



Kanton Zürich  
Baudirektion  
**Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft**  
Gewässerschutz

Oberflächengewässerschutz  
Limnologie

# **Einträge von organischen Mikroverunreinigungen über ARA in Oberflächengewässer**

**Untersuchungen von 2013 - 2015**



Kanton Zürich  
Baudirektion  
**Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft**  
Gewässerschutz

Oberflächengewässerschutz  
Limnologie

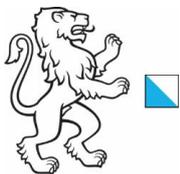
Kanton Zürich  
Baudirektion  
**Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft**  
Gewässerschutz

Oberflächengewässerschutz

**Raoul Thoma**

Hardturmstrasse 105  
8005 Zürich

Zürich, 29. September 2016



## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	2
1 Einleitung.....	4
2 Methode.....	6
2.1 Probenname.....	6
2.1.1 Mischproben.....	6
2.1.2 Stichproben.....	6
2.2 Analytik.....	7
2.2.1 Analysemethoden.....	7
2.2.2 Untersuchte Verbindungen.....	7
2.2.3 Bestimmungsgrenzen und Messunsicherheit.....	8
2.3 Datenauswertung.....	8
2.3.1 Berechnung der Frachten.....	8
2.3.2 Berechnung der Frachten pro angeschlossene Einwohner.....	9
3 Resultate.....	10
3.1 Nachweise der Mikroverunreinigungen ARA.....	10
3.1.1 Verteilung der Nachweise auf die Mikroverunreinigungen ARA.....	10
3.1.2 Nachweise an den Messstellen.....	11
3.1.3 Maximale Konzentrationen und Mittelwerte.....	13
3.2 Frachten.....	15
3.2.1 Frachten an den Messstellen.....	15
3.2.2 Frachten versus angeschlossene Einwohner.....	17
3.2.3 Frachten pro angeschlossenen Einwohner und Tag.....	20
4 Diskussion.....	22
4.1 Nachweise.....	22
4.1.1 Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze.....	22
4.1.2 Maximale Konzentrationen und Mittelwerte.....	23
4.2 Frachten.....	24
4.2.1 Einfluss von Aufenthaltszeiten und Stoffeigenschaften auf die Fracht.....	25
4.2.2 Fracht pro Einwohner und Tag.....	28
4.2.3 Vergleich der Frachten an ausgewählten Messstellen.....	28
4.3 Vergleich der Frachtabschätzung mit gemessenen Frachten.....	29
Literaturverzeichnis.....	31
Anhang A Messstellen.....	32
I Übersicht Messstellen.....	32
Anhang B Resultate.....	35
I Konzentrationen und Frachten an den Hauptmessstellen.....	35
II Variation der Frachten an Messstellen mit Monatsstichproben.....	43
III Variation der Konzentrationen an Messstellen mit Monatsstichproben.....	44



## Zusammenfassung

Für die Abschätzung der Gewässerbelastung durch über die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) eingetragene Mikroverunreinigungen wurden Daten von verschiedenen Kampagnen an insgesamt 16 Hauptmessstellen und an 65 Messstellen aus dem Routineprogramm ausgewertet. An jeder Hauptmessstelle wurden im Jahr 2015 vier Wochenmischproben entnommen und analysiert. Bei den Hauptmessstellen «Furtbach bei Würenlos» (2014), «Glatt vor Rhein» (2015) und «Jonen nach ARA Zwillikon» (2015) wurden zusätzlich jeweils von März bis Oktober Wochenmischproben genommen und untersucht. Zudem wurden im Jahr 2013 bei 32 Messstellen und in den Jahren 2014-2015 bei 33 Messstellen aus dem Routineprogramm Monatsstichproben von Hand geschöpft und im Labor analysiert.

Die vier Verbindungen Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol wurden in fast allen Wochenmischproben und in den meisten Monatsstichproben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Die höchsten Konzentrationen wurden bei Benzotriazol gemessen. Die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen von Diclofenac lagen an fast allen Hauptmessstellen und an weiteren 30 Messstellen oberhalb dem Wert für das chronische Qualitätskriterium (CQK) von Diclofenac. Bei 12 Hauptmessstellen und 16 weiteren Messstellen lagen sogar alle gemessenen Konzentrationen von Diclofenac oberhalb dem CQK.

An den meisten Messstellen bewegen sich die Frachten von Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol in einem engen Bereich und ein linearer Zusammenhang zwischen den gemessenen Frachten und den über die ARA angeschlossenen Einwohner an der entsprechenden Messstelle ist erkennbar. Dies bestätigt die Annahme, dass Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol mehr oder weniger konstant über die ARA in die Gewässer eingetragen werden. Jedoch ist die lineare Korrelation zwischen den gemessenen Frachten und der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner, verglichen mit Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol, für Diclofenac weniger eindeutig.

Der Verlauf der Fracht kann jedoch durch die Aufenthaltszeit in den Gewässern und durch die Stoffeigenschaften der Verbindungen an einzelnen Messstellen stark beeinflusst werden. Durch die längere Aufenthaltszeit und den konstanten Eintrag von Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol stellt sich im See eine mehr oder weniger konstante Konzentration der entsprechenden Verbindung ein. Folglich variieren die Frachten nach einem See in Abhängigkeit zum Seeabfluss oder die Konzentrationen liegen unterhalb der Bestimmungsgrenze und die Frachten können nicht bestimmt werden. Im Gegensatz zu Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol, die im See stabil sind, wird Diclofenac zudem im Wasser photolytisch abgebaut.



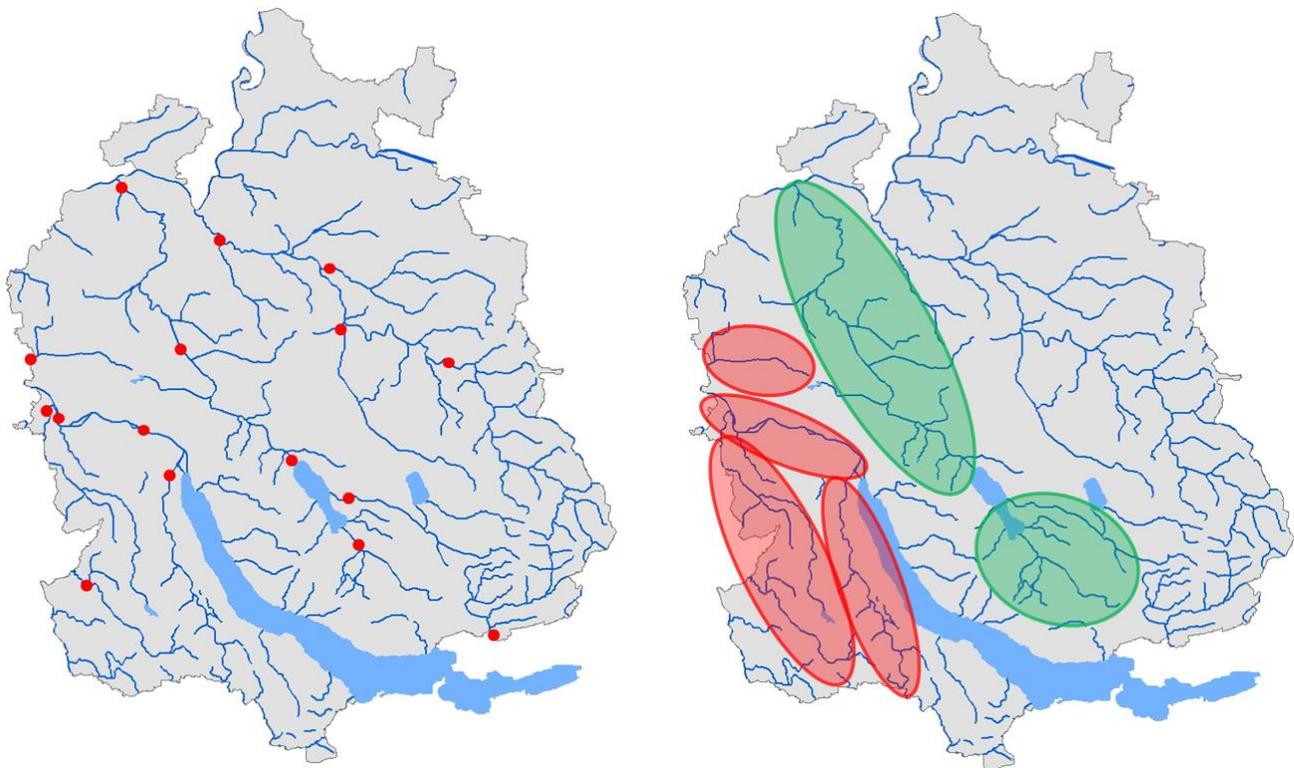
Obwohl sich die Messstellen in unterschiedlichen Gebieten und Fließgewässersystemen (mit und ohne Seen) befinden und bei den Kampagnen unterschiedliche Probearten zum Einsatz kamen und teilweise in verschiedenen Jahren gemessen wurde, liegen die mittleren Frachten pro Tag und Einwohner von Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol bei der Hälfte aller ausgewerteten Messstellen jeweils in einem relativ engen Bereich.

Mit den Werten von Ort et al. (2009) für die mittlere Fracht im ARA Ablauf und der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner wurde abgeschätzt, wie viel Carbamazepin respektive Diclofenac an einer bestimmten Messstelle zu erwarten ist. Die Frachtabschätzungen (mittlere Fracht im ARA Ablauf von  $0.160 \text{ mg d}^{-1} \text{ P}^{-1}$ ) für Carbamazepin stimmen gut mit den gemessenen Frachten überein. Die Frachtabschätzungen, basierend auf einer mittleren Fracht im ARA Ablauf von  $0.180 \text{ mg d}^{-1} \text{ P}^{-1}$  Diclofenac, sind deutlich tiefer, verglichen mit den gemessenen Frachten von Diclofenac.

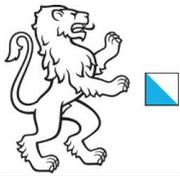
## 1 Einleitung

Die Untersuchungen bei den 16 Hauptmessstellen und bei ausgewählten Messstellen aus dem Routineprogramm sollen zeigen, wie stark die einzelnen Gewässer durch die punktuellen Einträge von Mikroverunreinigungen (MV) über die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) belastet sind. Im Gegensatz zu den Pestiziden, die hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzt werden und über diffuse Eintragspfade in die Gewässer gelangen, werden in den Siedlungsgebieten verwendete Mikroverunreinigungen, wie z.B. Medikamente, vorwiegend über die ARA in die Gewässer eingetragen. Zu den hauptsächlich über die ARA eingetragenen Mikroverunreinigungen gehören auch die Verbindungen Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol. Diese vier Verbindungen wurden ab dem Jahr 2013 im Rahmen verschiedener Messkampagnen untersucht.

Abbildung 1.1 (links) zeigt die Lage der 16 Hauptmessstellen im Kanton Zürich. An allen Hauptmessstellen wurden im Jahr 2015 vier Wochenmischproben mittels Schöpfautomaten entnommen. Bei den Hauptmessstellen «Furtbach bei Würenlos», «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» wurden zudem im Rahmen verschiedener Messkampagnen Wochenmischproben über einen längeren Zeitraum untersucht [1-7].



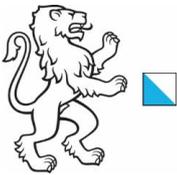
**Abbildung 1.1** Lage der 16 Hauptmessstellen (links) und der Gebiete der untersuchten Messstellen des Routineprogramms (rechts). Die im Jahr 2013 untersuchte Glatt und ihre Zuflüsse sind grün, die in den Jahren 2014 und 2015 untersuchten Fließgewässer Jonen, Sihl, Reppisch, Limmat und Furtbach sind rot eingefärbt.



Im Jahr 2013 wurden bei 32 Messstellen an der Glatt und ihren Zuflüssen Monatsstichproben entnommen (Abbildung 1.1, rechts). In den Jahren 2014 und 2015 wurden bei 33 Messstellen der Sihl, Reppisch, Limmat und Furtbach sowie ihren Zuflüssen Proben genommen (Abbildung 1.1, rechts). Insgesamt wurden im Zeitraum zwischen 2013 und 2015 an 65 Messstellen Monatsstichproben entnommen. Im Anhang A I befindet sich eine Liste der untersuchten Messstellen.

In diesem Bericht werden Daten ausgewertet aus Untersuchungen verschiedener Messkampagnen im Zeitraum zwischen 2013 und 2015. Unter anderem sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie gross ist die Belastung der untersuchten Gewässer durch die vier Verbindungen Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol?
- Wie gross sind die Frachten der vier Verbindungen an den einzelnen Messstellen?
- Wie stark variieren die Frachten an den einzelnen Messstellen?
- Kann ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Frachten und der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner im Einzugsgebiet der Messstelle festgestellt werden?



## 2 Methode

### 2.1 Probenname

#### 2.1.1 Mischproben

An allen Hauptmessstellen im Kanton Zürich sind Schöpfautomaten installiert. Für die Untersuchungen wurden abflussproportionale Tagesmischproben entnommen. Die Tagesmischproben wurden jeweils am Ende einer Woche zu Wochenmischproben zusammengeführt.

#### Wochenmischproben

In den Jahren 2014 und 2015 wurden die Proben von insgesamt drei Hauptmessstellen durch das Labor Veritas, Zürich analysiert. Der Zeitraum der Untersuchungsperiode und die Anzahl der Wochenmischproben der jeweiligen Messkampagne sind für die untersuchten Messstellen in Tabelle 2.1 dargestellt. Nachfolgend werden diese Proben in diesem Bericht als Wochenmischproben (WMP) bezeichnet.

	2014 Furtbach bei Würenlos	2015 Glatt vor Rhein	2015 Jonen nach ARA Zwillikon
Untersuchungsperiode	17. Mrz. (Wo 12) – 9. Nov. (Wo 45)	23. Mrz. (Wo 13) – 22. Nov. (Wo 47)	
Anz. Wochenmischproben	33	35	

**Tabelle 2.1** Wochenmischproben: Untersuchungsperioden und Anzahl Proben

#### Quartalswochenmischproben

Das Gewässerschutzlabor des Kantons Zürich hat im Jahr 2015 an allen 16 Hauptmessstellen jeweils vier Wochenmischproben untersucht (Tabelle 2.2). Nachfolgend werden diese Proben in diesem Bericht als Quartalswochenmischproben (QWMP) bezeichnet.

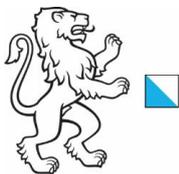
	2015 Alle 16 Hauptmessstellen
Untersuchungsperiode	13.4. - 19.4. (Wo 16); 22.6. - 28.6. (Wo 26); 31.8. - 6.9. (Wo 36); 9.11. - 15.11. (Wo 46)
Anz. Wochenmischproben pro Hauptmessstelle	4

**Tabelle 2.2** Quartalswochenmischproben: Untersuchungsperioden und Anzahl Proben pro Hauptmessstelle

#### 2.1.2 Stichproben

##### Monatsstichproben

Im Rahmen der Routineüberwachung der Fließgewässer wurden zwischen 2013 und 2015 Monatsstichproben an insgesamt 65 Messstellen in verschiedenen Einzugsgebieten von Hand geschöpft und im Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht. Tabelle 2.3 zeigt die untersuchten Einzugsgebiete, die Anzahl der Messstellen, die Zeiträume der verschiedenen Untersuchungsperioden und die Anzahl Proben pro Messstelle. Eine Liste mit allen Messstellen, an denen zwischen 2013 und 2015 Monatsstichproben entnommen wurden, ist im Anhang A I zu



finden. Nachfolgend werden diese Proben in diesem Bericht als Monatsstichproben (MSP) bezeichnet.

Einzugsgebiete	Glatt, Aa, Aabach	Limmat, Sihl, Jonen, Reppisch, Furtbach
Anz. Messstellen	32	33
Untersuchungsperiode	2013 März – Oktober (1 Probe pro Monat)	2014 und 2015 jeweils März – Oktober (1 Probe pro Monat)
Anz. Monatsstichproben pro Messstelle	8	16 (8 pro Jahr)

**Tabelle 2.3** Monatsstichproben: Anzahl Messstellen, Untersuchungsperioden und Anzahl Proben pro Messstelle

## 2.2 Analytik

### 2.2.1 Analysemethoden

Die Bestimmung der Konzentrationen der verschiedenen Verbindungen erfolgte mittels Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS). Bei der Analyse der Quartalswochenmischproben wurde die Methode «LC-MS Screening» angewendet. Bei den Monatsstichproben wurde die Methode «LC-MS/MS Pestizide in Wasser mittels Online-Anreicherung» eingesetzt.

### 2.2.2 Untersuchte Verbindungen

Das Untersuchungsprogramm des Gewässerschutzlabors des AWEL wurde ständig ausgebaut und umfasste im Jahr 2015 rund 100 organische Mikroverunreinigungen. Dazu gehören 83 Pestizide, 7 «Mikroverunreinigungen ARA» und 10 Abbauprodukte von Pestiziden und Medikamenten (Tabelle 2.4). Die komplette Liste der untersuchten Verbindungen im Jahr 2015 ist im Anhang des Berichts [7] aufgeführt.

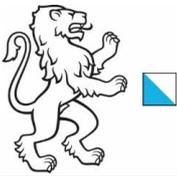
100 organische Mikroverunreinigungen				
83 Pestizide	7 «Mikroverunreinigungen ARA»			10 Abbauprodukte
	6 Medikamente	1 Korrosionsinhibitor		
56 Herbizide	2 Antibiotika	1 Korrosionsinhibitor		9 Abbauprodukte
13 Insektizide	1 Antiepileptikum			Pestizide
12 Fungizide	1 Schmerzmittel			1 Abbauprodukt
1 Repellent	1 Diuretikum			Medikamente
1 Antifouling	1 Betablocker			

**Tabelle 2.4** Untersuchte Verbindungen (Stand 2015)

Zu den «Mikroverunreinigungen ARA» gehören auch die folgenden, in diesem Bericht präsentierten, Verbindungen:

- Benzotriazol (Korrosionsinhibitor)
- Carbamazepin (Antiepileptikum)
- Diclofenac (Schmerzmittel)
- Sulfamethoxazol (Antibiotikum)

Diese vier Verbindungen wurden ab dem Jahr 2013 im Rahmen verschiedener Messkampagnen untersucht [6, 7].



### 2.2.3 Bestimmungsgrenzen und Messunsicherheit

Die Bestimmungsgrenzen bei den Monatsstichproben (Tabelle 2.5) sind bei Benzotriazol 5 Mal und bei den anderen Verbindungen um die Hälfte tiefer, verglichen mit den Bestimmungsgrenzen bei den Quartalswochenmischproben (Tabelle 2.6). Auch die Messunsicherheit ist bei den Monatsstichproben kleiner als bei den Quartalswochenmischproben. Die Unterschiede sind auf die unterschiedlichen Analysemethoden zurückzuführen.

