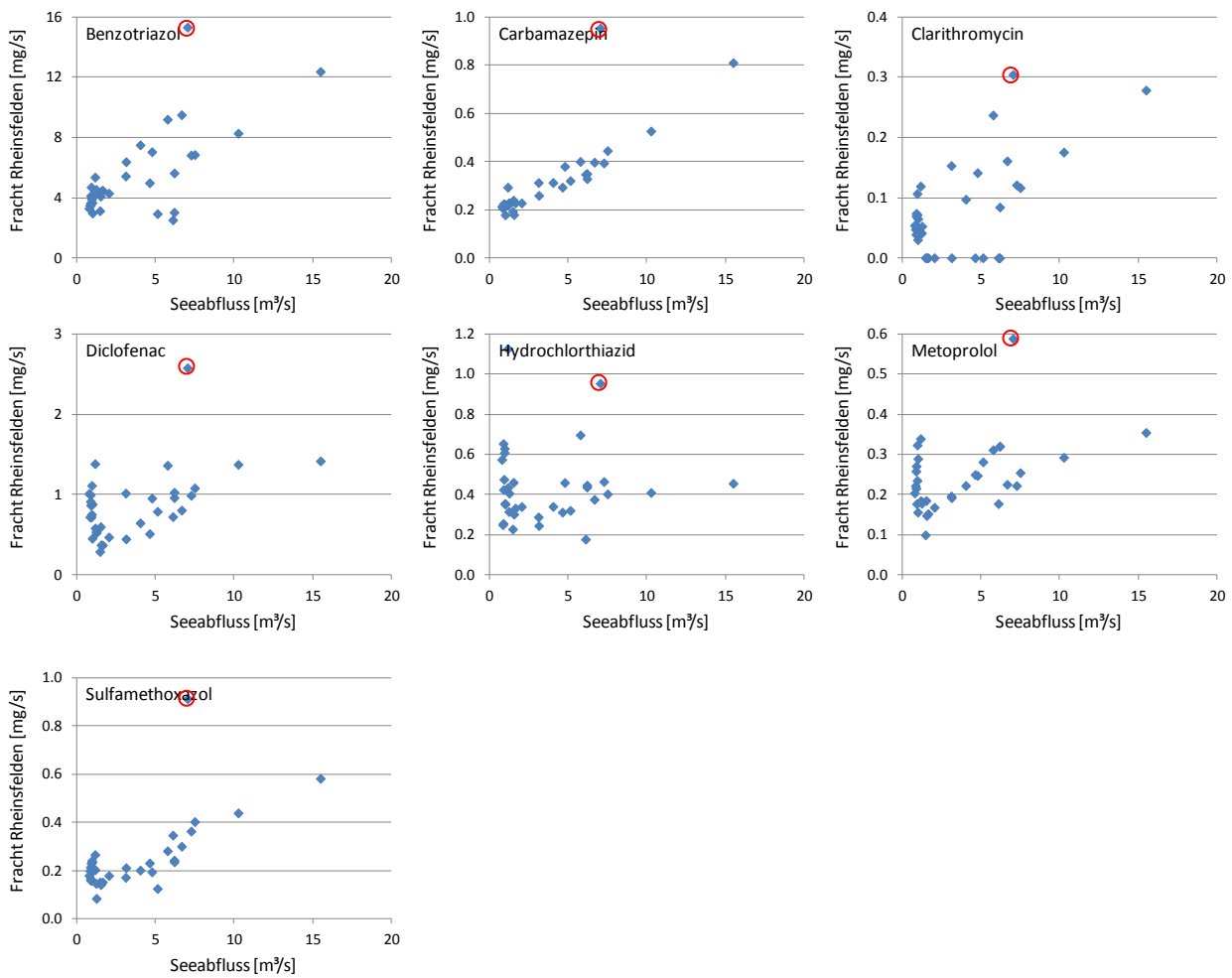


Abb. 3.3: Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» bei Rheinfelden vs. Abfluss der Glatt beim Verlassen des Greifensees

Glatt 2015			
	Fracht ARA [µg/s]	Fracht ARA [g/W]	Konzentration Abfluss Greifensee [µg/l]
Benzotriazol	3400	2056	0.499
Carbamazepin	171	103	0.036
Clarithromycin	52	31	0.014
Diclofenac	645	390	0.049
Hydrochlorthiazid	435	263	-0.004
Metoprolol	199	120	0.009
Sulfamethoxazol	140	85	0.026

Tab. 3.4: Frachten ARA im Glatttal (in µg/s und g/Woche) und Konzentrationen der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» im Abfluss Greifensee

3.3.2 Jonen

Im Fall der Jonen kann zwischen der Konzentration eines Spurenstoffs «Industrie & Haushalt» und dem Kehrwert des Abflusses der Jonen eine lineare Beziehung hergeleitet werden (s. Kap. 2.3.2). In den Grafiken der Abbildung 3.4 sind die Beziehungen der beiden Grössen zueinander grafisch dargestellt.

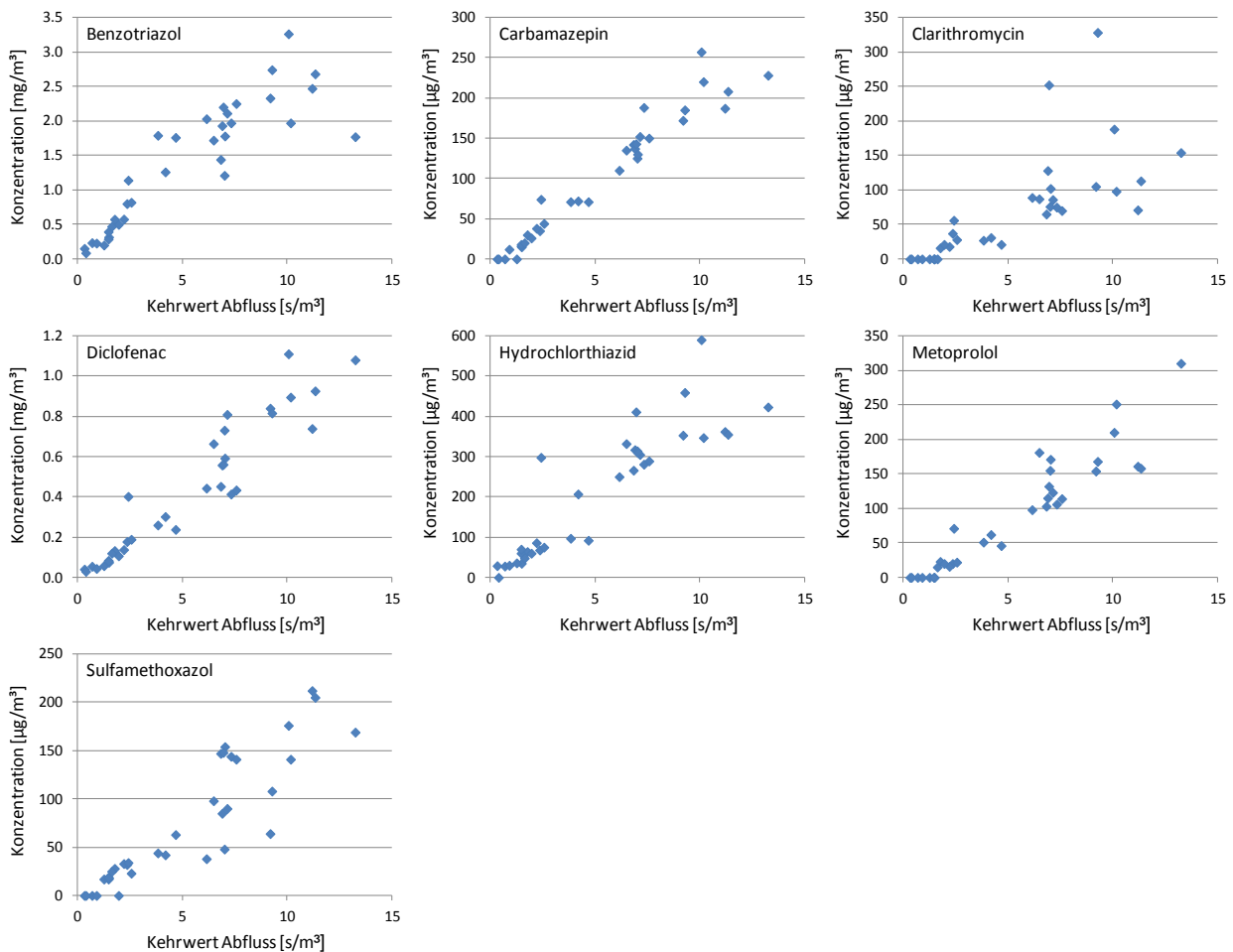


Abb. 3.4: Konzentrationen der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» vs. Kehrwert des Abflusses der Jonen

Um abzuschätzen, wie gross die Fracht $F(v_{SIH})$ eines Spurenstoffs v_{SIH} ist, wurden die Frachten des Stoffs für alle Wochen t berechnet (s. Kap. 2.3.2) und der Mittelwert gebildet. Zusätzlich zum Mittelwert wurde die Standardabweichung ermittelt, um einen Eindruck davon zu erhalten, wie stark die Werte für die Frachten streuen. Tabelle 3.5 listet die Mittelwerte (Fracht ARA) und Standardabweichungen auf. Für die Auswertung wurden die Punkte, die einer Konzentration von $0 \mu\text{g/l}$ entsprechen (d.h., die Konzentration der Substanz lag unterhalb der Bestimmungsgrenze), nicht berücksichtigt.