Verbindung	Bestimmungsgrenze	Messunsicherheit
Benzotriazol	10 ng l <sup>-1</sup>	< 15 %
Carbamazepin	10 ng l <sup>-1</sup>	< 15 %
Diclofenac	10 ng l <sup>-1</sup>	< 15 %
Sulfamethoxazol	10 ng l <sup>-1</sup>	< 15 %

*Tabelle 2.5 Bestimmungsgrenzen und Messunsicherheit bei den Monatsstichproben*

Verbindung	Bestimmungsgrenze	Messunsicherheit
Benzotriazol	50 ng l <sup>-1</sup>	< 20 %
Carbamazepin	20 ng l <sup>-1</sup>	< 20 %
Diclofenac	20 ng l <sup>-1</sup>	< 20 %
Sulfamethoxazol	20 ng l <sup>-1</sup>	< 20 %

*Tabelle 2.6 Bestimmungsgrenzen und Messunsicherheit bei den Quartalswochenmischproben*

## 2.3 Datenauswertung

### 2.3.1 Berechnung der Frachten

Bei allen 16 Hauptmessstellen im Kanton Zürich befinden sich Stationen zur Messung des Abflusses. Somit ist es möglich, aus den Wochenmischproben respektive den Quartalswochenmischproben und dem entsprechenden mittleren Wochenabfluss, die Frachten direkt zu berechnen. Bei den Messstellen der Monatsstichproben befindet sich oft keine Abflussmessstelle in unmittelbarer Nähe. Um die Frachten an diesen Messstellen zu bestimmen, wurde eine Abflussabschätzung vorgenommen.

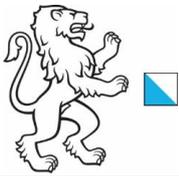
#### Wochenmischproben und Quartalswochenmischproben

Die Fracht  $F_w(v_{MV}, t)$  der Verbindung  $v_{MV}$  der Woche  $t$  ist definiert als das Produkt der Konzentration  $c(v_{MV}, t)$  der Verbindung und dem mittleren Wochenabfluss  $\bar{Q}_w(t)$  der entsprechenden Woche:

$$(1) \quad F_w(v_{MV}, t) = c(v_{MV}, t) \times \bar{Q}_w(t)$$

#### Monatsstichproben

Jeder Messstelle wurde eine Station zur Abflussmessung zugeordnet. Dabei wurden Stationen gewählt, welche sich im gleichen hydrologischen Einzugsgebiet wie die jeweilige Messstelle befinden, um eine möglichst präzise Abflussabschätzung zu erhalten.



Der Abfluss  $Q(t)$  an der Messstelle zum Zeitpunkt  $t$  der Probenahme ergibt sich aus dem Verhältnis des gemessenen mittleren Tagesabflusses  $\bar{Q}_{24h}(t)$  am Datum der Probenahme gegenüber dem langjährigen Mittel  $\bar{Q}_{\text{Periodenmittel}}$  an der Station zur Abflussmessung und dem geschätzten mittleren Abfluss  $Q_{\text{Mittel\_kons}}$  (GIS Abschätzung) an der Messstelle der entsprechenden Monatsstichprobe:

$$(2) \quad Q(t) = \frac{\bar{Q}_{24h}(t)}{\bar{Q}_{\text{Periodenmittel}}} \times Q_{\text{Mittel\_kons}}$$

Die Fracht  $F(v_{MV}, t)$  der Verbindung  $v_{MV}$  zum Zeitpunkt  $t$  der Probenahme ist definiert als das Produkt der Konzentration  $c(v_{MV}, t)$  der Verbindung  $v_{MV}$  und dem abgeschätzten Abfluss  $Q(t)$  am entsprechenden Datum der Probenahme:

$$(3) \quad F(v_{MV}, t) = c(v_{MV}, t) \times Q(t)$$

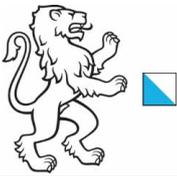
### 2.3.2 Berechnung der Frachten pro angeschlossene Einwohner

Für jede Messstelle  $M$  wurde die Anzahl über die Abwasserreinigungsanlagen angeschlossenen Einwohner  $N_p(M)$  ermittelt. Dabei wurden die Anzahl angeschlossener Einwohner  $N_p(ARA_i)$  der  $n$  Abwasserreinigungsanlagen  $ARA_i$ , welche oberhalb der Messstelle in die Fließgewässer im Einzugsgebiet der Messstelle  $M$  einleiten, summiert:

$$(4) \quad N_p(M) = \sum_{i=1}^n N_p(ARA_i)$$

Anschließend wurde für jede Verbindung  $v_{MV}$  die Fracht pro angeschlossenen Einwohner  $F_{pP}$  berechnet. Dazu wurde der Mittelwert der Fracht  $\bar{F}(v_{MV})$  mit der Summe der Anzahl angeschlossener Einwohner aller ARA oberhalb der Messstelle verglichen.

$$(5) \quad F_{pP} = \frac{\bar{F}(v_{MV})}{N_p(M)}$$



## 3 Resultate

### 3.1 Nachweise der Mikroverunreinigungen ARA

#### 3.1.1 Verteilung der Nachweise auf die Mikroverunreinigungen ARA

Tabelle 3.1 zeigt für alle Messkampagnen und Verbindungen die Anzahl (Anz.) respektive der Anteil (%) der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde. Zum Beispiel wurde Benzotriazol bei den Monatsstichproben 2013 in 236 Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Dies entspricht einem Anteil von 92 % an der Gesamtzahl der untersuchten Monatsstichproben im Jahr 2013.

Im Zeitraum von 2013 bis 2015 wurden an 65 Messstellen insgesamt 784 Monatsstichproben entnommen. Die 32 Messstellen, an denen im Jahr 2013 256 Monatsstichproben untersucht wurden, liegen im Einzugsgebiet der Glatt. Die 33 Messstellen, an denen in den Jahren 2014 und 2015 528 Monatsstichproben entnommen wurden, sind über die Einzugsgebiete der Sihl, Jonen, Reppisch, Limmat und dem Furtbach verteilt (vgl. Abbildung 1.1 und Tabelle 2.3). Im Rahmen der Quartalswochenmischproben 2015 wurden insgesamt 64 Wochenmischproben untersucht, jeweils 4 Wochenmischproben an jeder der 16 Hauptmessstellen (vgl. Abbildung 1.1 und Tabelle 2.2). Bei den Kampagnen an den drei Hauptmessstellen «Furtbach bei Würenlos», «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» wurden insgesamt 103 Wochenmischproben untersucht. 33 Wochenmischproben an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» im Jahr 2014 und je 35 Wochenmischproben an den Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» im Jahr 2015 (vgl. Abbildung 1.1 und Tabelle 2.1).

Kampagne	Monatsstichproben (MSP)				Quartalswochenmischproben (QWMP)		Wochenmischproben (WMP)					
	2013		2014 - 2015		2015		Furtbach 2014		Glatt 2015		Jonen 2015	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Benzotriazol	236	92	418	79	60	94	33	100	35	100	35	100
Diclofenac	163	64	219	41	59	92	33	100	35	100	35	100
Carbamazepin	158	62	146	28	45	70	33	100	35	100	31	89
Sulfamethoxazol	154	60	166	31	49	77	33	100	35	100	30	86

**Tabelle 3.1** Anzahl (Anz.) und prozentualer Anteil (%) der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde.

Gesamtzahl der Proben:

Monatsstichproben 2013: 256 (je 8 Stichproben an 32 Messstellen)

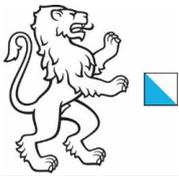
Monatsstichproben 2014 – 2015: 528 (je 16 Stichproben an 33 Messstellen)

Quartalswochenmischproben 2015: 64 (je 4 Wochenmischproben an 16 Hauptmessstellen)

Furtbach 2014: 33 (Wochenmischproben an der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»)

Glatt 2015: 35 (Wochenmischproben an der Hauptmessstelle «Glatt vor Rhein»)

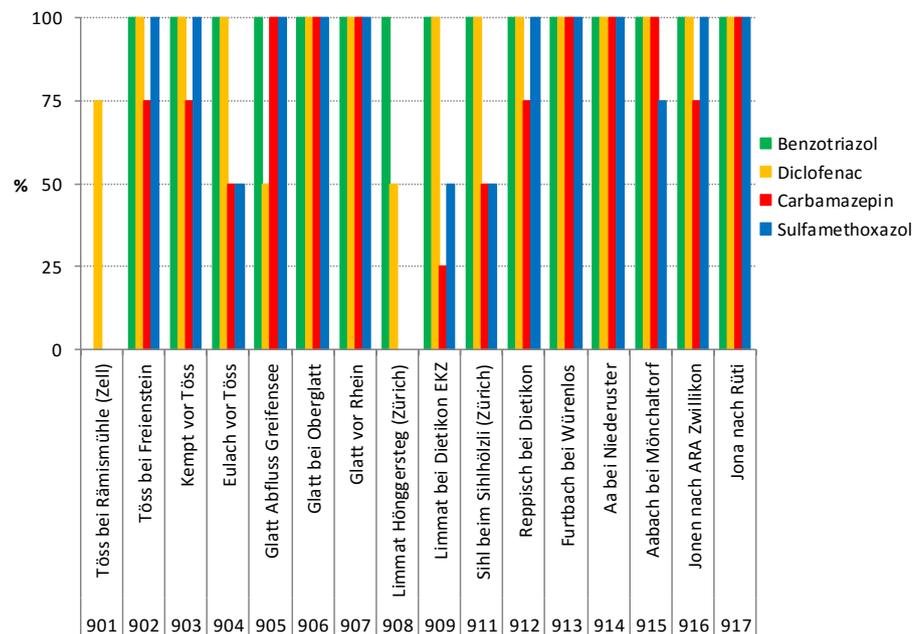
Jonen 2015: 35 (Wochenmischproben an der Hauptmessstelle «Jonen nach ARA Zwillikon»)



### 3.1.2 Nachweise an den Messstellen

#### Quartalswochenmischproben

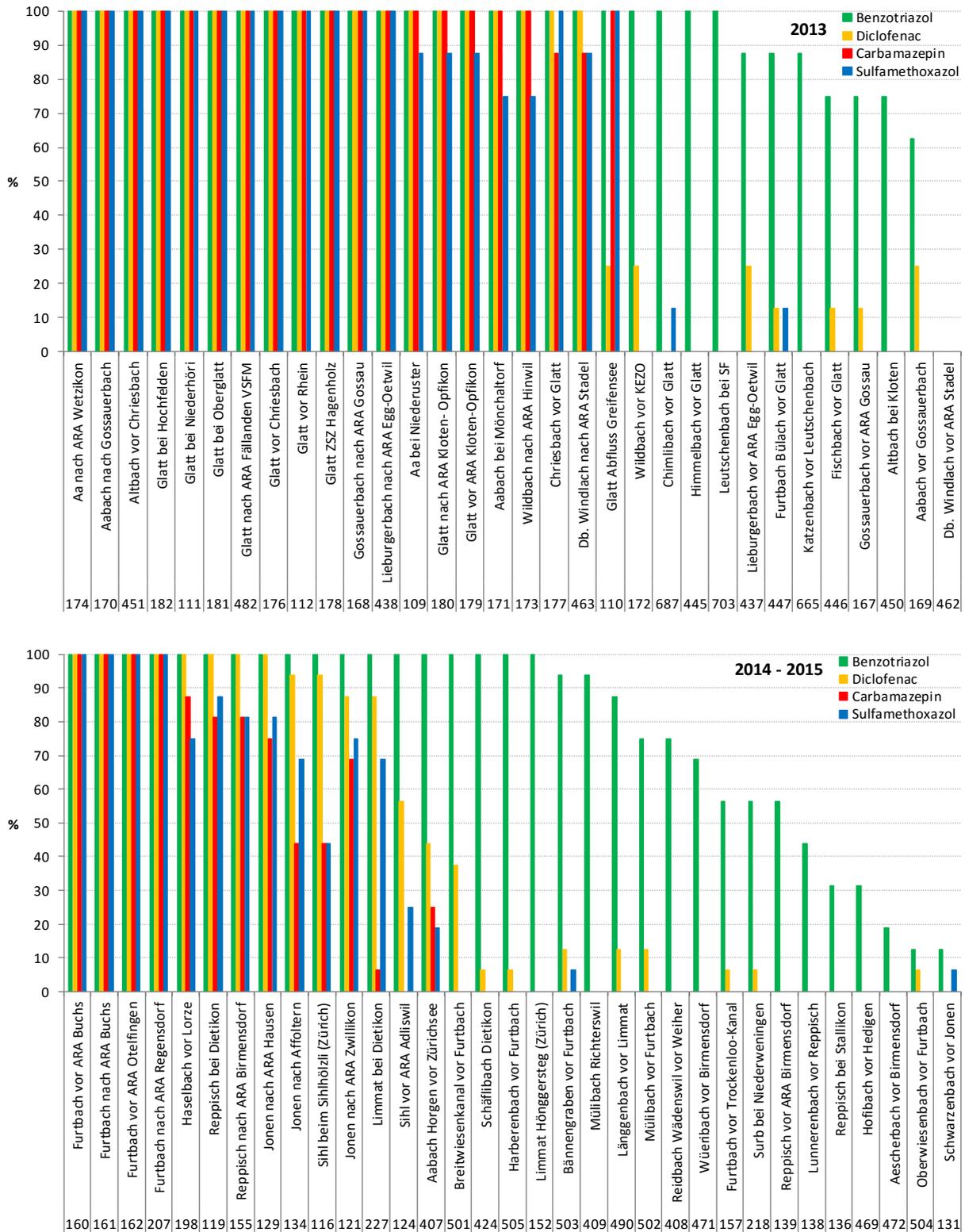
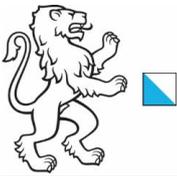
Abbildung 3.1 zeigt für alle Hauptmessstellen im Jahr 2015 die Anteile der Wochenmischproben, in denen Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin respektive Sulfamethoxazol in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden. Die Hauptmessstellen sind nach aufsteigender C Nr (901 – 917) geordnet.



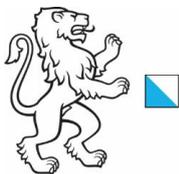
**Abbildung 3.1** Anteile der Wochenmischproben (in Prozent) in denen Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin respektive Sulfamethoxazol in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden, für alle Hauptmessstellen mit Quartalswochenmischproben im Jahr 2015. An jeder Hauptmessstelle wurden insgesamt 4 Wochenmischproben genommen [100%  $\pm$  Konzentration in allen 4 Proben über der Bestimmungsgrenze].

#### Monatsstichproben

Abbildung 3.2 zeigt die Anteile der Monatsstichproben, in denen Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin respektive Sulfamethoxazol in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden. Die Messstellen sind nach abnehmender Häufigkeit geordnet, mit der Benzotriazol in den Wochenmischproben der entsprechenden Messstelle in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde. Bei der Messstelle «Db. Windlach vor ARA Stadel» wurde in keiner der Monatsstichproben eine der vier Verbindungen in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.



**Abbildung 3.2** Anteile der Monatsstichproben (in Prozent) in denen Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin respektive Sulfamethoxazol in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurden, für alle Messstellen mit Monatsstichproben im Jahr 2013 (oben) und in den Jahren 2014 und 2015 (unten). An jeder Messstelle wurden insgesamt 8 (2013) respektive 16 (2014 – 2015) Monatsstichproben genommen [100%  $\hat{=}$  Konzentration in allen 8 (oben) respektive 16 (unten) Proben über der Bestimmungsgrenze].



### 3.1.3 Maximale Konzentrationen und Mittelwerte

In Tabelle 3.2 sind die maximalen Konzentrationen und die Mittelwerte für die Hauptmessstellen und für die Messstellen mit Monatsstichproben aufgelistet. Der höchste Wert aller Hauptmessstellen und aller Messstellen mit Monatsstichproben, jeder gemessenen Verbindung, ist fett hervorgehoben. Leere Felder bedeuten, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Bei der Berechnung des Mittelwerts wurden die Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze nicht berücksichtigt. Die Mittelwerte sind farblich hinterlegt, wenn das chronische Qualitätskriterium der entsprechenden Verbindung überschritten ist. Zusätzlich sind für Diclofenac die Anteile der Proben angegeben, in denen die Verbindung in einer Konzentration oberhalb des chronischen Qualitätskriteriums nachgewiesen wurde.

C Nr	Messstelle	Benzotriazol		Diclofenac			Carbamazepin		Sulfamethoxazol	
		Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	> CQK [%]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]
<b>Quartalswochenmischproben (QWMP)</b>										
901	Töss bei Rämismühle (Zell)			0.102	0.083	75				
902	Töss bei Freienstein	1.301	0.761	0.397	0.276	75	0.135	0.091	0.200	0.111
903	Kempt vor Töss	1.965	1.130	0.763	0.554	100	0.152	0.090	0.212	0.092
904	Eulach vor Töss	0.722	0.411	0.185	0.137	100	0.068	0.060	0.065	0.051
905	Glatt Abfluss Greifensee	0.467	0.415	0.088	0.085	50	0.039	0.033	0.032	0.029
906	Glatt bei Oberglatt	1.781	1.249	0.296	0.232	100	0.078	0.059	0.098	0.068
907	Glatt vor Rhein	1.594	1.086	0.304	0.171	100	0.093	0.062	0.132	0.079
908	Limmat Hönggersteg (Zürich)	0.098	0.084	0.089	0.056	25				
909	Limmat bei Dietikon EKZ	0.366	0.257	0.141	0.093	100	0.021	*	0.029	0.027
911	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	0.192	0.133	0.432	0.172	100	0.024	0.023	0.027	0.027
912	Reppisch bei Dietikon	2.044	1.178	0.547	0.360	100	0.211	0.125	0.173	0.083
913	Furtbach bei Würenlos	<b>3.282</b>	1.871	<b>1.191</b>	0.582	100	0.222	0.123	<b>0.231</b>	0.107
914	Aa bei Niederuster	1.386	0.897	0.386	0.283	100	0.133	0.068	0.185	0.081
915	Aabach bei Mönchaltorf	3.187	1.728	1.092	0.460	100	<b>0.330</b>	0.157	0.166	0.113
916	Jonen nach ARA Zwillikon	3.553	1.636	0.975	0.423	100	0.257	0.146	<b>0.231</b>	0.124
917	Jona nach Rüti	1.497	0.879	0.471	0.301	100	0.199	0.111	0.124	0.071
<b>Monatsstichproben (MSP)</b>										
109	Aa bei Niederuster	1.125	0.608	0.178	0.097	63	0.055	0.035	0.088	0.046
110	Glatt Abfluss Greifensee	0.416	0.354	0.012	0.012	0	0.038	0.029	0.030	0.027
111	Glatt bei Niederhöri	1.668	0.926	0.229	0.138	100	0.082	0.058	0.068	0.048
112	Glatt vor Rhein	1.701	0.919	0.165	0.116	100	0.077	0.054	0.063	0.047
116	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	0.212	0.127	0.157	0.051	31	0.026	0.016	0.025	0.017
119	Reppisch bei Dietikon	1.699	0.761	0.657	0.265	94	0.162	0.070	0.159	0.059
121	Jonen nach ARA Zwillikon	4.306	0.857	0.692	0.222	69	0.185	0.062	<b>0.355</b>	0.102
124	Sihl vor ARA Adliswil	0.123	0.077	0.035	0.021	0			0.014	0.013
129	Jonen nach ARA Hausen	1.785	0.738	0.668	0.195	75	0.244	0.060	0.205	0.079
131	Schwarzenbach vor Jonen	0.083	0.047						0.074	*
134	Jonen nach Affoltern	0.778	0.289	0.221	0.062	31	0.061	0.033	0.146	0.043
136	Reppisch bei Stallikon	0.048	0.027							
138	Lunnenbach vor Reppisch	0.066	0.033							
139	Reppisch vor ARA Birmensdorf	0.075	0.041							
152	Limmat Hönggersteg (Zürich)	0.114	0.093							
155	Reppisch nach ARA Birmensdorf	2.581	0.933	0.770	0.298	94	0.207	0.070	0.213	0.065
157	Furtbach vor Trockenloo-Kanal	0.423	0.093	0.061	*	6				
160	Furtbach vor ARA Buchs	2.630	1.251	1.317	0.385	100	0.224	0.081	0.138	0.062
161	Furtbach nach ARA Buchs	3.481	2.275	1.016	0.574	100	0.230	0.101	0.199	0.090
162	Furtbach vor ARA Otelfingen	3.163	1.734	0.872	0.485	100	0.223	0.094	0.251	0.087
167	Gossauerbach vor ARA Gossau	0.023	0.017	0.017	*	0				



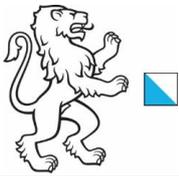
C Nr	Messstelle	Benzotriazol		Diclofenac			Carbamazepin		Sulfamethoxazol	
		Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	> CQK [%]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]	Max [µg l <sup>-1</sup> ]	Mittelw. [µg l <sup>-1</sup> ]
168	Gossauerbach nach ARA Gossau	3.237	2.144	0.914	0.555	100	0.517	0.319	0.125	0.072
169	Aabach vor Gossauerbach	0.022	0.017	0.022	0.018	0				
170	Aabach nach Gossauerbach	2.870	1.617	0.711	0.408	100	0.425	0.243	0.083	0.052
171	Aabach bei Mönchaltorf	1.295	0.630	0.539	0.181	100	0.206	0.068	0.074	0.031
172	Wildbach vor KEZO	0.109	0.033	0.012	0.012	0				
173	Wildbach nach ARA Hinwil	4.041	1.869	0.233	0.134	88	0.110	0.056	0.210	0.086
174	Aa nach ARA Wetzikon	2.350	1.201	0.468	0.224	88	0.156	0.066	0.185	0.081
176	Glatt vor Chriesbach	0.783	0.561	0.075	0.037	13	0.046	0.034	0.051	0.032
177	Chriesbach vor Glatt	6.989	1.658	0.274	0.166	100	0.060	0.039	0.105	0.050
178	Glatt ZSZ Hagenholz	1.264	0.781	0.159	0.101	100	0.054	0.043	0.056	0.040
179	Glatt vor ARA Kloten-Opfikon	1.090	0.784	0.150	0.093	88	0.052	0.041	0.045	0.038
180	Glatt nach ARA Kloten- Opfikon	1.552	1.079	0.233	0.151	88	0.067	0.051	0.067	0.048
181	Glatt bei Oberglatt	1.509	1.014	0.224	0.120	100	0.062	0.046	0.056	0.045
182	Glatt bei Hochfelden	1.706	1.006	0.200	0.147	100	0.093	0.064	0.087	0.055
198	Haselbach vor Lorze	1.228	0.559	0.302	0.096	75	0.173	0.048	0.124	0.048
207	Furtbach nach ARA Regensdorf	5.017	3.267	1.901	1.070	100	0.425	0.207	0.268	0.154
218	Surb bei Niederweningen	0.036	0.024	0.044	*	0				
227	Limmat bei Dietikon	0.335	0.187	0.048	0.029	0	0.013	*	0.017	0.013
407	Aabach Horgen vor Zürichsee	0.351	0.091	0.055	0.029	6	0.045	0.035	0.071	0.037
408	Reidbach Wädenswil vor Weiher	0.150	0.049							
409	Mülibach Richterswil	0.119	0.039							
424	Schäflibach Dietikon	0.350	0.091	0.010	*	0				
437	Lieburgerbach vor ARA Egg-Oetwil	0.058	0.028	0.029	0.023	0				
438	Lieburgerbach nach ARA Egg-Oetwil	3.617	2.007	1.448	0.527	100	0.377	0.113	0.158	0.058
445	Himmelbach vor Glatt	0.229	0.070							
446	Fischbach vor Glatt	0.053	0.037	0.011	*	0				
447	Furtbach Bülach vor Glatt	0.792	0.140	0.134	*	13			0.026	*
450	Altbach bei Kloten	0.140	0.053							
451	Altbach vor Chriesbach	14.723	3.230	0.426	0.290	100	0.106	0.061	0.143	0.075
462	Db. Windlach vor ARA Stadel									
463	Db. Windlach nach ARA Stadel	0.752	0.483	0.589	0.413	100	0.146	0.061	0.256	0.076
469	Hofibach vor Hedigen	0.043	0.024							
471	Wüeribach vor Birmensdorf	0.202	0.048							
472	Aescherbach vor Birmensdorf	0.063	0.041							
482	Glatt nach ARA Fällanden VSFM	0.884	0.667	0.094	0.057	50	0.051	0.039	0.055	0.037
490	Länggenbach vor Limmat	0.750	0.147	0.048	0.033	0				
501	Breitwieskanal vor Furtbach	0.417	0.128	0.062	0.028	6				
502	Mülibach vor Furtbach	0.050	0.026	0.114	0.063	6				
503	Bännengraben vor Furtbach	0.060	0.030	0.028	0.019	0			0.012	*
504	Oberwiesenbach vor Furtbach	0.043	0.030	0.076	*	6				
505	Harberenbach vor Furtbach	0.573	0.082	0.055	*	6				
665	Katzenbach vor Leutschenbach	0.219	0.087							
687	Chimlibach vor Glatt	0.305	0.089						0.013	*
703	Leutschenbach bei SF	7.155	2.681							

**Tabelle 3.2** Höchste gemessene Konzentration (Max) und berechneter Mittelwert (Mittelw.). Diclofenac: Prozentualer Anteil der Proben (> CQK), in denen Diclofenac in einer Konzentration oberhalb des chronischen Qualitätskriteriums (CQK, 0.05 µg l<sup>-1</sup>) nachgewiesen wurde. [Mittelwert: Mittel aller gemessenen Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze der Verbindung an der entsprechenden Messstelle.]

\* zu geringe Anzahl Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze für die entsprechende Berechnung.

Chronisches Qualitätskriterium (CQK) in µg l<sup>-1</sup>:

Benzotriazol	30
Diclofenac	0.05
Carbamazepin	0.5
Sulfamethoxazol	0.6



## 3.2 Frachten

### 3.2.1 Frachten an den Messstellen

#### Quartalswochenmischproben

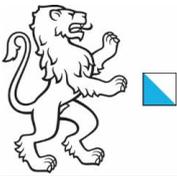
Um die Fracht einer Verbindung abzuschätzen, wurden die Frachten basierend auf den Konzentrationen der Verbindung in den einzelnen Wochenmischproben für alle Wochen berechnet und anschliessend der Mittelwert und die Standardabweichung gebildet. In Tabelle 3.3 sind die Mittelwerte der Frachten und die Standardabweichungen für die 16 Hauptmessstellen aufgelistet. Für die Berechnungen wurden die Messungen, bei denen die Konzentrationen der Verbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen, nicht berücksichtigt. Die Fracht und die Standardabweichung sind nur angegeben, wenn die Konzentrationen der entsprechenden Verbindung bei mindestens der Hälfte der Messungen (Zahl und grau hinterlegtes Feld) respektive bei allen Messungen (nur Zahl) oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Ein Strich im Feld der Fracht bedeutet, dass alle Konzentrationen der entsprechenden Verbindung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Zusätzlich sind die über die ARA angeschlossenen Einwohner für jede Hauptmessstelle angegeben. Die Hauptmessstellen sind nach aufsteigender C Nr sortiert.

C Nr	Hauptmessstelle	Benzotriazol		Diclofenac		Carbamazepin		Sulfamethoxazol		Angeschl. Einwohner
		Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	
901	Töss bei Rämismühle (Zell)	-		17.7	16.8	-		-		7100
902	Töss bei Freienstein	265.9	53.0	136.3	137.4	23.7	3.7	34.3	5.6	187015
903	Kempt vor Töss	44.0	9.1	38.2	41.4	2.4	0.1	3.0	0.4	28541
904	Eulach vor Töss	8.5	3.7	4.3	3.3	0.7	0.7	0.5	0.3	7234
905	Glatt Abfluss Greifensee	112.3	89.8	22.4	19.9	8.8	6.9	8.0	6.5	125818
906	Glatt bei Oberglatt	385.1	149.8	80.5	45.9	18.4	7.6	19.6	5.5	258791
907	Glatt vor Rhein	449.5	135.6	66.6	14.0	25.3	6.2	30.0	3.6	334905
908	Limmat Hönggersteg (Zürich)	648.5	426.4	219.3	211.8	-		-		441515
909	Limmat bei Dietikon EKZ	1695.2	680.2	624.8	281.8			98.7	9.9	851515
911	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	58.1	20.8	118.7	174.7	5.6	0.4	6.7	1.3	51888
912	Reppisch bei Dietikon	43.7	7.5	19.0	12.2	3.4	0.4	2.8	0.2	24748
913	Furtbach bei Würenlos	56.6	11.5	16.2	3.1	3.6	0.3	2.9	0.6	33566
914	Aa bei Niederuster	80.5	32.6	31.4	26.2	5.3	1.5	5.6	0.6	53833
915	Aabach bei Mönchaltorf	41.9	13.2	9.5	1.4	3.3	0.5	2.3	0.9	25849
916	Jonen nach ARA Zwillikon	27.2	3.3	6.5	1.3	1.9	0.3	2.1	0.1	20771
917	Jona nach Rüti	97.2	14.5	35.1	7.3	10.9	2.1	7.2	1.0	31735

**Tabelle 3.3** Mittlere tägliche Frachten und Standardabweichungen und Anzahl über die ARA angeschlossene Einwohner für die 16 Hauptmessstellen.

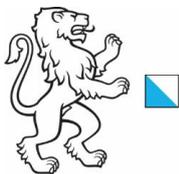
#### Monatsstichproben

Um die Fracht einer Verbindung abzuschätzen, wurden die Frachten basierend auf den Konzentrationen der Verbindung in den einzelnen Monatsstichproben für alle Messungen einzeln berechnet und anschliessend der Mittelwert und die Standardabweichung gebildet. In Tabelle 3.4 sind die Mittelwerte der Frachten und die Standardabweichungen für alle Messstellen mit Monatsstichproben aufgelistet.



Für die Berechnungen wurden die Messungen, bei denen die Konzentrationen der Verbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenzen lagen, nicht berücksichtigt. Die Fracht und die Standardabweichung sind nur angegeben, wenn die Konzentrationen der entsprechenden Verbindung bei mindestens der Hälfte der Messungen (Zahl und grau hinterlegtes Feld) respektive bei allen Messungen (nur Zahl) oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Ein Strich im Feld der Fracht bedeutet, dass alle Konzentrationen der entsprechenden Verbindung unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die Messstellen sind in absteigender Reihenfolge nach der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner geordnet.

C Nr	Messstelle	Benzotriazol		Diclofenac		Carbamazepin		Sulfamethoxazol		Angeschl. Einwohner
		Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	
227	Limmat bei Dietikon	1572.8	704.4	213.4	84.2			82.1	26.7	851515
152	Limmat Hönggersteg (Zürich)	840.3	544.4	-		-		-		441515
112	Glatt vor Rhein	696.5	468.3	84.1	44.4	38.8	16.6	32.9	11.7	334905
182	Glatt bei Hochfelden	696.9	398.6	96.4	25.9	42.0	11.5	35.5	8.8	328870
111	Glatt bei Niederhöri	631.1	391.6	85.9	29.5	36.8	10.6	30.6	9.6	298281
180	Glatt nach ARA Kloten-Opfikon	659.4	327.7	85.2	34.6	30.1	12.9	28.6	12.0	258791
181	Glatt bei Oberglatt	669.8	378.9	74.1	33.2	28.8	13.2	28.8	13.1	258791
178	Glatt ZSZ Hagenholz	454.6	289.2	54.4	28.1	23.3	9.6	22.4	10.2	224373
179	Glatt vor ARA Kloten-Opfikon	477.4	281.8	51.3	22.8	23.7	10.5	22.9	11.0	224373
176	Glatt vor Chriesbach	266.4	155.6	18.2	15.0	15.6	7.5	15.2	9.5	163818
482	Glatt nach ARA Fällanden VSFM	277.0	112.8	22.3	13.3	16.5	7.1	15.7	8.0	163818
110	Glatt Abfluss Greifensee	139.2	60.3			11.3	5.0	10.7	4.7	125818
109	Aa bei Niederuster	100.7	46.8	15.0	8.4	5.9	1.9	7.2	2.2	53833
174	Aa nach ARA Wetzikon	138.8	120.2	24.4	20.8	7.1	5.2	7.6	4.6	53833
116	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	56.9	17.2	23.4	12.5					51888
161	Furtbach nach ARA Buchs	47.8	16.8	12.2	5.6	2.0	0.8	1.9	1.1	26908
162	Furtbach vor ARA Otelfingen	43.5	21.0	12.3	6.8	2.2	1.1	2.2	2.0	26908
171	Aabach bei Mönchaltorf	46.8	21.5	11.8	5.2	4.4	2.2	1.9	1.1	25849
119	Reppisch bei Dietikon	53.0	27.8	17.5	8.1	3.6	2.1	3.5	2.9	24748
155	Reppisch nach ARA Birmensdorf	57.7	61.1	17.2	18.0	3.7	5.5	3.3	5.9	24748
124	Sihl vor ARA Adliswil	32.2	6.9	8.7	1.9	-				23310
121	Jonen nach ARA Zwillikon	21.2	10.0	5.5	2.8	1.3	0.6	2.5	1.7	20771
177	Chriesbach vor Glatt	124.2	234.3	8.0	7.4	1.6	1.6	2.3	2.2	19555
451	Altbach vor Chriesbach	136.8	271.7	7.7	6.1	1.6	1.5	2.1	1.8	19555
160	Furtbach vor ARA Buchs	20.2	11.6	6.4	5.6	1.3	0.7	1.0	0.6	17156
207	Furtbach nach ARA Regensdorf	31.7	9.0	10.8	4.5	2.0	0.5	1.5	0.8	17156
438	Lieburgerbach nach ARA Egg-Oetwil	43.3	30.3	9.9	6.8	2.1	1.4	1.1	0.7	12949
168	Gossauerbach nach ARA Gossau	30.6	16.5	7.7	4.4	4.2	2.0	1.2	1.1	12900
170	Aabach nach Gossauerbach	66.1	32.0	16.4	9.0	9.2	4.3	2.4	2.1	12900
173	Wildbach nach ARA Hinwil	85.8	106.3	4.9	3.6	1.9	0.9	2.3	0.9	10101
198	Haselbach vor Lorze	13.0	4.8	2.3	1.1	0.9	0.4	1.1	1.1	6774
129	Jonen nach ARA Hausen	9.4	6.4	2.4	1.5	0.5	0.3	1.1	1.2	3320
134	Jonen nach Affoltern	8.6	3.5	1.8	1.0			1.2	0.9	3320
463	Db. Windlach nach ARA Stadel	6.5	3.1	5.2	2.4	0.6	0.4	1.1	1.1	2026
407	Aabach Horgen vor Zürichsee	2.3	2.0							1514
131	Schwarzenbach vor Jonen			-		-				0
136	Reppisch bei Stallikon			-		-		-		0
138	Lunnerenbach vor Reppisch			-		-		-		0
139	Reppisch vor ARA Birmensdorf	1.6	1.8	-		-		-		0
157	Furtbach vor Trockenloo-Kanal	0.5	0.7			-		-		0



C Nr	Messstelle	Benzotriazol		Diclofenac		Carbamazepin		Sulfamethoxazol		Angeschl. Einwohner
		Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	Stabw. [g d <sup>-1</sup> ]	
167	Gossauerbach vor ARA Gossau	0.2	0.1			-		-		0
169	Aabach vor Gossauerbach	0.6	0.5			-		-		0
172	Wildbach vor KEZO	0.7	1.2			-		-		0
218	Surb bei Niederweningen	0.7	0.4			-		-		0
408	Reidbach Wädenswil vor Weiher	0.6	1.2	-		-		-		0
409	Mülibach Richterswil	0.5	0.7	-		-		-		0
424	Schäfli bach Dietikon	0.9	0.9			-		-		0
437	Lieburgerbach vor ARA Egg-Oetwil	0.5	0.7			-		-		0
445	Himmelbach vor Glatt	2.9	3.3	-		-		-		0
446	Fischbach vor Glatt	2.4	1.5			-		-		0
447	Furtbach Bülach vor Glatt	2.0	4.0			-		-		0
450	Altbach bei Kloten	1.1	1.7	-		-		-		0
462	Db. Windlach vor ARA Stadel	-		-		-		-		0
469	Hofibach vor Hedigen			-		-		-		0
471	Wüeribach vor Birmensdorf	0.4	0.3	-		-		-		0
472	Aescherbach vor Birmensdorf			-		-		-		0
490	Länggenbach vor Limmat	1.0	1.5			-		-		0
501	Breitwiesenkanal vor Furtbach	0.4	0.4			-		-		0
502	Mülibach vor Furtbach	0.03	0.02			-		-		0
503	Bännengraben vor Furtbach	0.05	0.03			-		-		0
504	Oberwiesenbach vor Furtbach					-		-		0
505	Harberenbach vor Furtbach	0.2	0.3			-		-		0
665	Katzenbach vor Leutschenbach	1.3	1.3	-		-		-		0
687	Chimlibach vor Glatt	1.7	3.2	-		-		-		0
703	Leutschenbach bei SF	38.5	51.2	-		-		-		0