Jonen 2015				
	Fracht ARA [µg/s]	Fracht ARA [g/W]	Standardab- weichung [µg/s]	Standardab- weichung [g/W]
Benzotriazol	281.7	170.3	78.5	47.5
Carbamazepin	18.1	10.9	4.3	2.6
Clarithromycin	13.4	8.1	7.6	4.6
Diclofenac	78.0	47.2	24.2	14.6
Hydrochlorthiazid	42.1	25.5	18.8	11.4
Metoprolol	16.4	9.9	5.9	3.6
Sulfamethoxazol	14.1	8.5	4.2	2.5

Tab. 3.5: Frachten ARA der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen (in µg/s und g/Woche)

Abbildung 3.5 zeigt in Form von Kastengrafiken⁹, wie stark die Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen variierten, wenn man sie aufgrund der Konzentrationen in den einzelnen Mischproben für jede Woche berechnete (s. Kap. 2.3.2). Die drei Grafiken unterscheiden sich lediglich in der Skalierung der y-Achse. Die Messungen, bei denen die Konzentrationen der Spurenstoffe unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurden wiederum nicht berücksichtigt.

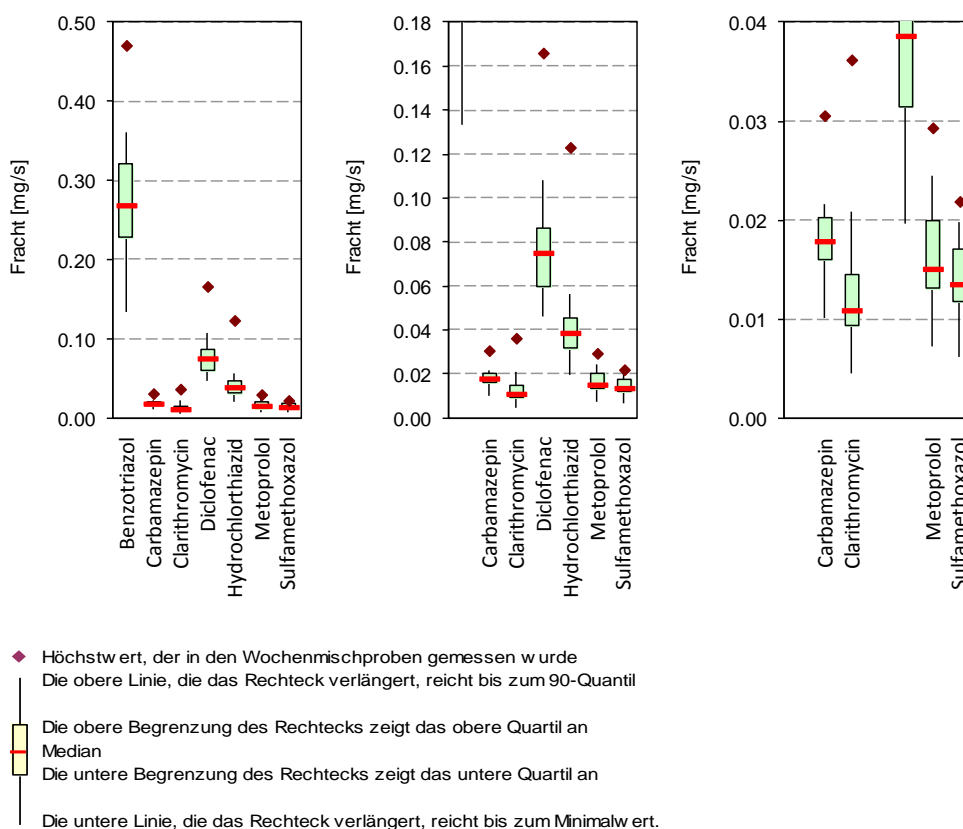


Abb. 3.5: Variation der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen

⁹ 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.

3.4 Qualität des Wassers

3.4.1 Auswertung mittels Belastungsindex

Tabelle 3.6 zeigt für alle Messkampagnen bei den beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» die Wasserqualität, wie sie mit Hilfe des Belastungsindex ermittelt wurde (s. Kap. 2.3.1).¹⁰

	Glatt			Jonen	
	2007	2012	2015	2008	2015
BI	1.3	0.47	0.51	1.2	1.4

Tab. 3.6: Wasserqualität, ermittelt mit Hilfe des Belastungsindex

3.4.2 Auswertung mittels Qualitätskriterien

Tabelle 3.7 zeigt für alle Messkampagnen 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.

	Glatt			Jonen	
	2007	2012	2015	2008	2015
Herbizide	1.1	2.1	1.3	3.0	3.6
	Diuron (50%); Metazachlor (36%)	Metazachlor (69%); Diuron (21%)	Diuron (85%)	Diuron (40%); MCPA (26%); 2,4-D (20%)	Diuron (82%)
Insektizide	4.7	2.4	0.4	28.8	1.9
	Diazinon (100%)	Diazinon (100%)	Imidacloprid (100%)	Diazinon (100%)	Diazinon (100%)
Fungizide	0.0	0.07	0.05	0.01	0.04
		Azoxystrobin (100%)	Azoxystrobin (70%); Tebuconazol (30%)	Propiconazol (100%)	Propiconazol (91%)
Primärproduzenten	1.1	12.4	1.5	3.0	3.6
	vgl. Herbizide	Irgarol (97%)	vgl. Herbizide	vgl. Herbizide	vgl. Herbizide
Invertebraten	4.7	2.5	0.4	28.8	2.0
	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide	vgl. Insektizide
Vertebraten			3.9		9.8
			Diclofenac (99%)		Diclofenac (100%)
Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»			4.3		12.1
			Diclofenac (91%)		Diclofenac (79%)

Tab. 3.7: Wasserqualität, ermittelt mittels Qualitätskriterien

¹⁰ Die Unterschiede zu den Resultaten, die in früheren Berichten publiziert wurden, kommen dadurch zustande, dass in der vorliegenden Auswertung für die Beurteilung der Wasserqualität nur die Pestizide berücksichtigt wurden.

Tabelle 3.8 listet für alle Messkampagnen an den beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» diejenigen Verbindungen v auf, deren $RQ_{max}(v)$ grösser gleich 1 war (s. Kap. 2.3.1).

	Glatt			Jonen	
	2007	2012	2015	2008	2015
$1 \leq RQ < 2$		Metazachlor 1.5	Diuron 1.1	Diuron 1.2	Terbutryn 1.0 Diazinon 1.9
$2 \leq RQ < 10$	Diazinon 4.7	Diazinon 2.4	Diclofenac 3.9		Clarithromycin 3.0 Diuron 3.0 Diclofenac 9.8
$10 \leq RQ$		Irgarol 12.0		Diazinon 28.8	
Anz. Verb.	1	3	2	2	5

Tab. 3.8: Verbindungen mit einem Risikoquotienten $RQ_{max}(v)$ grösser gleich 1

3.5 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden im Jahr 2015

Auf der nächsten Seite zeigt Abbildung 3.6 die Anzahl der Pestizidnachweise in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und des Anforderungswerts der GSchV im Verlauf der Untersuchungsperiode, Abbildung 3.7 die Summen der Konzentrationen der Pestizide. DEET wurde in beiden Abbildungen nicht berücksichtigt, da diese Verbindung erstens nicht zu den Wirkstoffen gehört, die in Pflanzenschutzmitteln eingesetzt werden, und zweitens in beiden Fließgewässern häufig und in zum Teil sehr hohen Konzentrationen auftrat. Da die Darstellung der jahreszeitlichen Belastung mit Pestiziden vornehmlich dazu dient, den Einfluss der Landwirtschaft auf die Qualität der Gewässer aufzuzeigen, hätte DEET das Bild verzerrt.