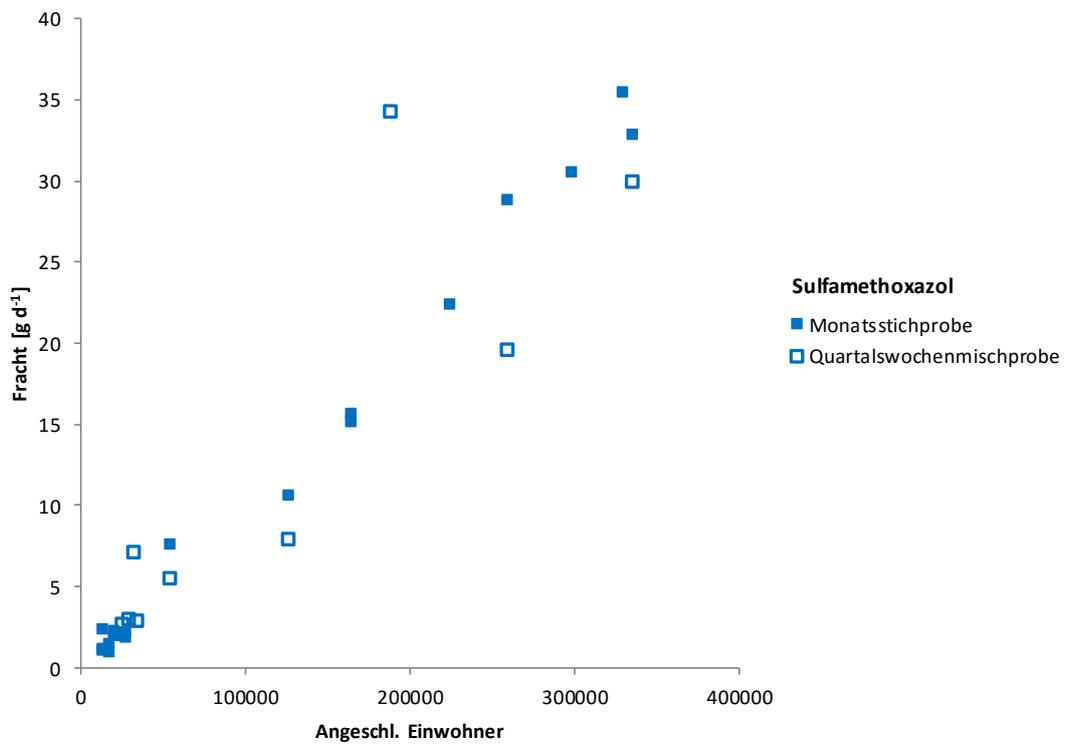
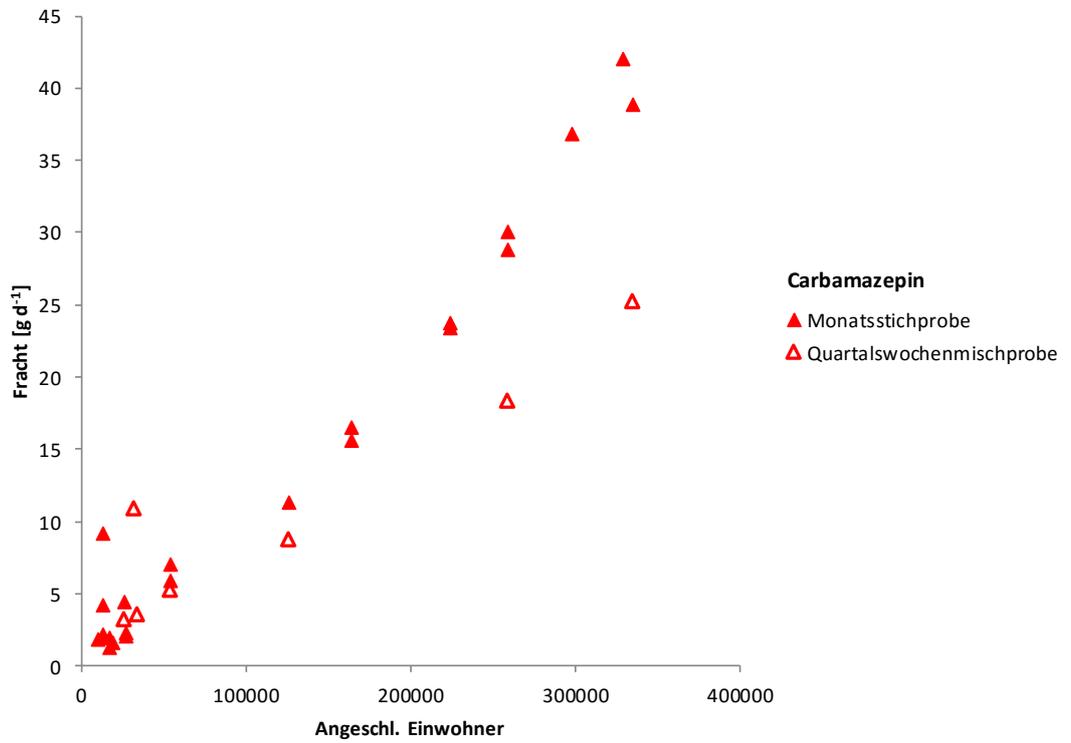
**Tabelle 3.4** Mittlere tägliche Frachten und Standardabweichungen und Anzahl über die ARA angeschlossene Einwohner für alle Messstellen mit Monatsstichproben.

Falls eine Verbindung ausschliesslich über die ARA in die Gewässer eingetragen wird und der Eintrag pro angeschlossenen Einwohner konstant ist, besteht zwischen der gemessenen Fracht an der Messstelle und den im Einzugsgebiet der Messstelle über die ARA angeschlossenen Einwohner ein linearer Zusammenhang (vgl. Kap. 3.2.2). Mit den gemessenen Frachten und den im entsprechenden Einzugsgebiet angeschlossenen Einwohnern kann zudem die Fracht pro Einwohner und Tag an der entsprechenden Messstelle ermittelt werden (vgl. Kap. 3.2.3).

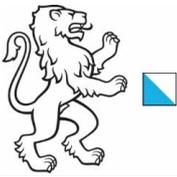
### 3.2.2 Frachten versus angeschlossene Einwohner

Der Vergleich zwischen den Mittelwerten der täglichen Frachten und der Anzahl angeschlossenen Einwohner an der entsprechenden Messstelle ist in Abbildung 3.3 für Benzotriazol und Diclofenac und in Abbildung 3.4 für Carbamazepin und Sulfamethoxazol dargestellt, wobei jeder Punkt in den Grafiken einer Messstelle entspricht. Messstellen sind nur abgebildet, wenn die Konzentrationen der Verbindung bei allen Messungen an der entsprechenden Messstelle oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen und die Anzahl angeschlossener Einwohner grösser 0 ist (vgl. Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4). Daher variiert die Anzahl der dargestellten Messstellen je nach Verbindung.





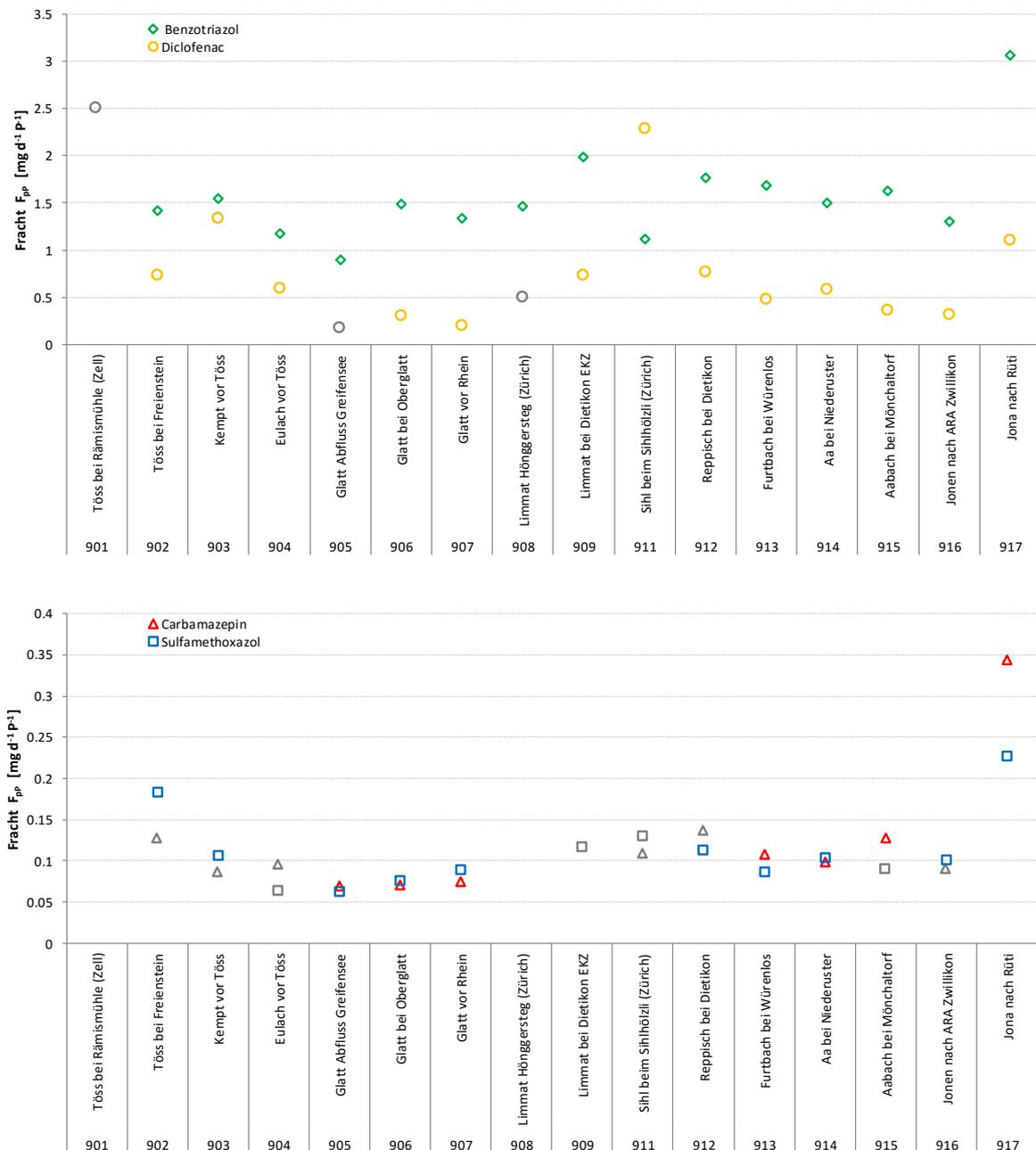
**Abbildung 3.4** Mittlere tägliche Frachten von Carbamazepin (oben) und Sulfamethoxazol (unten) versus der Anzahl angeschlossener Einwohner.



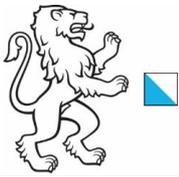
### 3.2.3 Frachten pro angeschlossenen Einwohner und Tag

#### Quartalswochenmischproben

Abbildung 3.5 zeigt für alle Hauptmessstellen die Fracht pro angeschlossenen Einwohner und Tag für Benzotriazol (grün), Diclofenac (orange), Carbamazepin (rot) und Sulfamethoxazol (blau). Die Markierungen sind grau gefärbt, wenn die Konzentrationen der entsprechenden Verbindung nicht bei allen Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen (vgl. grau hinterlegte Felder in Tabelle 3.3).



**Abbildung 3.5** Frachten pro angeschlossenen Einwohner und Tag von Benzotriazol und Diclofenac (oben) und Carbamazepin und Sulfamethoxazol (unten) für alle Hauptmessstellen.



### Monatsstichproben

Abbildung 3.6 zeigt für alle Messstellen mit Monatsstichproben die Fracht pro angeschlossenen Einwohner und Tag für Benzotriazol (grün), Diclofenac (orange), Carbamazepin (rot) und Sulfamethoxazol (blau). Die Markierungen sind grau gefärbt, wenn die Konzentrationen der entsprechenden Verbindung nicht bei allen Messungen oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen (vgl. grau hinterlegte Felder in Tabelle 3.4).

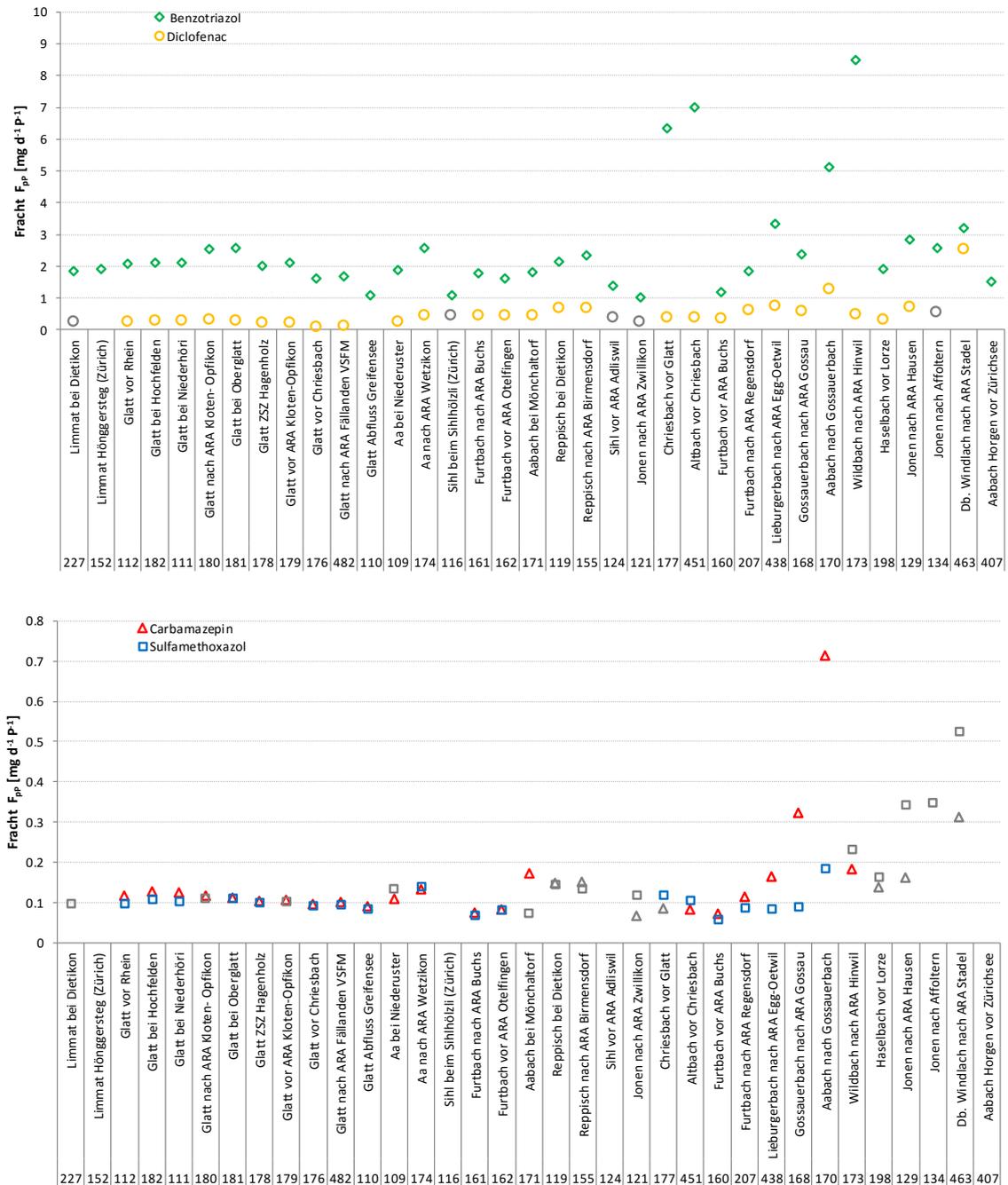


Abbildung 3.6 Frachten pro angeschlossenen Einwohner und Tag von Benzotriazol und Diclofenac (oben) und Carbamazepin und Sulfamethoxazol (unten) für alle Messstellen mit Monatsstichproben.



## 4 Diskussion

### 4.1 Nachweise

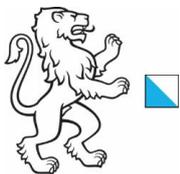
#### 4.1.1 Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze

Die vier Verbindungen Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol wurden in allen Kampagnen im Zeitraum zwischen 2013 und 2015 in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Der prozentuale Anteil der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde, ist je nach Verbindung und Kampagne unterschiedlich hoch (vgl. Tabelle 3.1). Über alle Kampagnen gesehen wurde Benzotriazol am häufigsten in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen, gefolgt von Diclofenac. Verglichen mit Benzotriazol wurden die Verbindungen Carbamazepin und Sulfamethoxazol in deutlich weniger Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden. Tabelle 4.1 zeigt für die drei unterschiedlichen Probearten (vgl. Kap. 2.1) die Anzahl (Anz.) und den prozentualen Anteil (%) der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde. Die einzelnen Kampagnen sind nach Probenart zusammengefasst.

Probenart	Monatsstichproben (MSP)		Quartalswochenmischproben (QWMP)		Wochenmischproben (WMP)	
	Anz.	%	Anz.	%	Anz.	%
Benzotriazol	654	83	60	94	103	100
Diclofenac	382	49	59	92	103	100
Carbamazepin	304	39	45	70	99	96
Sulfamethoxazol	320	41	49	77	98	95

**Tabelle 4.1** Anzahl (Anz.) und prozentualer Anteil (%) der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde.

Der Anteil der Proben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde, ist für alle vier Verbindungen bei den Wochenmischproben (WMP) am höchsten und bei den Monatsstichproben (MSP) am tiefsten. An den Hauptmessstellen «Furtbach bei Würenlos», «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» wurden sowohl Wochenmischproben (WMP) als auch Quartalswochenmischproben (QWMP) untersucht. Die relativen Häufigkeiten der Nachweise sind für alle vier Verbindungen an diesen drei Hauptmessstellen bei beiden Probenarten vergleichbar hoch. An den anderen 13 Hauptmessstellen mit Quartalswochenmischproben (QWMP) ist die relative Häufigkeit der Nachweise für die einzelnen Verbindungen teilweise deutlich tiefer (vgl. Abbildung 3.1). Bei den Monatsstichproben (MSP) fällt auf, dass die relativen Häufigkeiten der Nachweise für alle Verbindungen in der Kampagne 2013, verglichen mit der Kampagne 2014 –



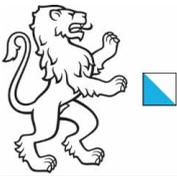
2015, deutlich höher sind (vgl. Tabelle 3.1). Bei diesen beiden Kampagnen wurden unterschiedliche Messstellen in zwei verschiedenen Gebieten untersucht (vgl. Abbildung 3.2).