Ohne DEET sind in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt im Jahr 2015 7.6 Pestizide in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und 0.4 in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden worden. Für die Jonen betragen die entsprechenden Zahlen 6.5 bzw. 0.7. Die durchschnittliche Konzentration an Pestiziden betrug in den Wochenmischproben der Glatt 0.26 µg/l, in der Jonen 0.33 µg/l.

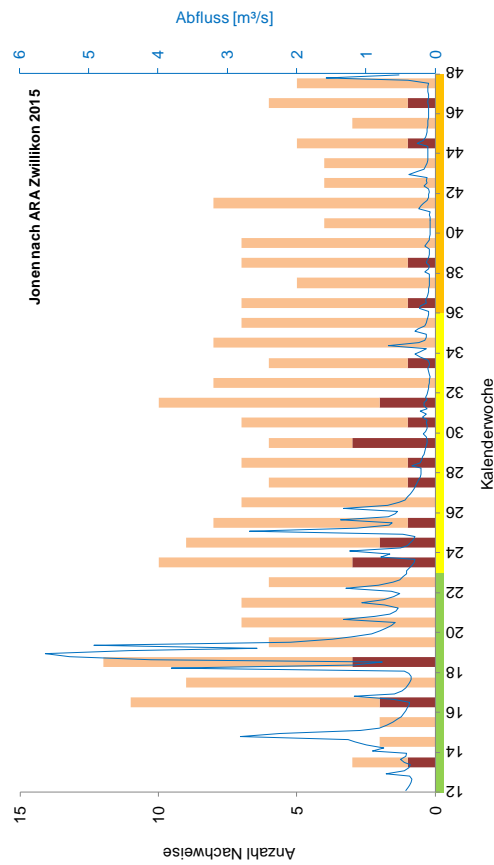
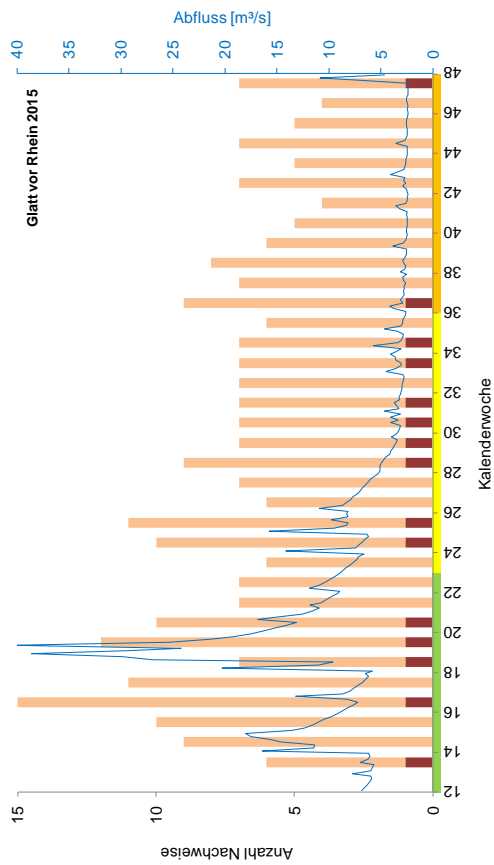
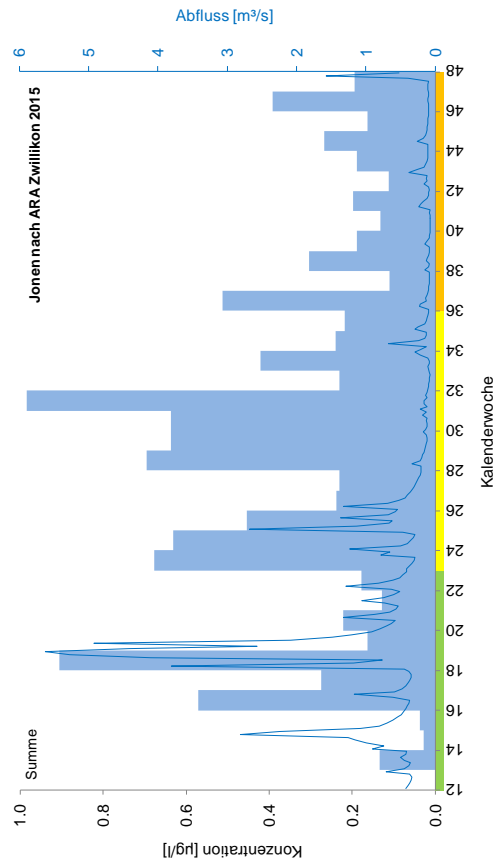
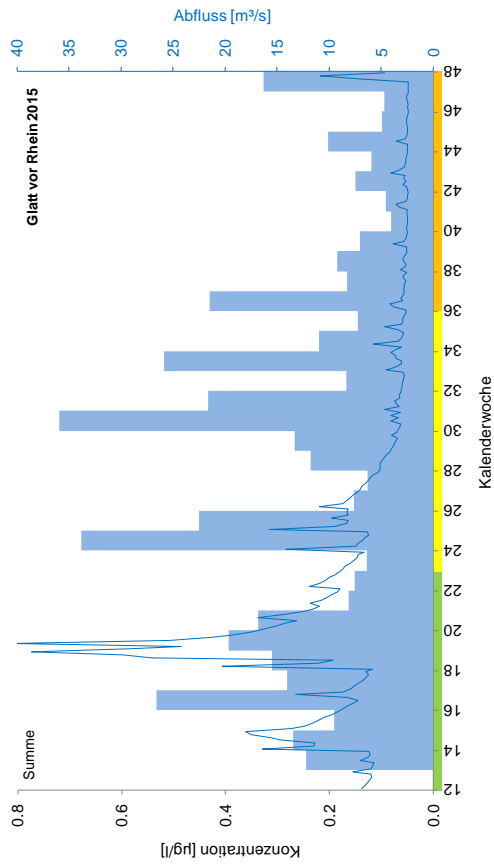


Abb. 3.6: Jahreszeitlicher Verlauf der Anzahl Nachweise der Pestizide oberhalb der Bestimmungsgrenze (gesamte Länge des Balkens) und Anforderungswert der GSchV (dunkler Teil des Balkens)

Abb. 3.7: Summe der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben

4 Diskussion

4.1 Überblick über die Nachweise im Jahr 2015

Im Jahr 2015 wurden in den Wochenmischproben, die an den beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» erhoben wurden, von den 100 Verbindungen, auf die hin die Proben untersucht wurden (*s. Kap. 2.2.2*), 57 in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen nachgewiesen (*s. Tab. 3.3*). Davon gehörten 25 zu den 48 Verbindungen, die im Jahr 2015 zum ersten Mal untersucht wurden; von den 34 Pestiziden, die man zum ersten Mal analysierte, wurden 13 in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen gefunden. Tabelle 4.1 zeigt, wie sich die 57 nachgewiesenen Verbindungen auf die verschiedenen Gruppen von Verbindungen verteilen. Die Zahlen in Klammern geben an, um welchen Prozentsatz der Vertreter der entsprechenden Gruppe es sich dabei handelt.

83 Pestizide	7 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»		10 Abbauprodukte
	6 Medikamente	1 Korrosionsinhibitor	
43 (52%)	6 (100%)	1 (100%)	7 (70%)

Tab. 4.1: Nachgewiesene Verbindungen im Jahr 2015

Von den Spurenstoffen «Industrie & Haushalt» wurden alle Vertreter in Konzentrationen oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen gefunden, von den Pestiziden nur gut die Hälfte und von den Abbauprodukten sieben von zehn.

4.2 Pestizide

4.2.1 Nachweise oberhalb Bestimmungsgrenze und Anforderungswert GSchV

Tabelle 4.2 zeigt für alle Kampagnen an den beiden Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon», welche Pestizide...

- in 80 Prozent und mehr der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenzen;
- in 20 Prozent und mehr der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV;
- in der Hälfte und mehr der Proben, in denen sie gefunden wurden, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV

nachgewiesen wurden (*s. Abb. 3.1*).

	Glatt			Jonen	
	2007	2012	2015	2008	2015
Pestizide, die in 80 Prozent und mehr der Proben in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen nachgewiesen wurden.	Atrazin Mecoprop DEET	Atrazin DEET MCPA Mecoprop Metolachlor Terbutryn	DEET Diuron MCPA Mecoprop Terbutryn	Atrazin DEET	DEET Mecoprop
Pestizide, die in 20 Prozent und mehr der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen wurden.	Mecoprop DEET	Mecoprop	Mecoprop	MCPA Mecoprop	DEET Mecoprop
Pestizide, die in der Hälfte und mehr der Proben, in denen sie nachgewiesen werden konnten, in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV vorlagen.	Mecoprop	-	-	2,4,5-T Dichlorprop Linuron Isoproturon	DEET

Tab. 4.2: Spitzenreiter bei der Anzahl Nachweise in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenzen und des Anforderungswerts der GSchV

Es fällt auf, dass Atrazin im Jahr 2015 nicht mehr zu den Verbindungen gehört, die häufig in einer Konzentration oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen gefunden werden. In der Jonen konnte das Herbizid, dessen Verwendung seit Juni 2011 verboten ist, überhaupt nicht mehr nachgewiesen werden. Ebenso bemerkenswert sind DEET und Mecoprop: beide Verbindungen treten nicht nur häufig in Konzentrationen oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen auf, sondern auch noch häufig in Konzentrationen, die den Anforderungswert der GSchV überschreiten.

4.2.2 Maximale Konzentrationen

Tabelle 4.3 zeigt für Glatt und Jonen die zehn Pestizide, die im Rahmen der drei bzw. zwei Messkampagnen in den höchsten Konzentrationen gemessen wurden (s. Tab. 3.3):

Glatt [µg/l]			Jonen [µg/l]	
2007	2012	2015	2008	2015
0.998 Mecoprop	0.446 Mecoprop	0.696 DEET	2.268 MCPA	7.920 DEET
0.836 DEET	0.237 Propachlor	0.594 Mecoprop	1.970 Dichlorprop	0.583 Mecoprop
0.150 Isoproturon	0.170 Propyzamid	0.106 Metamitron	0.959 Mecoprop	0.458 Chlortoluron
0.150 Simazin	0.135 Metolachlor	0.068 Metolachlor	0.749 Isoproturon	0.276 Metamitron
0.113 MCPA	0.132 Terbutylazin	0.062 Isoproturon	0.665 Atrazin	0.218 Triclopyr
0.080 Atrazin	0.094 Metamitron	0.061 Tebuconazol	0.498 2,4,5-T	0.206 Isoproturon
0.080 Linuron	0.089 Metazachlor	0.050 Diuron	0.432 Diazinon	0.202 Terbutryn
0.072 Metamitron	0.074 DEET	0.050 Propyzamid	0.339 2,4-D	0.196 MCPA
0.070 Diazinon	0.073 Irgarol 1051	0.048 Terbutryn	0.163 Linuron	0.173 Terbutylazin
0.045 Diuron	0.063 Azoxystrobin	0.040 Chloridazon	0.139 DEET	0.135 Penconazol

Tab. 4.3: Spitzenreiter bei den maximal gemessenen Konzentrationen. Tritt im Jahr 2015 eine Verbindung sowohl in der Liste für die Glatt als auch für die Jonen auf, ist sie grau hinterlegt

In dieser Tabelle sticht der Wert für DEET ins Auge, das im Jahr 2015 in der Jonen mit einer sehr hohen Konzentration von 7.92 µg/l gemessen wurde. Weiter fällt auf,

dass fünf der zehn Pestizide, die im Jahr 2015 in den höchsten Konzentrationen gefunden wurden, sowohl in der Liste der Glatt als auch in derjenigen der Jonen vertreten sind. Es handelt sich dabei um DEET, Isoproturon, Mecoprop, Metamitron und Terbutryn.

4.2.3 Vergleich der Jonen mit der Glatt

Vergleicht man die Resultate für die Glatt und die Jonen im Jahr 2015, so lässt sich folgendes zusammenfassen:

- In der Jonen lassen sich in etwa gleich viele Pestizide in Konzentrationen oberhalb ihrer Bestimmungsgrenzen nachweisen wie in der Glatt. Aber sowohl die Glatt als auch die Jonen führen eine beträchtliche Anzahl von Pestiziden mit sich, die sich entweder nur in der Glatt oder nur in der Jonen nachweisen lassen (*s. Abb. 3.1 und Tab. 3.1*).
- Die durchschnittliche Wochenmischprobe der Glatt enthält mehr Pestizide in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und weniger Pestizide in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV als die durchschnittliche Wochenmischprobe der Jonen (*s. Abb. 3.2*). Die Summe der Pestizidkonzentrationen in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt entspricht nur rund einem Drittel der Summe der Konzentrationen in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Jonen.
- Die Maximalkonzentrationen in den Wochenmischproben der Jonen sind wesentlich höher als diejenigen in den Proben der Glatt (*s. Tab. 4.3*).
- In der Jonen treten wesentlich mehr Pestizide in Konzentrationen oberhalb des Anforderungswerts der GSchV auf als in der Glatt (*s. Abb. 3.1*).
- In der Glatt lassen sich mehr Pestizide in 80 Prozent und mehr der Proben nachweisen als in der Jonen. In der Jonen findet man dafür zwei Pestizide (DEET und Mecoprop), die in 20 Prozent und mehr der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurden, verglichen mit nur einem Pestizid (Mecoprop) in der Glatt (*s. Tab. 4.2*).

Diese Beobachtungen lassen sich folgendermassen erklären:

- Beide Einzugsgebiete sind genügend gross, damit im Wasser von jedem der jeweiligen Flüsse, die sie verlassen, rund 30 Pestizide nachgewiesen werden können. Rund zwei Drittel davon werden in beiden Flüssen gefunden, rund ein Drittel kommt entweder nur in der Glatt oder nur in der Jonen vor.
- In der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Glatt konnten zwar mehr Verbindungen in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze als in der Jonen gefunden werden, aber weniger Verbindungen in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV. Auch die Summe

der Konzentrationen in der durchschnittlichen Probe und die Maximalkonzentrationen waren in der Glatt kleiner als in der Jonen. Diese Unterschiede lassen sich dadurch erklären, dass Einzugsgebiet und Abfluss der Glatt rund zehnmal grösser sind als diejenige der Jonen. Die Glatt sammelt also die Pestizide aus einem viel grösseren Gebiet als die Jonen. Gleichzeitig verdünnt die Glatt die Pestizide, da nicht alle Zuflüsse in gleichem Masse belastet sind. Deshalb sind in ihrem Wasser mehr Pestizide nachweisbar als in der Jonen, aber in tieferen Konzentrationen. Pfäffiker- und Greifensee, die im Einzugsgebiet der Glatt liegen, tragen wahrscheinlich ebenfalls zur Verdünnung bei, da die Pestizide im See u.U. eliminiert werden. Die hohen Konzentrationen findet man in der Jonen, wo die Pestizidstösse weniger verdünnt werden; dafür ist in der Jonen nicht die ganze Palette an Schadstoffen nachweisbar, sondern nur die Pestizide, die in ihrem (kleineren) Einzugsgebiet verwendet werden.

4.2.4 Ausgewählte Pestizide

DEET

In der Jonen wurden im Jahr 2015 vier ausgeprägte Stösse an DEET registriert (Abb. 4.2). Die höchste Konzentration wurde mit 7.92 µg/l in der Mischprobe der Woche 37 erreicht. In der Glatt trat lediglich in der Woche 29 ein moderater Stoss auf, wobei die Konzentration an DEET 0.696 µg/l betrug.