#### 4.1.2 Maximale Konzentrationen und Mittelwerte

Die Mittelwerte der gemessenen Konzentrationen von Diclofenac lagen an allen Hauptmessstellen und an weiteren 30 Messstellen oberhalb dem Wert für das chronische Qualitätskriterium (CQK) von Diclofenac (vgl. Tabelle 3.2). Bei 12 Hauptmessstellen und 16 weiteren Messstellen lagen sogar alle gemessenen Konzentrationen von Diclofenac oberhalb dem CQK. Die maximale Konzentration von Carbamazepin ( $0.517 \mu\text{g l}^{-1}$ ) bei der Messstelle «Gossauerbach nach ARA Gossau» überschritt das CQK ( $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ ) von Carbamazepin. Alle anderen gemessenen Konzentrationen und alle Mittelwerte von Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol lagen bei allen Messstellen unterhalb des Werts für das CQK der entsprechenden Verbindung.

Für die Berechnung der Mittelwerte wurden nur die Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Daher wird der Mittelwert einer Verbindung überschätzt, wenn die Verbindung nicht in allen Proben an der entsprechenden Messstelle in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde (vgl. Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2). Zum Beispiel sind die angegebenen Mittelwerte für Diclofenac bei den Hauptmessstellen «Töss bei Rämismühle», «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Höggersteg» vermutlich zu hoch, da an diesen Hauptmessstellen die Konzentrationen von Diclofenac bei einem Viertel respektive der Hälfte der Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze ( $20 \text{ ng l}^{-1}$ ) lagen und daher der Mittelwert aus den Konzentrationen der verbleibenden Proben gebildet wurde. Würde man für die Berechnung des Mittelwerts die Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze berücksichtigen, beispielsweise den Wert der Bestimmungsgrenze oder  $0 \text{ ng l}^{-1}$  einsetzen, wären die Mittelwerte für die Hauptmessstellen «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Höggersteg» deutlich unterhalb des CQK.

Die angegebenen Mittelwerte sind jedoch korrekt angegeben, wenn die Verbindung in allen Proben an der entsprechenden Messstelle in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde (vgl. Abbildung 3.1 und Abbildung 3.2).



## 4.2 Frachten

Nicht nur die Konzentrationen variierten zwischen den verschiedenen Messstellen und untersuchten Verbindungen. Auch die Frachten sind je nach Messstelle und Verbindung unterschiedlich hoch (Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4). Jedoch besteht ein linearer Zusammenhang zwischen den mittleren Frachten der Verbindungen und der Anzahl über die ARA angeschlossener Einwohner an der entsprechenden Messstelle (Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4). Wobei dieser Zusammenhang bei Diclofenac weniger deutlich ist, als bei Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol.

Die Verwendung der einzelnen Verbindungen bestimmt neben der Eintragsdynamik auch die Eintragspfade, über welche die Verbindungen in die Gewässer gelangen. Der Zusammenhang zwischen den mittleren Frachten und den über die ARA angeschlossenen Einwohnern bestätigt die Annahme, dass die drei Medikamente (Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol) und der Korrosionsinhibitor (Benzotriazol) in konstanten Mengen über die ARA in die Gewässer eingeleitet werden. Betrachtet man die Variation der Frachten an den einzelnen Hauptmessstellen (Tabelle 4.2), zeigt sich, dass das Verhältnis zwischen dem unteren und dem oberen Quartil für Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol an allen Hauptmessstellen unter 2 liegt, ausser direkt nach Seeabflüssen (Hauptmessstellen «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Höngrersteg»). Das Verhältnis zwischen oberem und unterem Quartil ist bei Diclofenac an einigen Hauptmessstellen höher als 2, zudem sind an einzelnen Hauptmessstellen («Töss bei Freienstein», «Kempt vor Töss», «Sihl beim Sihlhölzli» und «Aa bei Niederuster») die Mittelwerte teilweise deutlich höher als der Median.

C Nr	Hauptmessstelle	Benzotriazol			Diclofenac			Carbamazepin			Sulfamethoxazol		
		Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ
901	Töss bei Rämismühle	*	*	*	17.7	15.6	2.9	*	*	*	*	*	*
902	Töss bei Freienstein	265.9	264.4	1.1	136.3	71.2	2.4	23.7	22.1	1.2	34.3	32.0	1.1
903	Kempt vor Töss	44.0	46.0	1.3	38.2	22.2	4.1	2.4	2.5	1.0	3.0	3.1	1.2
904	Eulach vor Töss	8.5	10.0	1.4	4.3	4.0	2.3	0.7	*	*	0.5	*	*
905	Glatt Abfluss Greifensee	112.3	108.1	5.0	22.4	*	*	8.8	8.5	5.0	8.0	7.8	5.5
906	Glatt bei Oberglatt	385.1	382.8	1.8	80.5	76.7	2.2	18.4	18.6	1.8	19.6	20.6	1.4
907	Glatt vor Rhein	449.5	418.6	1.5	66.6	69.4	1.3	25.3	24.8	1.5	30.0	30.2	1.2
908	Limmat Höngrersteg	648.5	591.1	3.0	219.3	*	*	*	*	*	*	*	*
909	Limmat bei Dietikon EKZ	1695.2	1589.0	1.9	624.8	685.2	1.6	*	*	*	98.7	*	*
911	Sihl beim Sihlhölzli	58.1	51.1	1.4	118.7	36.3	5.0	5.6	*	*	6.7	*	*
912	Reppisch bei Dietikon	43.7	44.1	1.2	19.0	16.0	2.8	3.4	3.6	1.1	2.8	2.8	1.0
913	Furtbach bei Würenlos	56.6	52.2	1.2	16.2	16.4	1.3	3.6	3.5	1.1	2.9	2.8	1.1
914	Aa bei Niederuster	80.5	82.6	1.7	31.4	22.5	3.0	5.3	4.9	1.4	5.6	5.7	1.1
915	Aabach bei Mönchaltorf	41.9	41.6	1.4	9.5	9.1	1.1	3.3	3.3	1.3	2.3	2.5	1.5
916	Jonen nach ARA	27.2	27.1	1.2	6.5	6.3	1.2	1.9	1.9	1.2	2.1	2.1	1.0
917	Jona nach Rüti	97.2	93.2	1.2	35.1	35.4	1.4	10.9	11.1	1.2	7.2	7.2	1.1

**Tabelle 4.2** Mittelwert und Median der Frachten sowie das Verhältnis zwischen dem oberen Quartil (OQ, 75 % Quantil) und dem unteren Quartil (UQ, 25 % Quantil) [Konzentrationen der entsprechenden Verbindung bei mindestens der Hälfte der Messungen (Zahl und grau hinterlegtes Feld) respektive bei allen Messungen (nur Zahl) oberhalb der Bestimmungsgrenze].

\* Keine oder zu geringe Anzahl Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze für die entsprechende Berechnung



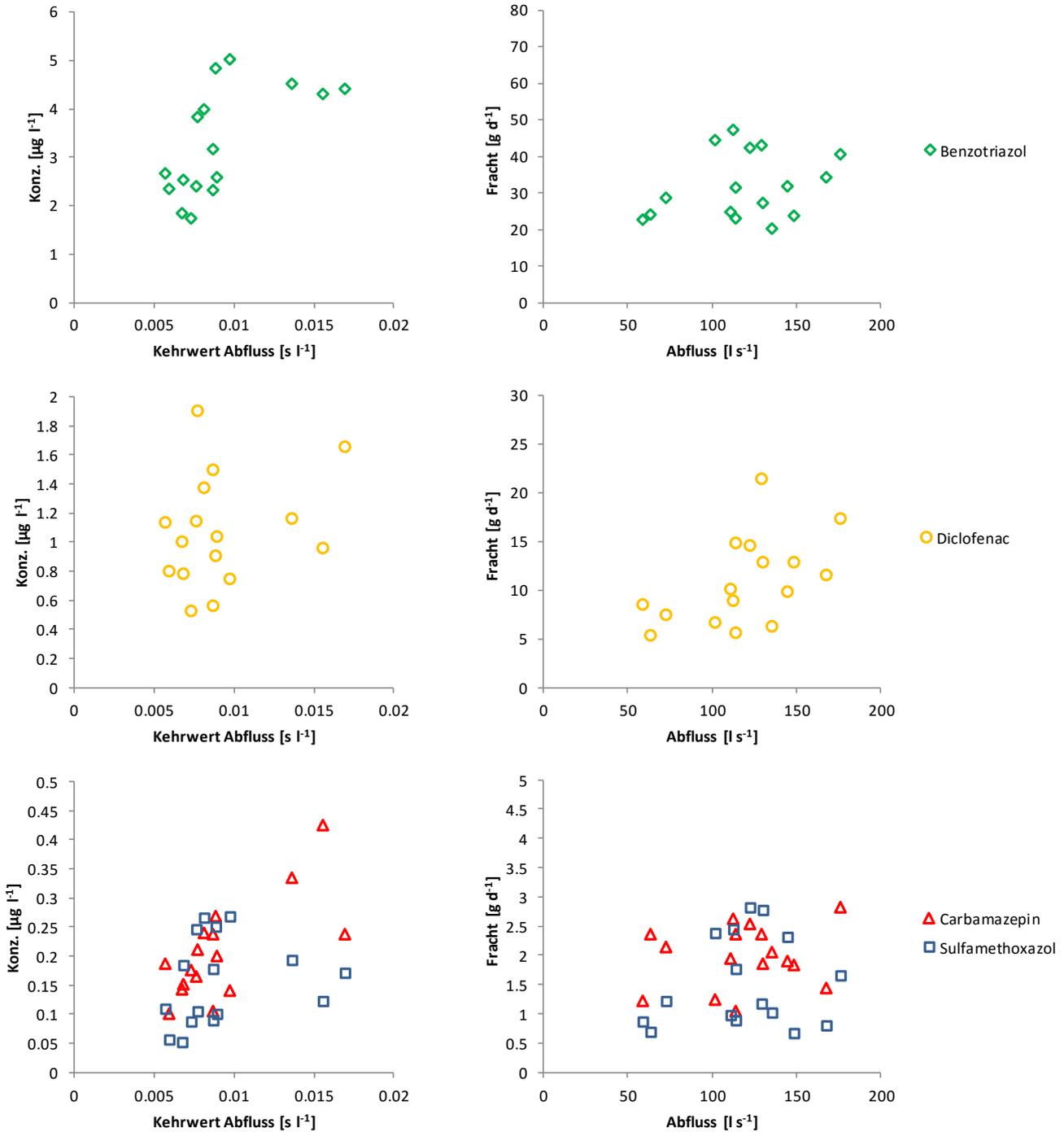
An den meisten Hauptmessstellen (Diclofenac) respektive an allen Hauptmessstellen (Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol) liegen Mittelwert und Median nahe beieinander, was auf eine Normalverteilung der Daten hindeutet. Zudem liegt das Verhältnis oberes zu unteres Quartil, abgesehen von den oben erwähnten Hauptmessstellen und Verbindungen, zwischen 1.1 und 1.9, was auf eine geringe Variation der Frachten an den entsprechenden Hauptmessstellen hindeutet. Bei den Messstellen mit Monatsstichproben zeigt sich ein ähnliches Gesamtbild (vgl. Anhang B II).

Um festzustellen, ob die Frachten von Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol an den einzelnen Messstellen konstant sind, können die Konzentrationen der Verbindungen gegenüber dem Kehrwert des Abflusses an der entsprechenden Messstelle dargestellt werden. Je besser die lineare Korrelation zwischen der Konzentration und dem Kehrwert des Abflusses, desto konstanter ist die Fracht an der entsprechenden Messstelle. Die Daten sind für den Furtbach in Abbildung 4.1 (Messstelle «Furtbach nach ARA Regensdorf») und im Anhang B I (Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos») dargestellt. Dabei ist die lineare Korrelation zwischen der Konzentration und dem Kehrwert des Abflusses gut zu erkennen und die Frachten sind für alle vier Verbindungen mehr oder weniger konstant.

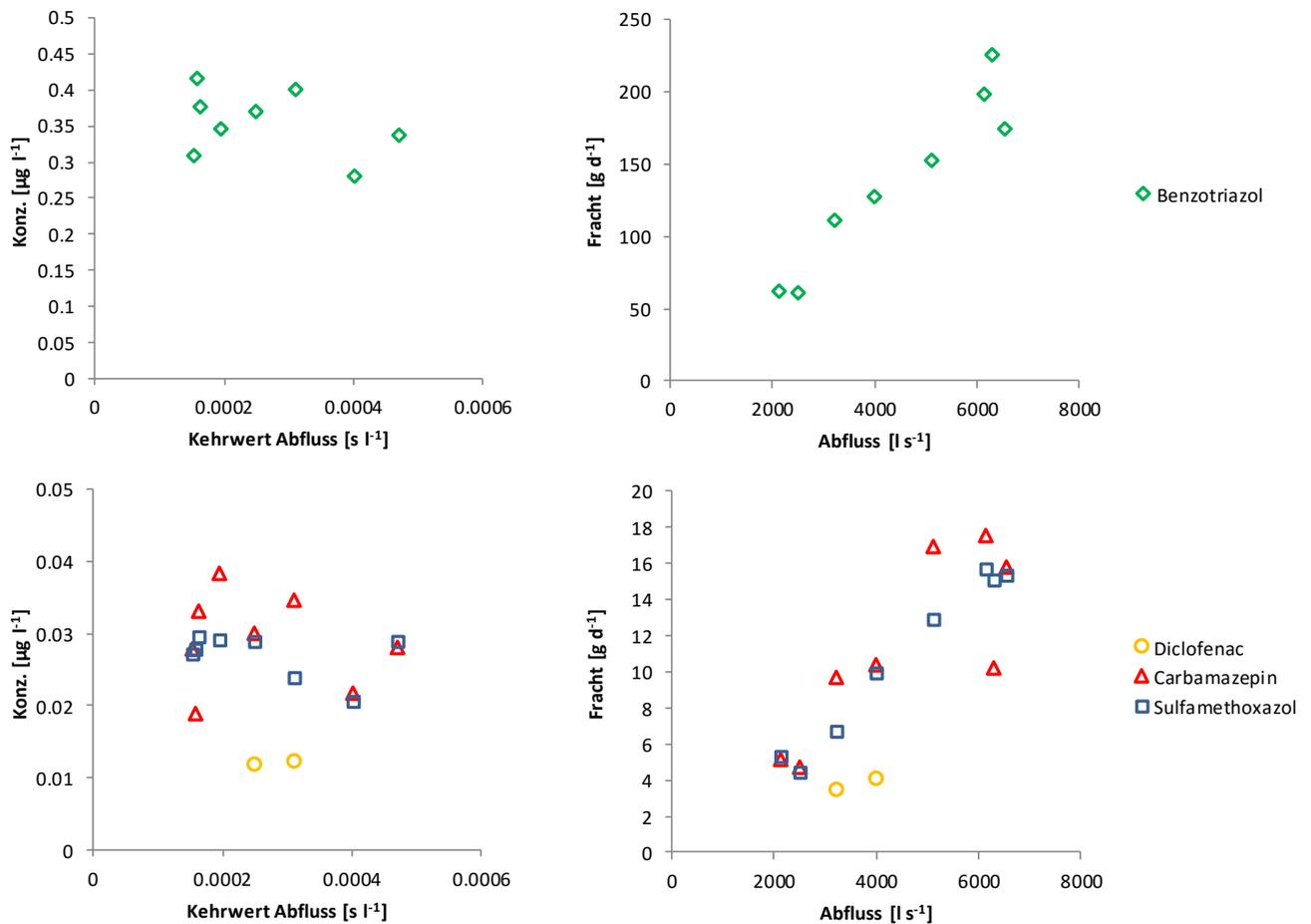
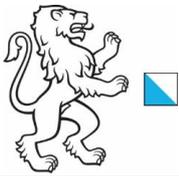
#### **4.2.1 Einfluss von Aufenthaltszeiten und Stoffeigenschaften auf die Fracht**

Dieser Verlauf der Konzentration respektive der Fracht kann jedoch durch die Aufenthaltszeit in den Gewässern und durch die Stoffeigenschaften der einzelnen Verbindungen stark beeinflusst werden.

Durch die Erhöhung der Aufenthaltszeit im Gewässersystem, zum Beispiel beim durchfliessen eines Sees (Greifensee, Zürichsee), ändert sich der Verlauf der Konzentration respektive Fracht stark. Dies ist für Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol deutlich zu erkennen. In reinen Fließgewässersystemen ohne Seen weisen diese drei Verbindungen eine konstante Fracht auf (vgl. Abbildung 4.1 und Anhang B I «Furtbach bei Würenlos»). Nach einem See (hier Greifensee) variieren die Frachten der drei Verbindungen in Abhängigkeit zum Seeabfluss (vgl. Abbildung 4.2 und Anhang B I «Glatt Abfluss Greifensee»). Die konstanten Einträge von Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol führen zu mehr oder weniger konstanten Konzentrationen dieser Verbindungen im See. Die Frachten werden durch die Abflussmenge des Seeabflusses dominiert. Dadurch ist die Variation der Frachten von Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol an der Hauptmessstelle «Glatt Abfluss Greifensee» deutlich höher, verglichen mit den anderen Hauptmessstellen (vgl. Tabelle 4.2).



**Abbildung 4.1** Konzentrationen versus Kehrwert des Abflusses (links) und Frachten versus Abfluss (rechts) der Verbindungen Benzotriazol (oben), Diclofenac (Mitte), Carbamazepin und Sulfamethoxazol (unten) an der Messstelle «Furtbach nach ARA Regensdorf» (C Nr 207) [Monatsstichproben (MSP)].



**Abbildung 4.2** Konzentrationen versus Kehrwert des Abflusses (links) und Frachten versus Abfluss (rechts) der Verbindungen Benzotriazol (oben), Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol (unten) an der Messstelle «Glatt nach Greifensee» (C Nr 110) [Monatsstichproben (MSP)].

Der Verlauf der Konzentration respektive der Fracht von Diclofenac im Abfluss des Greifensees ist nur schwer zu interpretieren, da nur in zwei Wochenmischproben und zwei Monatsstichproben Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen wurden (vgl. Abbildung 4.2 und Anhang B I «Glatt Abfluss Greifensee»). Die Konzentrationen in allen anderen Proben lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Diclofenac wird wie die anderen Verbindungen konstant in den Greifensee eingetragen. Vermutlich spielen die Stoffeigenschaften von Diclofenac für den Konzentrations- und Frachtverlauf im Abfluss des Greifensees eine wichtige Rolle. Im Gegensatz zu Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol, die im See stabil sind, wird Diclofenac im Wasser photolytisch abgebaut [8, 9]. Dadurch nehmen die Konzentrationen von Diclofenac im See je nach Jahreszeit mehr oder weniger stark ab.