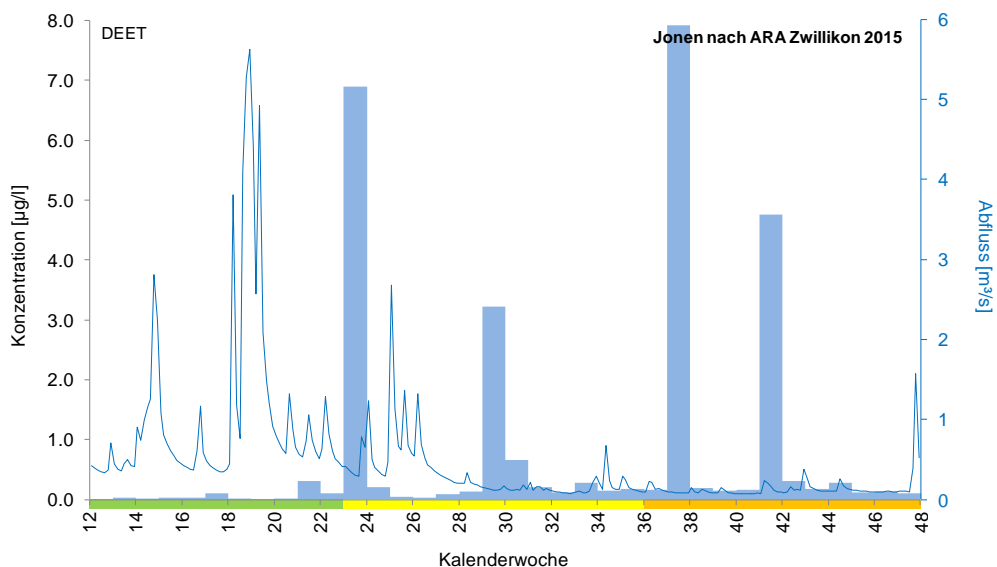


Abb. 4.2: DEET in der Jonen 2015

DEET ist ein Pestizid aus der Gruppe der Repellents mit abweisenden Eigenschaften gegen blutsaugende Mücken, Fliegen, Flöhe und Zecken. Der Wirkstoff wird nur in Biozidprodukten eingesetzt. Im Rahmen des EU-Prüfprogramms von Biozid-Altstoffen wird DEET für die Verwendung in den Produktarten 19 (Repellentien und Lockmittel) und 22 (Flüssigkeiten zur Einbalsamierung und Taxidermie) evaluiert.

Atrazin und Terbutylazin

Atrazin wurde in der Glatt noch in 37 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden, wobei allerdings die maximale Konzentration mit 0.015 µg/l tief lag. Die Tendenz der Anzahl Proben, in denen Atrazin nachgewiesen werden kann, ist aber klar sinkend, und zwar von 100 Prozent im Jahr 2007 über 90 Prozent im Jahr 2012. Ebenso klar stieg der Anteil der Proben, die Terbutylazin enthielten. Während dieses Pestizid im Jahr 2007 nicht gefunden wurde, konnte es in den Jahren 2012 und 2015 in ungefähr 70 bzw. 55 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

In der Jonen konnte Atrazin im Jahr 2015 nicht mehr nachgewiesen werden, während es im Jahr 2008 noch in 94 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und in 14 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV gefunden wurde. Genau gegenläufig verliefen die Nachweise von Terbutylazin: Im Jahr 2008 trat dieses Pestizid nur in einer Wochenmischprobe auf, und zwar in einer Konzentration von 0.02 µg/l, im Jahr 2015 wurde es in 66 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze und in 9 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen.

Wie schon in früheren Berichten [6-9] festgehalten wurde, nimmt seit Ablauf der Frist für die Verwendung von Atrazin Ende Juni 2011 die Häufigkeit ab, mit der es in Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze und insbesondere oberhalb des Anforderungswerts der GSchV nachgewiesen werden kann. Im selben Masse, wie die Anzahl Nachweise und die Konzentrationen für Atrazin sinken, steigen sie aber für Terbutylazin. Dieser Wirkstoff tritt vermutlich darum häufiger und in höheren Konzentrationen auf, weil er ein Ersatz für Atrazin ist. 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*).

Diazinon

Diazinon wurde am 15. Mai 2011 aus dem Anhang der zugelassenen Wirkstoffe gestrichen, die Aufbrauchsfrist für diazinonhaltige Pflanzenschutzmittel lief bis zum 15. Mai 2013. Es kann allerdings nach wie vor in Tierarzneimitteln verwendet werden. Diazinon konnte im Jahr 2015 in den Wochenmischproben der Glatt nicht mehr nachgewiesen werden, in den Proben der Jonen fand man es noch zweimal, wobei die Konzentrationen mit 0.013 und 0.029 µg/l tief lagen.

Propachlor

Die Aufbrauchfrist von Propachlor lief am 15. Mai 2013 ab. In den Wochenmischproben der Glatt konnte dieses Herbizid nicht mehr nachgewiesen werden, in den Proben der Jonen noch einmal mit einer Konzentration von 0.011 µg/l.

Simazin

Simazin konnte in den Wochenmischproben der Glatt nicht mehr nachgewiesen werden, in den Wochenmischproben der Jonen trat es noch zwei Mal hintereinander in den Proben vom 14. und 21. September mit Konzentrationen von 0.027 µg/l bzw. 0.017 µg/l auf. 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 in der Glatt auch im Jahr 2015 in 80 Prozent der Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden; der Anforderungswert der GSchV wurde allerdings nie überschritten. In der Jonen konnte man Terbutryn in 74 Prozent der Proben nachweisen, wobei der Anforderungswert zweimal überschritten wurde; die maximale Konzentration betrug 0.202 µg/l.

4.3 Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»

4.3.1 Häufigkeit der Nachweise

Die Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» konnten sowohl in der Glatt als auch in der Jonen in praktisch allen Wochenmischproben nachgewiesen werden (s. Tab. 3.2). In den Wochenmischproben der Jonen lagen die Konzentrationen vor allem bei hohen Abflüssen (d.h. tiefen Kehrwerten) unterhalb der Bestimmungsgrenze, wenn nämlich der Eintrag durch die ARA entsprechend stark verdünnt wurde (s. Abb. 3.5).

4.3.2 Frachten

In Tabelle 4.4 sind die Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in Glatt und Jonen zusammengestellt (s. Tab. 3.4 und 3.5). Bei der Fracht der Glatt handelt es sich lediglich um den Anteil, den die ARA im Glatttal beisteuern; der Anteil aus dem See wird nicht berücksichtigt. In der letzten Spalte ist angegeben, wieviel Mal grösser die Fracht der Spurenstoffe war, die über die ARA im Glatttal in die Glatt gelangten, als die Fracht der Spurenstoffe in der Jonen. Man stellt fest, dass der Fak-

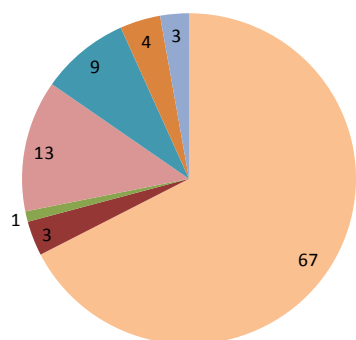
tor – ausser bei Clarithromycin – zwischen 8 und 12 liegt. Die Fracht an Clarithromycin ist in der Glatt nur viermal grösser als in der Jonen. Der Abwasseranteil der Glatt liegt mit 30 bis 50 Prozent tiefer als derjenige der Jonen, der über 50 Prozent liegt (s. Tab. 1.1). Zu dem ist mit der ARA Neugut bei Dübendorf eine grosse ARA an der Glatt mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe für die Elimination der Spurenstoffe ausgerüstet.

	Glatt [g/W]	Jonen [g/W]	Glatt/Jonen
Benzotriazol	2056	170.3	12.1
Carbamazepin	103	10.9	9.4
Clarithromycin	31	8.1	3.8
Diclofenac	390	47.2	8.3
Hydrochlorthiazid	263	25.5	10.3
Metoprolol	120	9.9	12.1
Sulfamethoxazol	85	8.5	10.0

Tab. 4.4: Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in Glatt und Jonen (in g/Woche)

Abbildung 4.3 stellt grafisch dar, wie sich die Anteile der Frachten der einzelnen Spurenstoffe in der Glatt einerseits und der Jonen andererseits zueinander verhalten (s. Tab. 4.4). Der Anteil von Benzotriazol an der gesamten Fracht ist in der Glatt höher als in der Jonen, während der Anteil an Diclofenac und Clarithromycin tiefer ist.

Glatt [%]



Jonen [%]

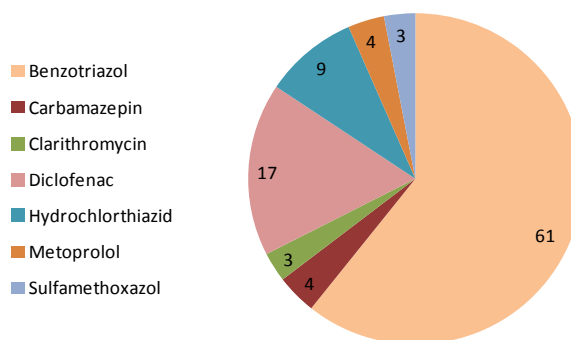


Abb. 4.3: Prozentuale Anteile der einzelnen Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» an der gesamten Fracht in Glatt und Jonen

Die «Ausreisser» in der Glatt (s. Abb. 3.3) wurden alle in der Woche vom 27. April 2015 (Wo 19) gemessen. In dieser Woche regnete es stark, was sich auch darin zeigte, dass der mittlere wöchentliche Abfluss der Glatt in dieser Woche von 7 m³/s auf 20 m³/s hochschnellte. Grund für die hohen Frachten an Spurenstoffen «Industrie &

Haushalt» könnte sein, dass es als Folge der Regenfälle zu Entlastungen kam und somit ungereinigtes Abwasser in die Glatt floss.

Die Fracht eines jeden der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» bei der Messstelle «Glatt vor Rhein» setzt sich zusammen aus einem Anteil, der aus dem Greifensee stammt, und einem Beitrag, den die ARA im Glatttal liefern (s. Kap. 2.3.2). Während der Beitrag der ARA im Glatttal konstant ist (s. Tab. 3.4), ist der Anteil aus dem See abhängig vom Abfluss der Glatt aus dem See. Dabei wird angenommen, dass die Konzentration des Spurenstoffs im See konstant ist (s. Tab. 3.4). Tabelle 4.5 zeigt, wie gross der Anteil der Fracht der Spurenstoffe aus dem See an der Gesamtfracht in Rheinsfelden ist, wenn der Seeabfluss dem Jahresmittel von 3.64 m³/s entspricht (s. Tab. 1.1).

	Seeabfluss : 3.64 m ³ /s		
	Fracht Glatt Seeabfluss [µg/s]	Gesamtfracht Glatt Rheinsfelden [µg/s]	Verhältnis Fracht See / Gesamtfracht [%]
Benzotriazol	1816	5216	35
Carbamazepin	131	302	43
Clarithromycin	51	103	49
Diclofenac	178	823	22
Hydrochlorthiazid	-15	420	-3
Metoprolol	33	232	14
Sulfamethoxazol	95	235	40

Tab. 4.5: Anteil der Fracht aus dem See an der Gesamtfracht in der Glatt bei Rheinsfelden bei einem Seeabfluss, der dem Jahresmittel entspricht

Betrachtet man die Variation der Frachten in der Jonen, so lässt sich feststellen, dass das Verhältnis oberes zu unteres Quartil für alle Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» rund 1.5 beträgt (s. Abb. 3.5). Die Hälfte aller Daten liegen also in einem relativ engen Bereich. Zudem liegen Mittelwert und Median von allen Stoffen nahe beieinander, was für eine Normalverteilung der Daten spricht (Tab. 4.6).

	Benzotriazol	Carbamazepin	Clarithromycin	Diclofenac	Hydrochlorthiazid	Metoprolol	Sulfamethoxazol
Mittelwert [mg/s]	0.282	0.018	0.013	0.078	0.042	0.016	0.014
Median [mg/s]	0.269	0.018	0.011	0.075	0.039	0.015	0.014
oberes / unteres Quartil	1.4	1.3	1.6	1.4	1.5	1.5	1.5

Tab. 4.6: Variation der Frachten der Spurenstoffe «Industrie & Haushalt» in der Jonen

4.4 Diskussion der Wasserqualität

Die beiden Verfahren, wie aufgrund der Analysenresultate die Wasserqualität an den Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» beurteilt werden kann, wurden in Kapitel 2.3.1 vorgestellt.

4.4.1 Wasserqualität aufgrund des Belastungsindex

Mit Hilfe des Belastungsindex wird die Qualität des Wassers der Glatt bei Rheinsfelden im Jahr 2007 als «unbefriedigend», im Jahr 2012 als «gut» und im Jahr 2015 als «mässig» (wobei das Prädikat «gut» nur ganz knapp verfehlt wurde) beurteilt (s. Tab. 3.6). Das Wasser der Jonen weist in beiden Jahren, in denen sie untersucht wurde, eine Qualität auf, die als «unbefriedigend» beurteilt wird. Im Jahr 2015 lagen in der durchschnittlichen Wochenmischprobe der Jonen rund 2.5-mal mehr Pestizide in einer Konzentration oberhalb des Anforderungswerts der GSchV vor als in der Glatt. Diese Beobachtung stimmt mit der bereits früher gemachten Feststellung überein, dass die Pestizidstöße in der Glatt aufgrund der höheren Verdünnung weniger ausgeprägt ausfallen als in der Jonen (s. Kap. 4.2.3). Wird die Wasserqualität mittels des Belastungsindex ausgedrückt, dann haben in beiden Fließgewässern die beiden Verbindungen Mecoprop und DEET den grössten Anteil an der Minderung der Qualität.

4.4.2 Wasserqualität aufgrund der Qualitätskriterien

Auch bei der Beurteilung der Wasserqualität mittels Qualitätskriterien schneidet die Glatt im Jahr 2015 durchwegs besser ab als die Jonen - ausser bei den Fungiziden, die aber nur eine untergeordnete Rolle spielen (s. Tab. 3.7).

Bezüglich der Herbizide schwankt die Qualität des Wassers der Glatt zwischen «mässig» und «unbefriedigend», während das Wasser der Jonen unbefriedigend war. Verantwortlich für die Belastung sind vor allem die Herbizide Diuron, Metazachlor und – im Fall der Jonen im Jahr 2008 – MCPA und 2,4-D.

In Bezug auf die Insektizide ist die Qualität des Glattwassers in den Jahren 2007 und 2008 «unbefriedigend», im Jahr 2015 «gut». Der Grund für diese markante Verbesserung ist, dass seit dem Jahr 2013 Diazinon nicht mehr verwendet werden darf. Diese Verbesserung beobachtet man auch in der Jonen: im Jahr 2008 war die Qualität «schlecht», im Jahr 2015 «mässig». Im Jahr 2015 wurde also immer noch Diazinon gefunden, wenn auch viel seltener und in tieferen Konzentrationen als im Jahr 2008 (s. Abb. 3.1 und Tab. 3.3).

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 in der Glatt 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 Wasser der Glatt und Jonen das erste Mal im Rahmen der Kampagne 2015 gemessen wurde, ist hauptsächlich für die unbefriedigende Wasserqualität bezüglich der Vertebraten verantwortlich. Diclofenac dominiert auch die Beurteilung der Wasserqualität bezüglich der Belastung durch die Spurenstoffe «Industrie & Haushalt».

In den fünf Kampagnen wurden im Wasser der Glatt und der Jonen zwischen einer und vier Verbindungen mit einem RQ_{max} grösser als 1 gefunden (s. Tab. 3.8). Die sechs Verbindungen, die im Rahmen der fünf Kampagnen einen RQ_{max} grösser als 1 aufwiesen, sind in Tabelle 4.7 aufgeführt (s. Tab. 3.8). Zu jeder Verbindung sind der höchste RQ_{max} mit dem Jahr, in dem dieser Wert gemessen wurde, sowie dem Fluss angegeben.

Tab. 4.7: Verbindungen, die mit einem RQ_{max} grösser als 1 auftraten

Verbindung	RQ_{max}	Kampagne
Diazinon	28.8	Jonen 2008
Irgarol	12.0	Glatt 2012
Diclofenac*	9.8	Jonen 2015
Diuron	3.0	Jonen 2015
Metazachlor	1.5	Glatt 2012
Terbutryn	1.0	Jonen 2015

* nur 2015 bestimmt

Erwähnenswert ist, dass die beiden Verbindungen, die am häufigsten und in den höchsten Konzentrationen gefunden wurden, nämlich DEET und Mecoprop, nicht zu den Verbindungen mit einem RQ_{max} grösser als 1 gehören. AQK und CQK von beiden Verbindungen sind zu hoch, als dass sie das Wasser nennenswert belasten könnten.