#### 4.2.2 Fracht pro Einwohner und Tag

In der Tabelle 4.3 sind die durchschnittlichen Frachten pro Einwohner und Tag der Quartalswochenmischproben (QWMP) respektive Monatsstichproben (MSP) zusammengestellt (vgl. Abbildung 3.5 und Abbildung 3.6). Neben dem Mittelwert und dem Median sind für alle Verbindungen die Verhältnisse der Grössen, welche die Variation beschreiben, angegeben. Das Verhältnis oberes zu unteres Quartil liegt bei rund 1.5 (Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol), respektive bei 2.1 für Diclofenac. Obwohl sich die Messstellen in unterschiedlichen Gebieten und Fliessgewässersystemen (mit und ohne Seen) befinden und bei den Kampagnen unterschiedliche Probearten zum Einsatz kamen und teilweise in verschiedenen Jahren gemessen wurde, liegen die Hälfte aller Daten der entsprechenden Verbindung in einem relativ engen Bereich. Bei allen Verbindungen sind jedoch die Frachten pro Einwohner und Tag an einzelnen Messstellen deutlich über dem Median der entsprechenden Verbindung.

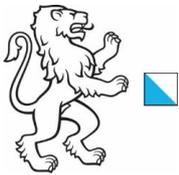
	Benzotriazol	Diclofenac	Carbamazepin	Sulfamethoxazol
<b>Quartalswochenmischproben (QWMP)</b>				
Median [ $\text{mg d}^{-1} \text{P}^{-1}$ ]	1.488	0.597	0.098	0.103
Mittelwert [ $\text{mg d}^{-1} \text{P}^{-1}$ ]	1.559	0.755	0.128	0.115
Oberes / Unteres Quartil	1.5	2.1	1.6	1.3
90 % Quantil / Minimum	2.1	6.5	3.1	3.0
Maximum / Minimum	3.4	11.5	4.9	3.6
<b>Monatsstichproben (MSP)</b>				
Median [ $\text{mg d}^{-1} \text{P}^{-1}$ ]	2.080	0.408	0.113	0.097
Mittelwert [ $\text{mg d}^{-1} \text{P}^{-1}$ ]	2.548	0.525	0.151	0.101
Oberes / Unteres Quartil	1.5	2.1	1.6	1.2
90 % Quantil / Minimum	4.3	6.6	2.5	2.2
Maximum / Minimum	8.3	23.0	9.8	3.2

**Tabelle 4.3** Variation der Frachten pro Einwohner und Tag. (oberes Quartil: 75 % Quantil; unteres Quartil: 25 % Quantil).

[Für die Berechnung der angegebenen Grössen wurden nur die Messstellen berücksichtigt, bei denen alle Konzentration der entsprechenden Verbindung oberhalb der Bestimmungsgrenze lagen].

#### 4.2.3 Vergleich der Frachten an ausgewählten Messstellen

An den drei Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» (2015), «Jonen nach ARA Zwillikon» (2015) und «Furtbach bei Würenlos» (2014) wurden Wochenmischproben (WMP) und im Jahr 2015 Quartalswochenmischproben (QWMP) entnommen. An den Stellen «Glatt vor Rhein» (2013) und «Jonen nach ARA Zwillikon» (2014 – 2015) wurden zudem Monatsstichproben im Rahmen des Routineprogramms untersucht. In Tabelle 4.4 sind die mittleren täglichen Frachten und die Frachten pro Einwohner und Tag für alle drei Probenarten aufgelistet.



	C Nr	Benzotriazol		Diclofenac		Carbamazepin		Sulfamethoxazol	
		Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	F <sub>pp</sub> [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	F <sub>pp</sub> [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	F <sub>pp</sub> [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]	Fracht [g d <sup>-1</sup> ]	F <sub>pp</sub> [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]
<b>Glatt vor Rhein</b>									
Wochenmischproben (WMP)	905	470.2	1.404	74.8	0.223	27.2	0.081	21.5	0.064
Quartalswochenmischproben (QWMP)	905	449.5	1.342	66.6	0.199	25.3	0.075	30.0	0.090
Monatsstichproben (MSP)	110	696.5	2.080	84.1	0.251	38.8	0.116	32.9	0.098
<b>Jonen nach ARA Zwillikon</b>									
Wochenmischproben (WMP)	916	23.3	1.122	6.5	0.312	1.5	0.074	1.2	0.057
Quartalswochenmischproben (QWMP)	916	27.2	1.308	6.5	0.314	1.9	0.090	2.1	0.102
Monatsstichproben (MSP)	121	21.2	1.022	5.5	0.263	1.3	0.064	2.5	0.119
<b>Furtbach bei Würenlos</b>									
Wochenmischproben (WMP)	913	64.7	1.928	12.5	0.373	3.1	0.093	3.2	0.095
Quartalswochenmischproben (QWMP)	913	56.6	1.687	16.2	0.483	3.6	0.107	2.9	0.087

**Tabelle 4.4** Mittlere tägliche Fracht (Fracht) und Fracht pro Einwohner und Tag (F<sub>pp</sub>)

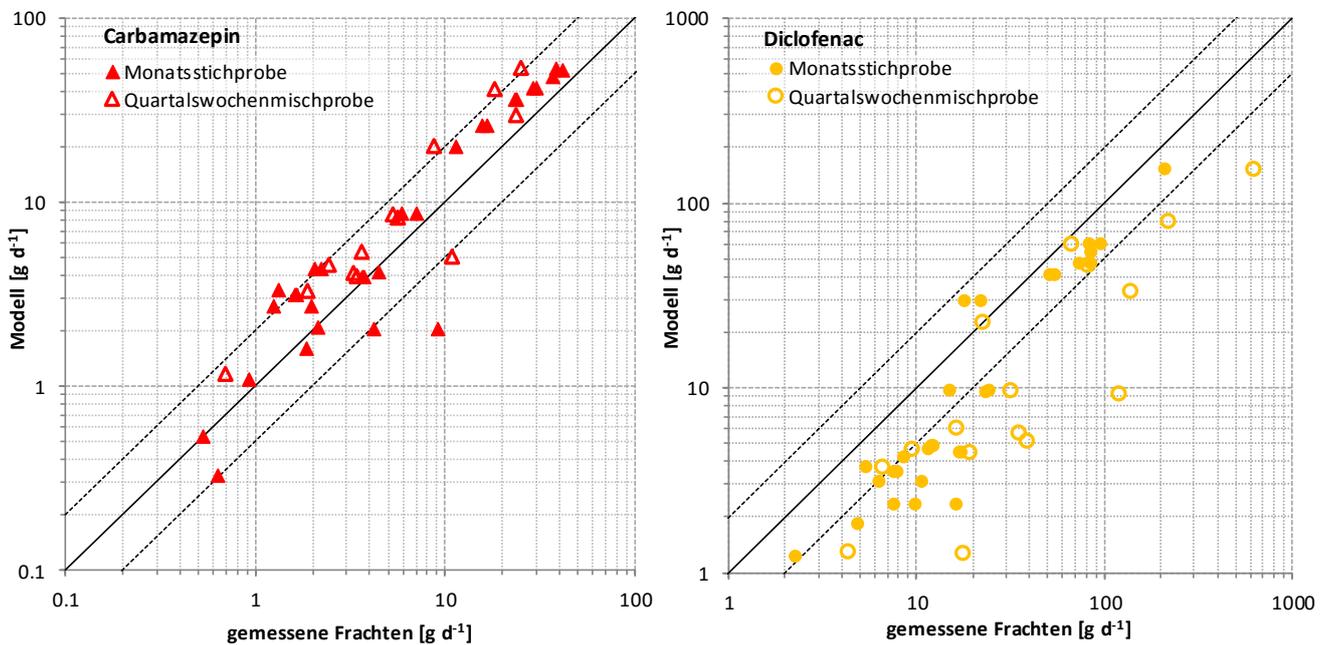
### 4.3 Vergleich der Frachtaberschätzung mit gemessenen Frachten

Mit den Werten von Ort et al. [10] für die mittlere Fracht im ARA Ablauf (vgl. Tabelle 4.5) und der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner (vgl. Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4) wurde abgeschätzt, wie viel Carbamazepin respektive Diclofenac an einer bestimmten Messstelle zu erwarten ist.

Verbindung	Mittlere Fracht im ARA Ablauf
Carbamazepin	0.160 [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]
Diclofenac	0.180 [mg d <sup>-1</sup> P <sup>-1</sup> ]

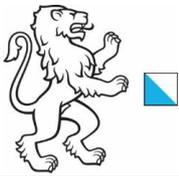
**Tabelle 4.5** Mittlere Fracht im ARA Ablauf in mg pro Tag und pro an der ARA angeschlossenen Einwohner.  
(Werte aus Ort et al. (2009) [10])

Für die Frachtaberschätzung wurden die Werte der mittleren Frachten im ARA Ablauf von Carbamazepin respektive Diclofenac mit der Anzahl über die ARA angeschlossenen Einwohner an der entsprechenden Messstelle multipliziert. Der Vergleich zwischen der Frachtaberschätzung und den gemessenen Frachten ist in Abbildung 4.3 auf der nächsten Seite dargestellt, wobei jeder Punkt einer Messstelle entspricht. Liegen die Punkte genau auf der mittleren, durchgezogenen Linie, entspricht die Frachtaberschätzung der gemessenen Fracht an der entsprechenden Messstelle. Liegt ein Punkt auf der gestrichelten Linie oberhalb oder unterhalb der durchgezogenen Linie, ist die Frachtaberschätzung doppelt respektive halb so hoch wie die gemessene Fracht an der entsprechenden Messstelle. Bei den meisten Messstellen sind die gemessenen Frachten von Carbamazepin etwas tiefer als die Frachtaberschätzung basierend auf einer mittleren Fracht im ARA Ablauf von 0.160 mg d<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup> (Punkte oberhalb der durchgezogenen Linie). Der über die gemessenen Frachten und die Anzahl angeschlossenen Einwohner berechnete Mittelwert für die Fracht pro Tag und Einwohner ist denn auch tiefer als 0.160 mg d<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup> (vgl. Tabelle 4.3). Die Frachtaberschätzungen für Carbamazepin weichen jedoch nur selten um mehr als ein Faktor 2 von den gemessenen Frachten ab. Bei Diclofenac ist die vertikale (praktisch identische Frachten, unterschiedliche Anzahl angeschlossene Einwohner) und horizontale (unterschiedliche Frachten, identische Anzahl angeschlossene Einwohner) Streuung deutlich grösser als bei Carbamazepin.



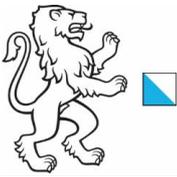
**Abbildung 4.3** Frachtabschätzung basierend auf der Anzahl über ARA angeschlossenen Einwohner im Einzugsgebiet der entsprechenden Messstellen (x-Achse) und gemessenen Frachten (y-Achse) für Carbamazepin (links) und Diclofenac (rechts). [Der Bereich der logarithmischen Skala ist für Carbamazepin (0.1 bis 100 g d<sup>-1</sup>) und Diclofenac (1 bis 1000 g d<sup>-1</sup>) unterschiedlich].

Die lineare Korrelation zwischen den gemessenen Frachten und der Anzahl über die ARA angeschlossene Einwohner ist verglichen mit Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol für Diclofenac weniger eindeutig erkennbar (vgl. Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4). Zudem ist der Faktor zwischen den gemessenen Frachten von Diclofenac und der Frachtabschätzung bei einigen Messstellen deutlich über 2 (Punkte unterhalb der unteren gestrichelten Linie). Der über die gemessenen Frachten und die Anzahl angeschlossenen Einwohner berechnete Mittelwert für die Fracht pro Tag und Einwohner für Diclofenac ist deutlich höher als 0.180 mg d<sup>-1</sup> P<sup>-1</sup> (vgl. Tabelle 4.3).



## Literaturverzeichnis

- [1] 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.*
- [2] 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.*
- [3] 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.*
- [4] 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.*
- [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 (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.*
- [7] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2016): *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.*
- [8] eawag, aquatic research. Stamm C., Scheidegger R., van der Voet J, Singer H., Bader H. (2012):  
*Organische Spurenstoffe im Rahmen von NADUF Machbarkeitsstudie – Schlussbericht.*
- [9] Tixier C., Singer H., Öllers S., Müller, S R. (2003): *Occurrence and fate of carbamazepine, clofibric acid, diclofenac, ibuprofen, ketoprofen and naproxen in surface waters.* Environmental, Science & Technology, 37.
- [10] Ort C., Siegrist H., Hollender J. (2009): *Model-Based Evaluation of Reduction Strategies for Micropollutants from Wastewater Treatment Plants in Complex River Networks.* Environmental Science & Technology, 43(9): p. 3214-3220.

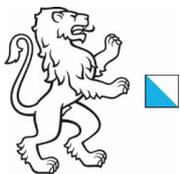


## Anhang A Messstellen

### I Übersicht Messstellen

#### Monatsstichproben

C Nr	Stellenname	Anzahl Proben	Jahr	Untersuchungsperiode	Probe
109	Aa bei Niederuster	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
110	Glatt Abfluss Greifensee	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
111	Glatt bei Niederhöri	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
112	Glatt vor Rhein	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
116	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
119	Reppisch bei Dietikon	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
121	Jonen nach ARA Zwillikon	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
124	Sihl vor ARA Adliswil	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
129	Jonen nach ARA Hausen	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
131	Schwarzenbach vor Jonen	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
134	Jonen nach Affoltern	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
136	Reppisch bei Stallikon	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
138	Lunnerenbach vor Reppisch	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
139	Reppisch vor ARA Birmensdorf	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
152	Limmat Hönggersteg (Zürich)	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
155	Reppisch nach ARA Birmensdorf	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
157	Furtbach vor Trockenloo-Kanal	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
160	Furtbach vor ARA Buchs	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
161	Furtbach nach ARA Buchs	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
162	Furtbach vor ARA Otelfingen	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
167	Gossauerbach vor ARA Gossau	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
168	Gossauerbach nach ARA Gossau	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
169	Aabach vor Gossauerbach	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
170	Aabach nach Gossauerbach	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
171	Aabach bei Mönchaltorf	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
172	Wildbach vor KEZO	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
173	Wildbach nach ARA Hinwil	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
174	Aa nach ARA Wetzikon	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
176	Glatt vor Chriesbach	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
177	Chriesbach vor Glatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
178	Glatt ZSZ Hagenholz	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
179	Glatt vor ARA Kloten-Opfikon	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
180	Glatt nach ARA Kloten- Opfikon	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
181	Glatt bei Oberglatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
182	Glatt bei Hochfelden	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
198	Haselbach vor Lorze	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
207	Furtbach nach ARA Regensdorf	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
218	Surb bei Niederweningen	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP



227	Limmat bei Dietikon	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
407	Aabach Horgen vor Zürichsee	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
408	Reidbach Wädenswil vor Weiher	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
409	Mülibach Richterswil	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
424	Schäflibach Dietikon	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
437	Lieburgerbach vor ARA Egg-Oetwil	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
438	Lieburgerbach nach ARA Egg-Oetwil	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
445	Himmelbach vor Glatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
446	Fischbach vor Glatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
447	Furtbach Bülach vor Glatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
450	Altbach bei Kloten	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
451	Altbach vor Chriesbach	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
462	Db. Windlach vor ARA Stadel	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
463	Db. Windlach nach ARA Stadel	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
469	Hofibach vor Hedigen	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
471	Wüeribach vor Birmensdorf	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
472	Aescherbach vor Birmensdorf	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
482	Glatt nach ARA Fällanden VSFM	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
490	Länggenbach vor Limmat	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
501	Breitwiesenkanal vor Furtbach	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
502	Mülibach vor Furtbach	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
503	Bännengraben vor Furtbach	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
504	Oberwiesenbach vor Furtbach	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
505	Harbererenbach vor Furtbach	16 <sup>#</sup>	2014 - 2015	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
665	Katzenbach vor Leutschenbach	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
687	Chimlibach vor Glatt	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP
703	Leutschenbach bei SF	8	2013	März - Oktober (1 Probe pro Monat)	MSP

# 8 Proben pro Jahr

Probe:

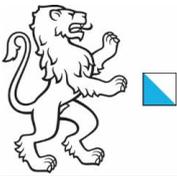
MSP Monatsstichproben

## Wochenmischproben

C Nr	Stellenname	Anzahl Proben	Jahr	Untersuchungsperiode	Probe
907	Glatt vor Rhein	35	2015	März - November (Wo 13 - 47)	WMP
913	Furtbach bei Würenlos	33	2014	März - November (Wo 12 - 45)	WMP
916	Jonen nach ARA Zwillikon	35	2015	März - November (Wo 13 - 47)	WMP

Probe:

WMP Wochenmischproben

**Quartalswochenmischproben**

C Nr	Stellenname	Anzahl Proben	Jahr	Untersuchungsperiode	Probe
901	Töss bei Rämismühle (Zell)	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
902	Töss bei Freienstein	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
903	Kempt vor Töss	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
904	Eulach vor Töss	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
905	Glatt Abfluss Greifensee	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
906	Glatt bei Oberglatt	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
907	Glatt vor Rhein	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
908	Limmat Höggersteg (Zürich)	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
909	Limmat bei Dietikon EKZ	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
911	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
912	Reppisch bei Dietikon	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
913	Furtbach bei Würenlos	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
914	Aa bei Niederuster	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
915	Aabach bei Mönchaltorf	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
916	Jonen nach ARA Zwillikon	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP
917	Jona nach Rüti	4	2015	April - November (Proben in Wo 16, 26, 36, 46)	QWMP

Probe:

QWMP Quartalswochenmischproben

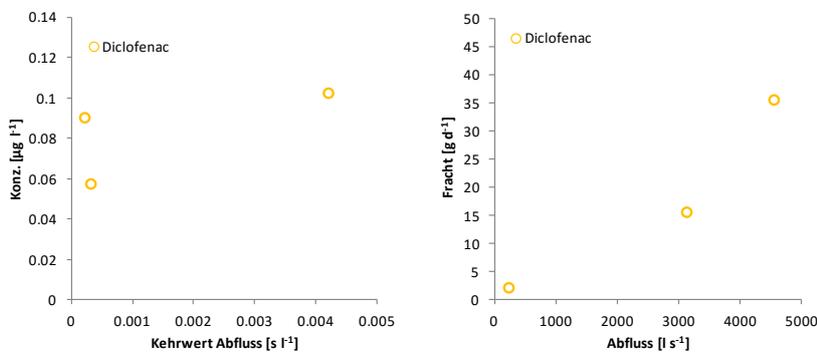


## Anhang B Resultate

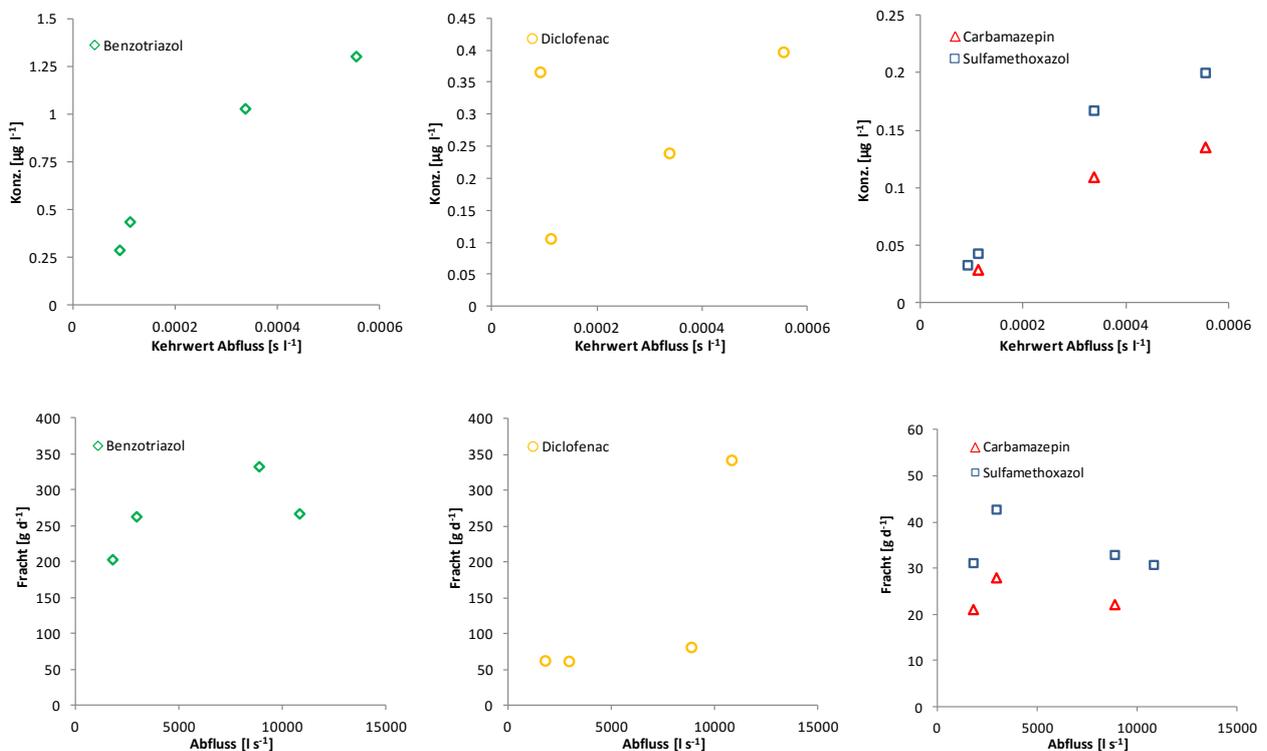
### I Konzentrationen und Frachten an den Hauptmessstellen

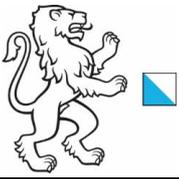
Konzentrationen versus Kehrwert des Abflusses (oben) und Frachten versus Abfluss (unten) von Benzotriazol, Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol an allen 16 Hauptmessstellen.