4.5 Jahreszeitlicher Verlauf der Belastung mit Pestiziden

Betrachtet man die Summe der Konzentrationen der Pestizide in den Wochenmischproben der Glatt im Jahresverlauf, so fallen Spitzen auf, die mehr oder weniger gleichmässig verteilt sind, wobei die höchsten Ausschläge im Sommer zu finden sind (s. Abb. 3.7). Diese Spitzen werden hauptsächlich durch Mecoprop verursacht, das eine Durchschnittskonzentration von 0.13 µg/l aufwies (Abb. 4.4). Betrachtet man die durchschnittlichen Konzentrationen, wird also genau die Hälfte der Belastung der Glatt durch Mecoprop verursacht. Ohne Mecoprop zeigt sich eine gleichmässige Belastung der Glatt mit einem moderaten «Hügel», der von der zweiten Hälfte des Frühlings in den Frühsommer hineinreicht.

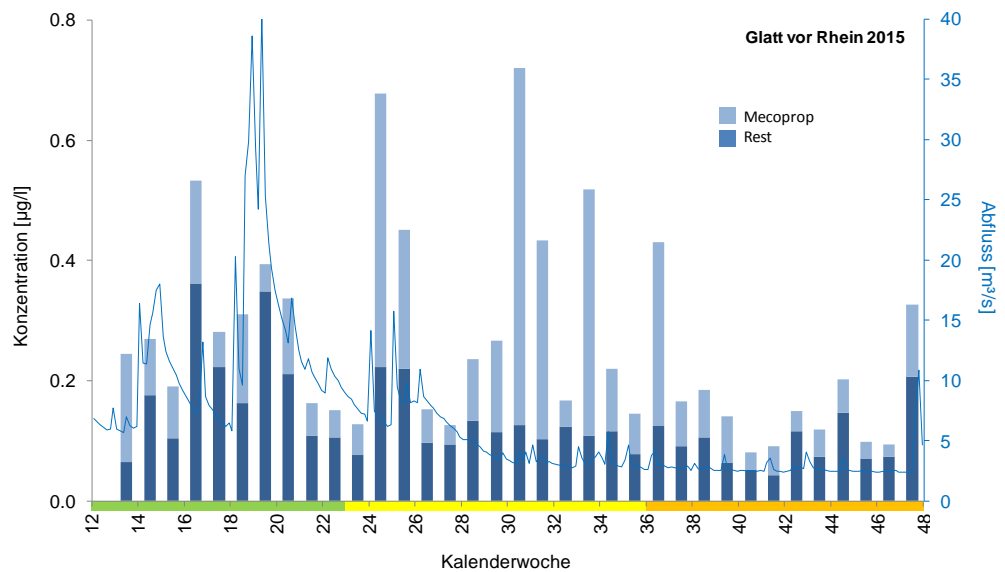


Abb. 4.4: Beitrag von Mecoprop zu den Summen der Konzentrationen der Pestizide (ohne DEET) in den einzelnen Wochenmischproben in der Glatt

Die Konzentrationsspitzen der Jonen (s. Abb. 3.7) lassen sich nicht auf hohe Konzentrationen eines einzelnen Pestizids zurückführen. Für die beiden Spitzen im Frühling waren Isoproturon, Penconazol und Metamitron verantwortlich. In der ersten Hälfte des Sommers traten Mecoprop, MCPA und Terbutylazin in hohen Konzentrationen auf, in der zweiten wiesen neben Mecoprop Triclopyr, Terbutryn und Chlortoluron hohe Konzentrationen auf. Dies widerspiegelt die Applikationszeiten der entsprechenden Pestizide in der Landwirtschaft, in öffentlichen Anlagen und privaten Gärten.

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 (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.*
- [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 (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.*
- [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] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2015): *Untersuchung der Spurenstoffe bei der Hauptmessstelle Furtbach bei Würenlos im Jahr 2014 mit einem Vergleich zu den Resultaten der früheren Untersuchungen an dieser Stelle.*
- [10] «Jahrbuch Abflüsse und Wasserstände» auf der Website des AWEL
- [11] http://www.hw.zh.ch/chemie/fg/907_IBUK.pdf (letzter Aufruf: 10.9.2015)
- [12] http://www.hw.zh.ch/chemie/fg/916_IBUK.pdf (letzter Aufruf: 10.9.2015)
- [13] 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
- [14] <http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege/index> (letzter Aufruf: 02.02.2016)
- [15] 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: Untersuchte Verbindungen

I Beschreibung der Verbindungen

Pestizide

Verbindung	Substanzklasse	Wirkstoff- gruppe	Informationen zur Zulassung im Jahr 2015	
2,4,5-T	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	ChemRRV	verboten
2,4-D	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
2,4-DB	Phenoxykarbonsäure	Herbizid		nicht zugelassen
Aclonifen	Diphenylether	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Alachlor	Chloracetanilid	Herbizid		nicht zugelassen
Ametryn	Methylthiotriazin	Herbizid		nicht zugelassen
Atrazin	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Azoxystrobin	Strobilurin	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Bentazon	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Bromacil	Uracil	Herbizid		nicht zugelassen
Carbendazim	Benzimidazol	Fungizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Chlorbromuron	Phenylharnstoff	Herbizid		nicht zugelassen
Chloridazon	Pyridazinon	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Chlorpyrifos	Thiophosphorsäureester	Insektizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Chlortoluron	Phenylharnstoff	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Cyanazin	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Cyhalothrin, lambda	Pyrethroid	Insektizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Cypermethrin	Pyrethroid	Insektizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Cyproconazol	Triazol	Fungizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Cyprodinil	Anilino-Pyrimidine	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
DEET	Diethyltoluamid	Repellent	VBP	(EG) Nr. 1451/2007
Diazinon	Organophosphat	Insektizid		nicht zugelassen
Dicamba	Auxin	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Dichlobenil	Nitrilherbizid	Herbizid		nicht zugelassen
Dichlorprop	Phenoxykarbonsäure	Herbizid		nicht zugelassen
Dimethachlor	Chloracetanilid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Dimethenamid	Chloracetanilid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Dimethoat	Thiophosphorsäureester	Insektizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Diuron	Phenylharnstoff	Herbizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Endosulfan-methyl		Insektizid		nicht zugelassen
Ethofumesat	Sulfonat	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Fenpropimorph	Morpholin	Fungizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Flufenacet	Oxyacetamid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Fluroxypyr	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Hexazinon	Triazon	Herbizid		keine Zulassung
Imidacloprid	Neonicotinoid	Insektizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Iodosulfuron-methyl	Sulfonylharnstoffe	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Irgarol	Methylthiotriazin	Antifouling	VBP	(EG) Nr. 1451/2007
Isoproturon	Phenylharnstoff	Herbizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Linuron	Phenylharnstoff	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Malathion	Thiophosphorsäureester	Insektizid	VBP	(EG) Nr. 1451/2007
MCPA	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
MCPB	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Mecoprop	Phenoxykarbonsäure	Herbizid*	PSMV	PSMV Anh. 1
Mesotrion	Cyclohexanderivat	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metalaxyl	Acylanilid	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metamitron	Triazin	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metazachlor	Chloracetanilid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Methabenzthiazuron	Harnstoffderivat	Herbizid		nicht zugelassen
Methoxyfenoxid	Diacylhydrazin	Insektizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metobromuron	Phenylharnstoff	Herbizid		nicht zugelassen
Metolachlor	Chloracetanilid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metoxuron	Phenylharnstoff	Herbizid		nicht zugelassen
Metribuzin	Triazinon	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Metsulfuron-methyl	Sulfonylharnstoff	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Monolinuron	Phenylharnstoff	Herbizid	VBP	(EG) Nr. 1451/2007

Verbindung	Substanzklasse	Wirkstoff- gruppe	Informationen zur Zulassung	
Napropamid	Amid Herbizid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Oxadixyl	Acylanilid	Fungizid		nicht zugelassen
Penconazol	Triazol	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Pencycuron	Phenylharnstoff	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Pendimethalin	Dinitroanilin	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Permethrin	Pyrethroid	Insektizid	VBP	(EG) Nr. 1451/2007
Pirimicarb	Carbamat	Insektizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Prometon	Methoxytriazin	Herbizid		nicht zugelassen
Prometryn	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Propachlor	Chloracetanilid	Herbizid		nicht zugelassen
Propazin	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Propiconazol	Triazol	Fungizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Propyzamid	Chlorbenzamid	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Pyraclostrobin	Strobilurin	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Sebuthylazin	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Simazin	Triazin	Herbizid		nicht zugelassen
Sulcotrion	Benzoylcyclohexandion	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Tebuconazol	Triazol	Fungizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Tebutam	Amidherbizid	Herbizid		nicht zugelassen
Terbuthylazin	Triazin	Herbizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Terbutryn	Triazin	Herbizid	VBP	(EG) Nr. 1451/2007
Thiacloprid	Neonicotinoid	Insektizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Thiamethoxam	Neonicotinoid	Insektizid	PSMV/VBP	PSMV Anh. 1 / (EG) Nr. 1451/2007
Thifensulfuron-methyl	Sulfonylharnstoff	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Triclopyr	Phenoxykarbonsäure	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Trifloxystrobin	Strobilurin	Fungizid	PSMV	PSMV Anh. 1
Tritosulfuron	Sulfonylharnstoffe	Herbizid	PSMV	PSMV Anh. 1

* Wird auch als Durchwurzelungsschutz in Dachpappe eingesetzt

Abbauprodukte

Verbindung	Muttersubstanz
2,6-Dichlorbenzamid	Dichlobenil
Desethyltriazin	Atrazin
Desethylterbuthylazin	Terbuthylazin
Desisopropyltriazin	Atrazin
Dimethenamid-ESA	Dimethenamid
Metazachlor-ESA	Metazachlor
Metolachlor-ESA	Metolachlor
Metolachlor-OXA	Metolachlor
N-Acetyl-S.methoxazol	Sulfamethoxazol
Propachlor-ESA	Propachlor

Spurenstoffe «Industrie & Haushalt»

Verbindung	Kategorie
Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel
Carbamazepin	Antiepileptikum
Clarithromycin	Antibiotikum
Diclofenac	Schmerzmittel
Hydrochlorthiazid	Diuretikum
Metoprolol	Betablocker
Sulfamethoxazol	Antibiotikum

II Bestimmungsgrenzen, Qualitätskriterien und Zuordnung zu taxonomischen Gruppen

Verbindung	Bestimmungsgrenze*				Kat.	CQK**	AQK**	Taxonomische Gruppe	
	15	12	08	07				CQK	AQK
2,4,5-T	10		20	20					
2,4-D	10	10	20	20	H	0.2	1.3	Pp	Pp
2,4-DB	50		20	20					
2,6-Dichlorbenzamid	10	10	10	10					
Aclonifen	10								
Alachlor	10	10	10	10					
Ametryn	10		10	10					
Atrazin†	10	10	10	10	H	0.6	2	Pp / lv / Ve	Pp
Azoxystrobin	10	10			F	0.2	0.55	Pp / lv	Pp / lv / Ve
Bentazon	10	20	20	20	H	28	260	Pp	Pp
Benzotriazol	10				I&H	30	120	Pp / lv / Ve	Pp / lv / Ve
Bromacil	10		20	20					
Carbamazepin	10				I&H	0.5	2550	lv	Pp / lv / Ve
Carbendazim	10				F	0.34	0.57	lv / Ve	Pp / lv / Ve
Chlorbromuron	10								
Chloridazon	10				H	10	190	Pp	Pp
Chlorpyrifos	10								
Chlortoluron	10				H	0.6	0.85	Pp	Pp
Clarithromycin	10				I&H	0.06	0.11		
Cyanazin	10	10	10	10					
Cyhalothrin, lambda	10								
Cypermethrin	10	10	10	10	I	8·10 ⁻⁵	6·10 ⁻⁴	lv	lv
Cyproconazol	10				F	1.25	1.25		
Cyprodinil	10				F	0.43	0.43		
DEET	10	10	10	10		41	410	Pp / lv / Ve	Pp / lv / Ve
Desethylatrazin	10	10	10	10					
Desethylterbuthylazin	10								
Desisopropylatrazin	10	10	10	10					
Diazinon	10	10	20	20	I	0.015	0.015	lv	lv
Dicamba	50				H	11	230	Pp	Pp
Dichlobenil	10	10	10	10					
Dichlorprop	10		20	20					
Diclofenac	10				I&H	0.05		Ve	
Dimethachlor†	10	10	10	10	H	0.046	6.6	Pp	Pp
Dimethenamid†	10	10	10	10	H	0.13	1.6	Pp	Pp
Dimethenamid-ESA	10								
Dimethoat	10	10	10	10	I	0.07	0.977	lv	lv
Diuron	10	10	20	20	H	0.02	0.06	Pp	Pp
Endosulfan-methyl	10								
Ethofumesat	10	10	10	10	H	22	26	Pp / lv	Pp / lv / Ve
Fenpropimorph	10								
Flufenacet	10								
Fluroxypyr†	10	20	20	20	H	0.41		Pp / Ve	
Hexazinon	10	10	20	20					
Hydrochlorthiazid	10								
Imidacloprid	10				I	0.013	0.1	lv	lv
Iodosulfuron-methyl	10								
Irgarol	10	10	10	10		0.0023	0.013	Pp	Pp
Isoproturon	10	10	20	20	H	0.32	1.2	Pp	Pp
Linuron	10	10	20	20	H	0.26	1.37	Pp / Ve	Pp
Malathion	10								
MCPA	10	10	20	20	H	1.34	15.2	Pp	Pp
MCPB	20	10	20	20					
Mecoprop	10	10	20	20	H	3.6	187	Pp	Pp
Mesotrion	10								
Metalaxyl	10	10	10	10	F	98	98	Pp / lv / Ve	
Metamitron	10	20	50	50	H	4	39	Pp	Pp
Metazachlor	10	10	10	10	H	0.02	0.28	Pp	Pp
Metazachlor-ESA	10								
Methabenzthiazuron	10								
Methoxyfenoxid	10				I	0.36	3.7	lv	lv
Metobromuron	10	10	20	20					

Verbindung	Bestimmungsgrenze*				Kat.	CQK**	AQK**	Taxonomische Gruppe	
	15	12	08	07				CQK	AQK
Metolachlor	10	10	10	10	H	0.69	2.3	Pp / Ve	Pp
Metolachlor-ESA	10								
Metolachlor-OXA	10								
Metoprolol	10				I&H	64	76		
Metoxuron	10	10	10	10					
Metribuzin	10				H	0.058	1.78	Pp	Pp
Metsulfuron-methyl	10								
Monolinuron	10	10	20	20					
N-Acetyl-S.methoxazol	20								
Napropamid	10	10			H	5.12	6.8	Pp	Pp
Oxadixyl	10	10	10	10					
Penconazol	10	10	10	10					
Pencycuron	10								
Pendimethalin	10								
Permethrin	10	10	10	10					
Pirimicarb	10	10	10	10	I	0.09	1.6	lv	lv
Prometon	10								
Prometryn	10		10	10					
Propachlor†	10	10	10	10	H	0.09	1.4	Pp	Pp
Propachlor-ESA	10								
Propazin	10	10	10	10					
Propiconazol†	10	20	10	10	F	1.8	2.1	Pp	Pp
Propyzamid	10	10							
Pyraclostrobin	10								
Sebuthylazin	10								
Simazin†	10	10	10	10	H	1	4	Pp	Pp
Sulcotrion	10								
Sulfomethoxazol	10				I&H	0.6	2.7	Pp	Pp
Tebuconazol	10				F	1.2	1.4	Pp / lv / Ve	Pp / lv
Tebutam	10								
Terbuthylazin	10	10	10	10	H	0.22	1.28	Pp / lv	Pp
Terbutryn	10	10	10	10	H	0.065	0.34	Pp	Pp / lv
Thiacloprid	10				I	0.01	0.08	lv	lv
Thiamethoxam	10				I	1	1.4	lv	lv
Thifensulfuron-methyl	10								
Triclopyr†	20	10	20	20	H	4.6	4.6	Pp	Pp
Trifloxystrobin	10								
Tritosulfuron	10								

* Konzentration in ng/l

** Konzentrationen in µg/l

† Pestizid wird in der Liste «Qualitätskriterienvorschläge Oekotoxzentrum» vom 2. Februar 2015 nicht mehr aufgeführt, da zu diesem Zeitpunkt kein Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff bewilligt war. Da das Pestizid trotzdem in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden konnte, werden die Qualitätskriterien aus einer früheren Liste übernommen.

Kategorie:

F Fungizid
H Herbizid
I Insektizid
I&H Spurenstoff «Industrie & Haushalt»

Taxonomische Gruppe:

Pp Primärproduzenten
lv Invertebraten
Ve Vertebraten