#### 901 Töss bei Rämismühle (Zell)

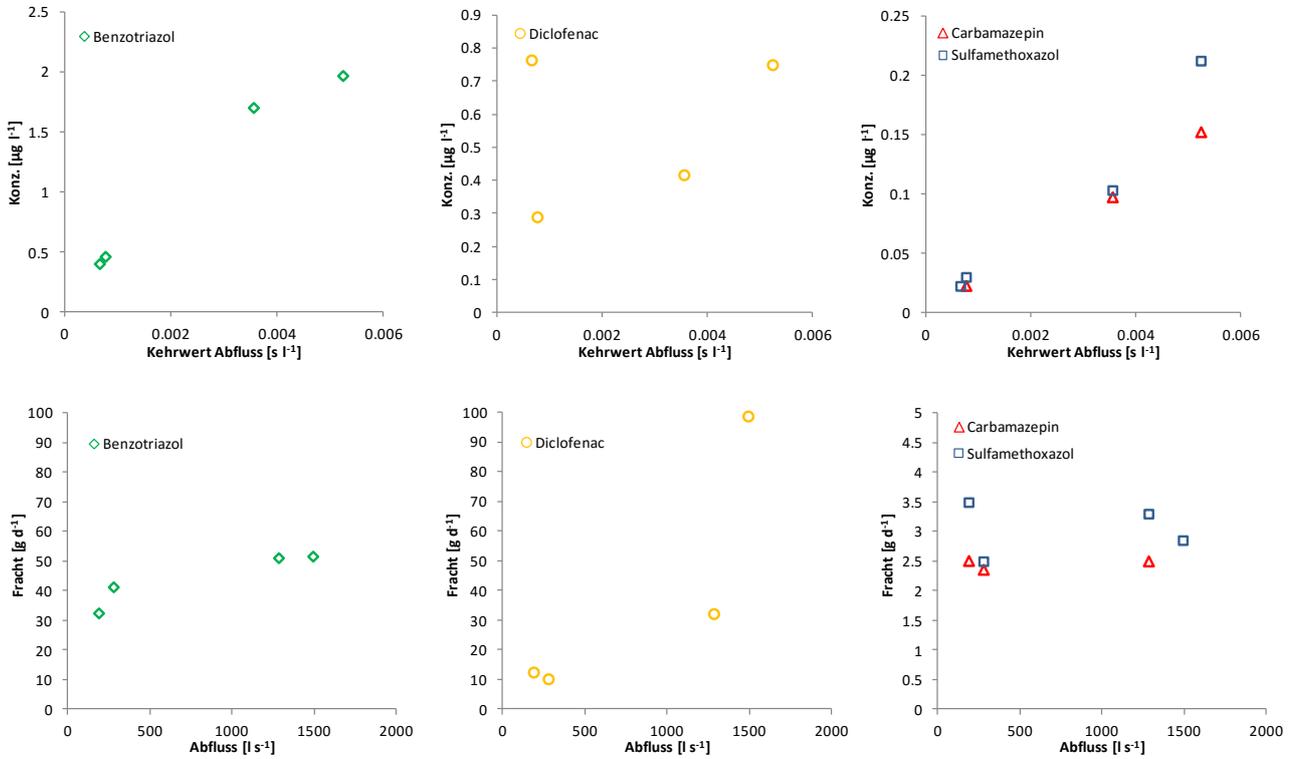


#### 902 Töss bei Freienstein

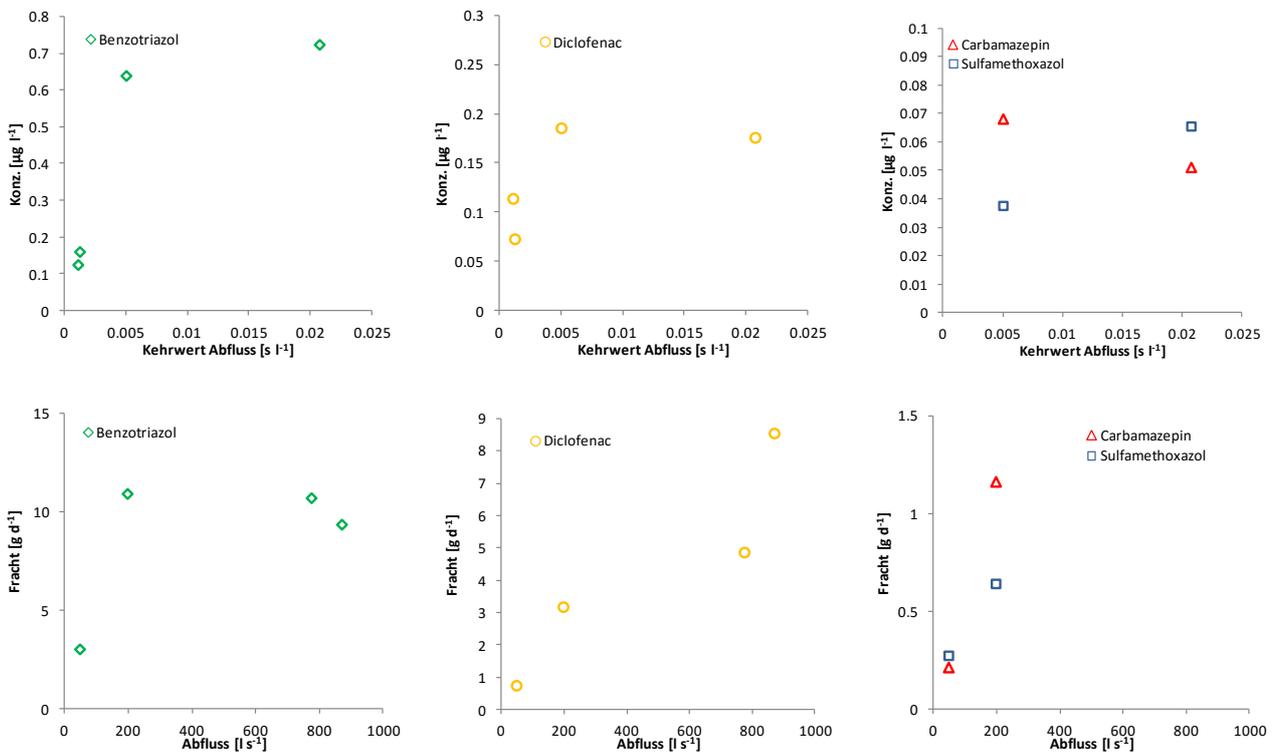


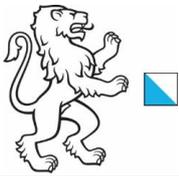


### 903 Kempt vor Töss

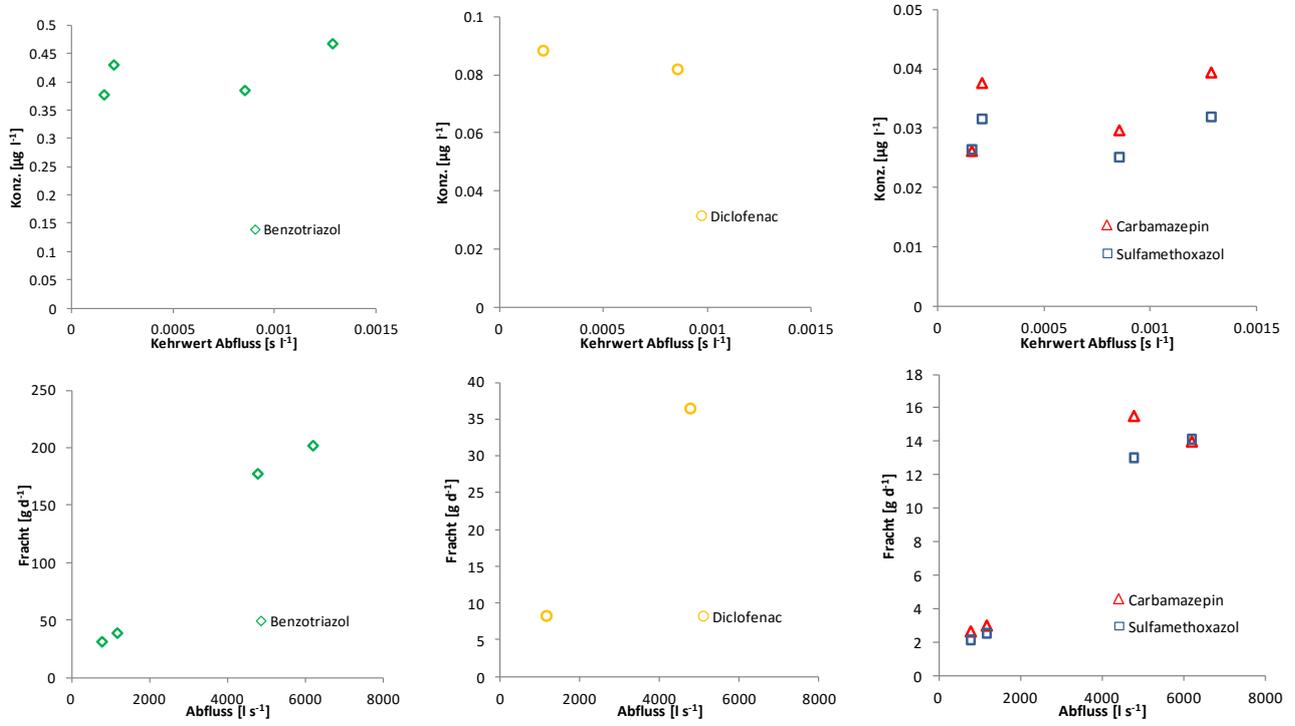


### 904 Eulach vor Töss

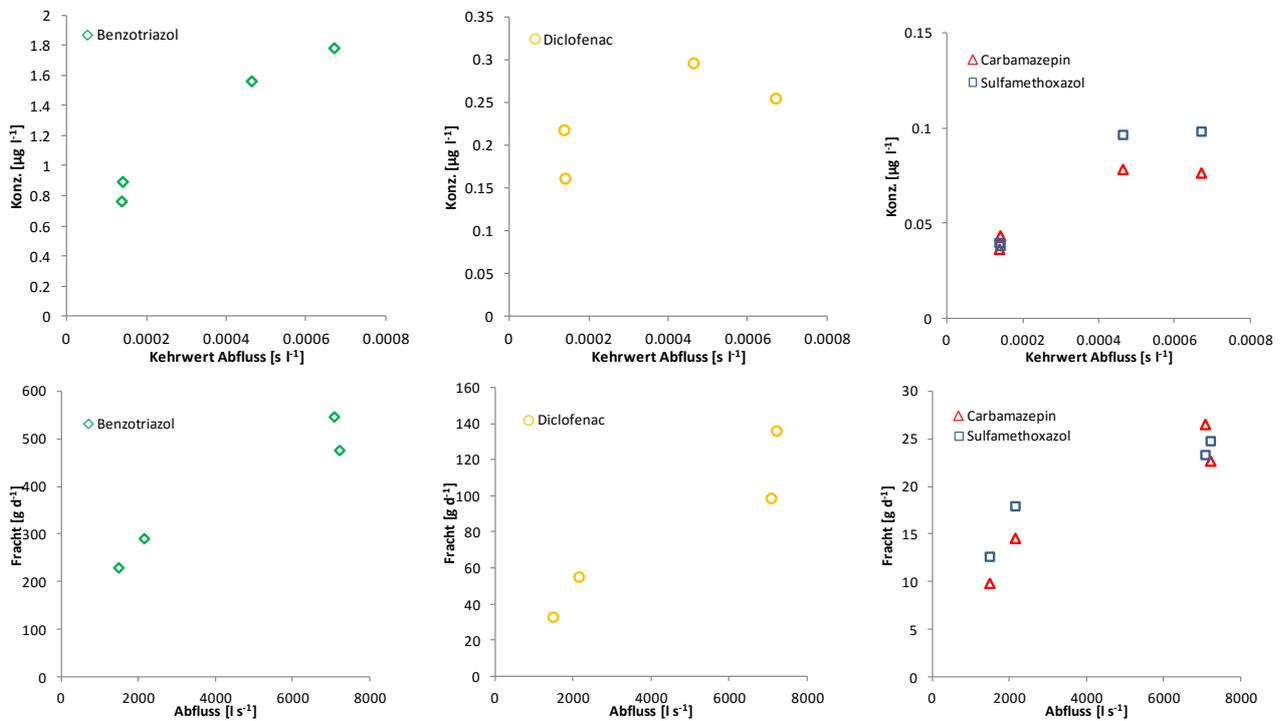


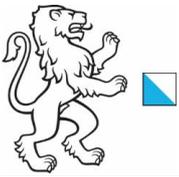


### 905 Glatt Abfluss Greifensee

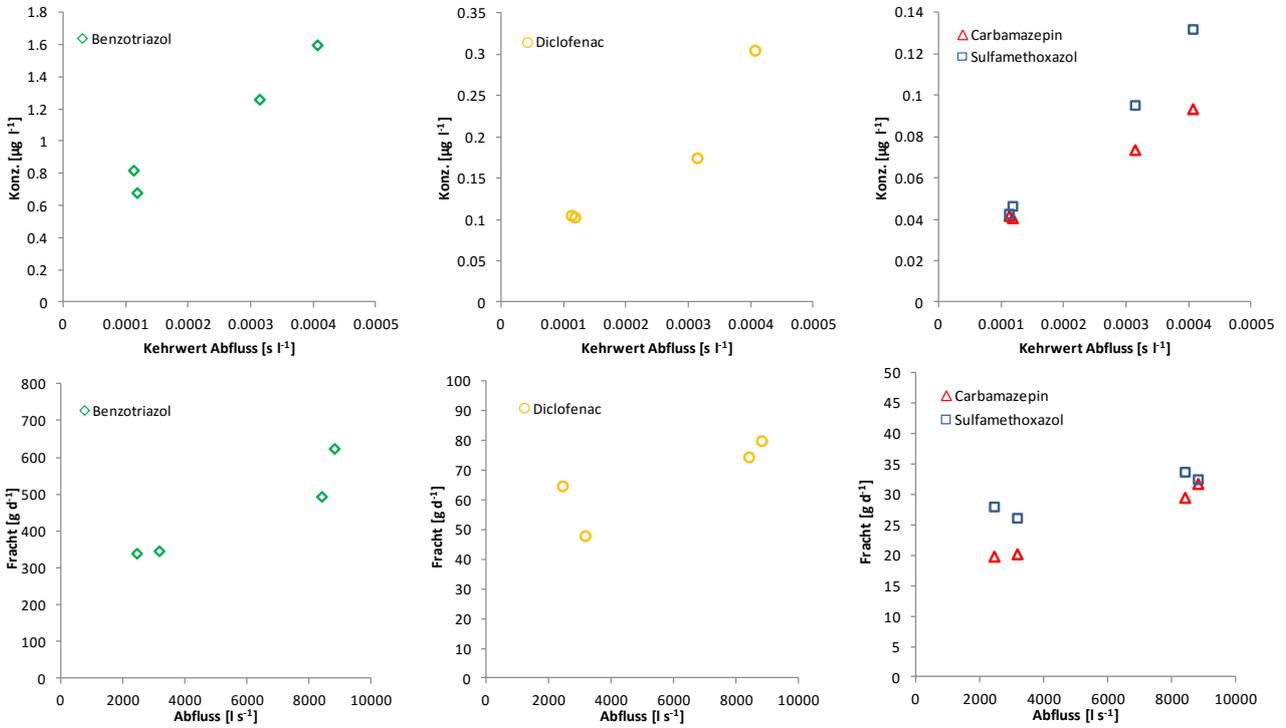


### 906 Glatt bei Oberglatt

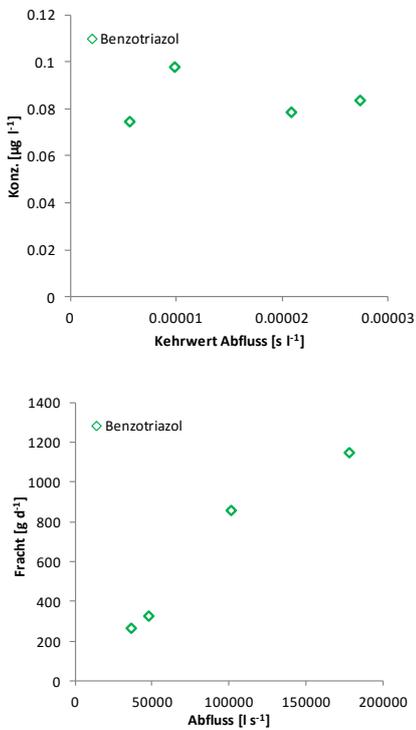


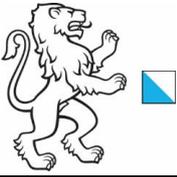


### 907 Glatt vor Rhein

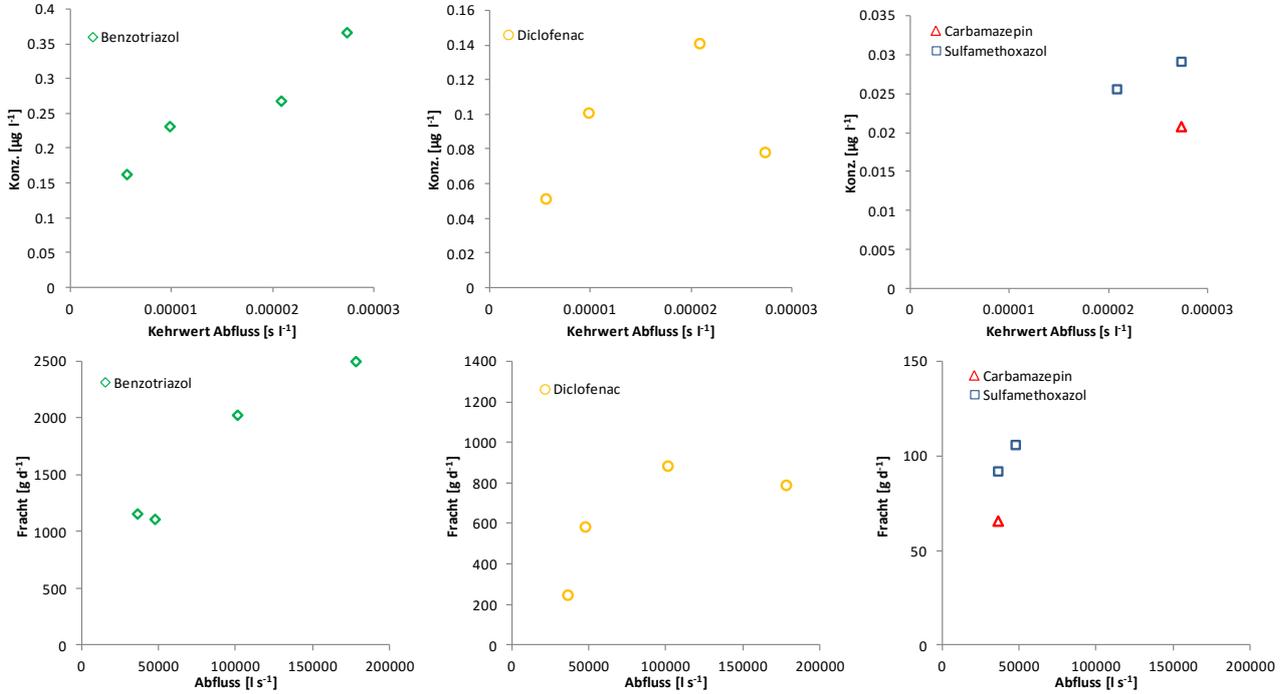


### 908 Limmat Hönigersteg (Zürich)

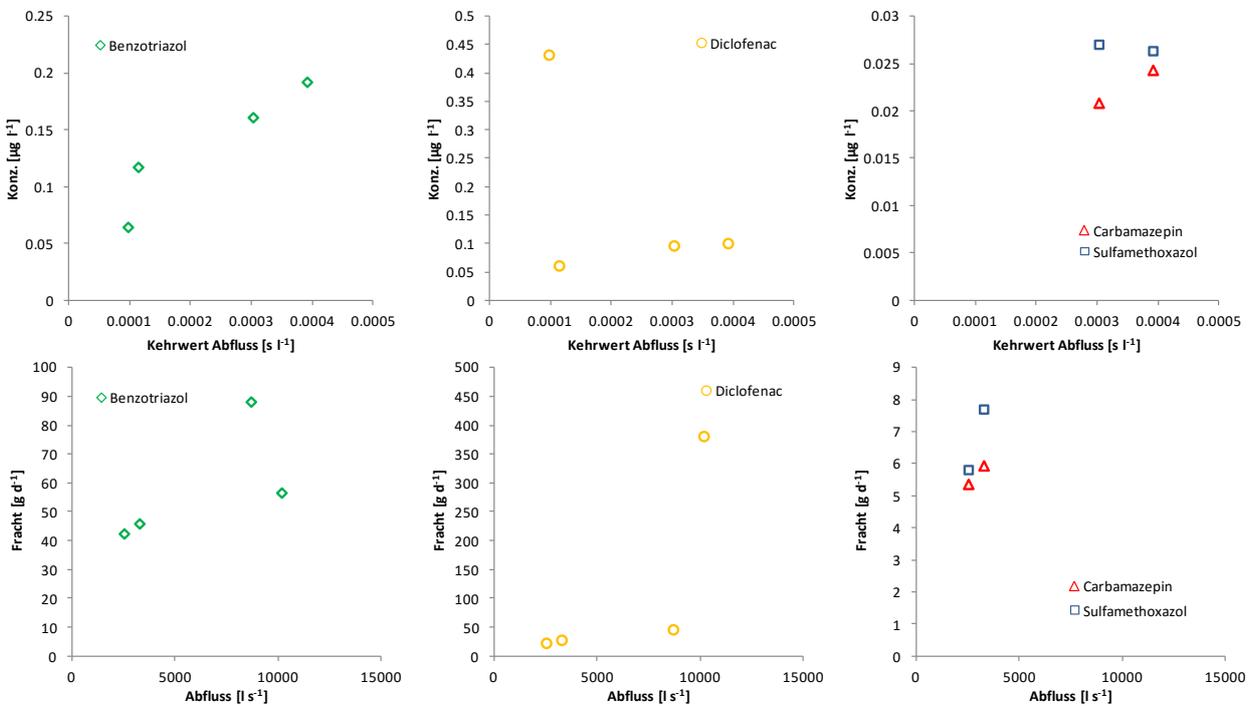




### 909 Limmat bei Dietikon EKZ

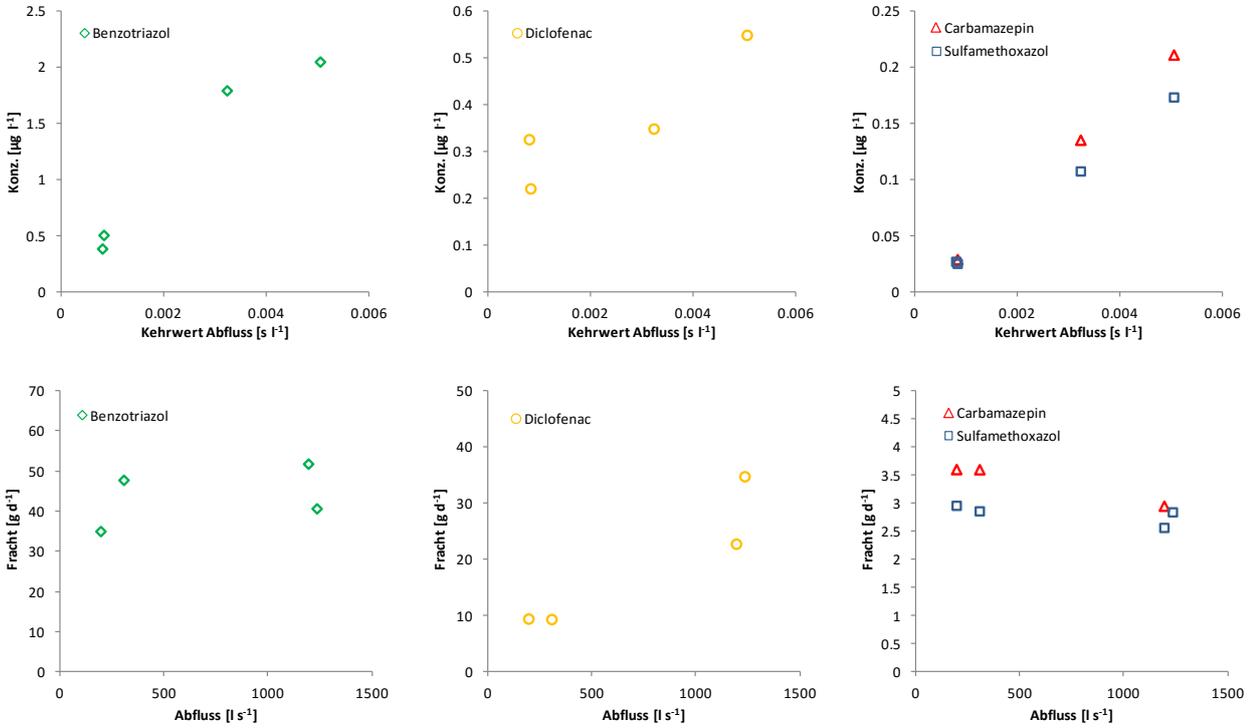


### 911 Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)

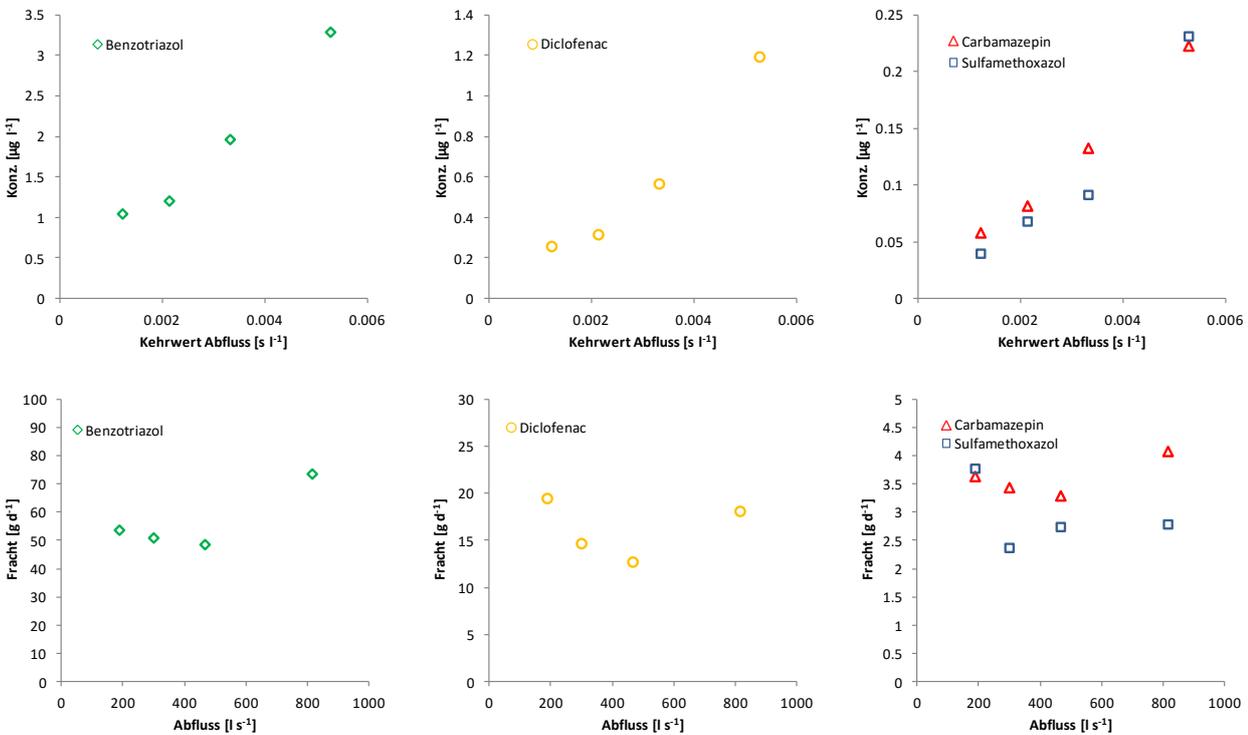


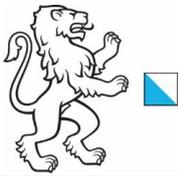


### 912 Reppisch bei Dietikon

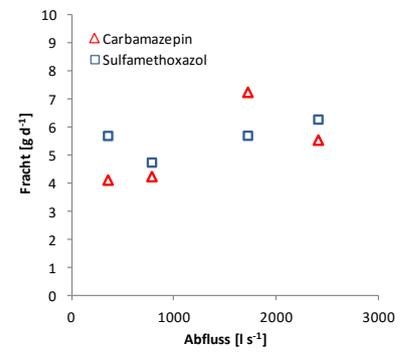
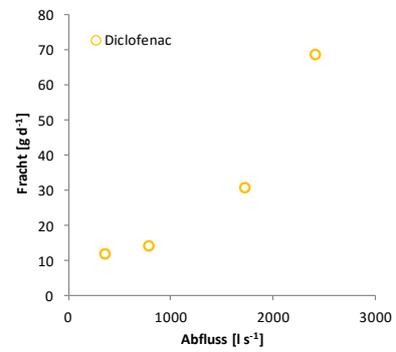
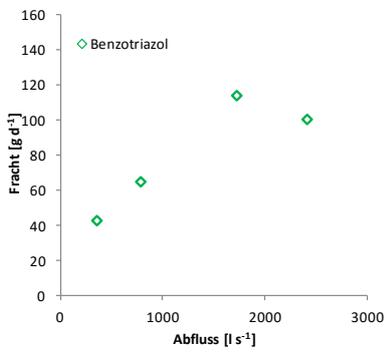
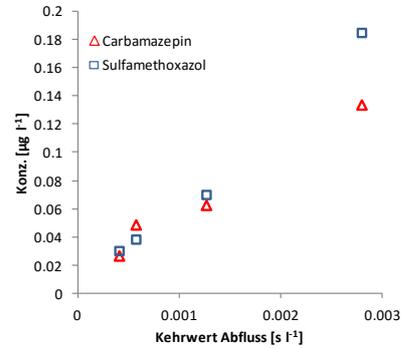
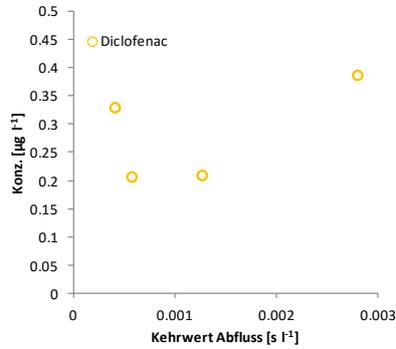
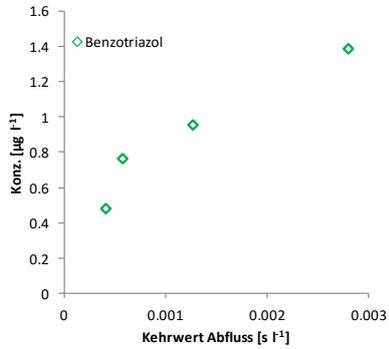


### 913 Furtbach bei Würenlos

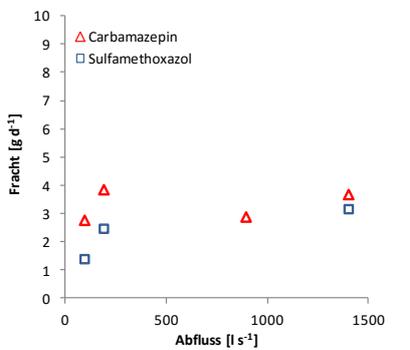
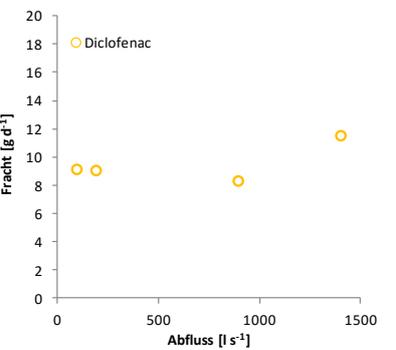
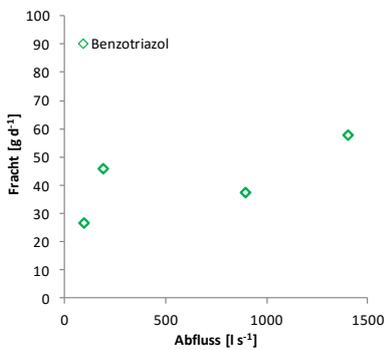
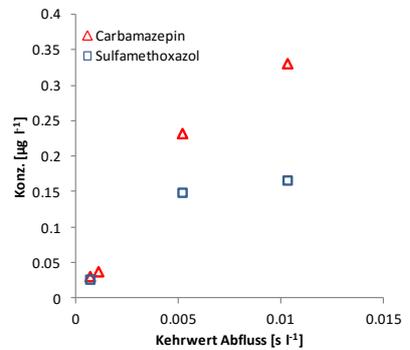
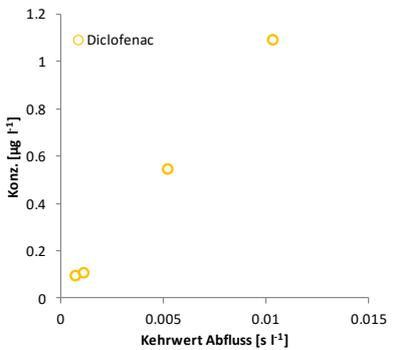
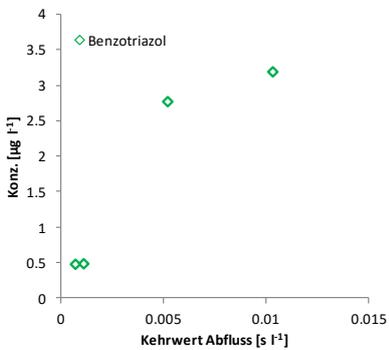




### 914 Aa bei Niederuster

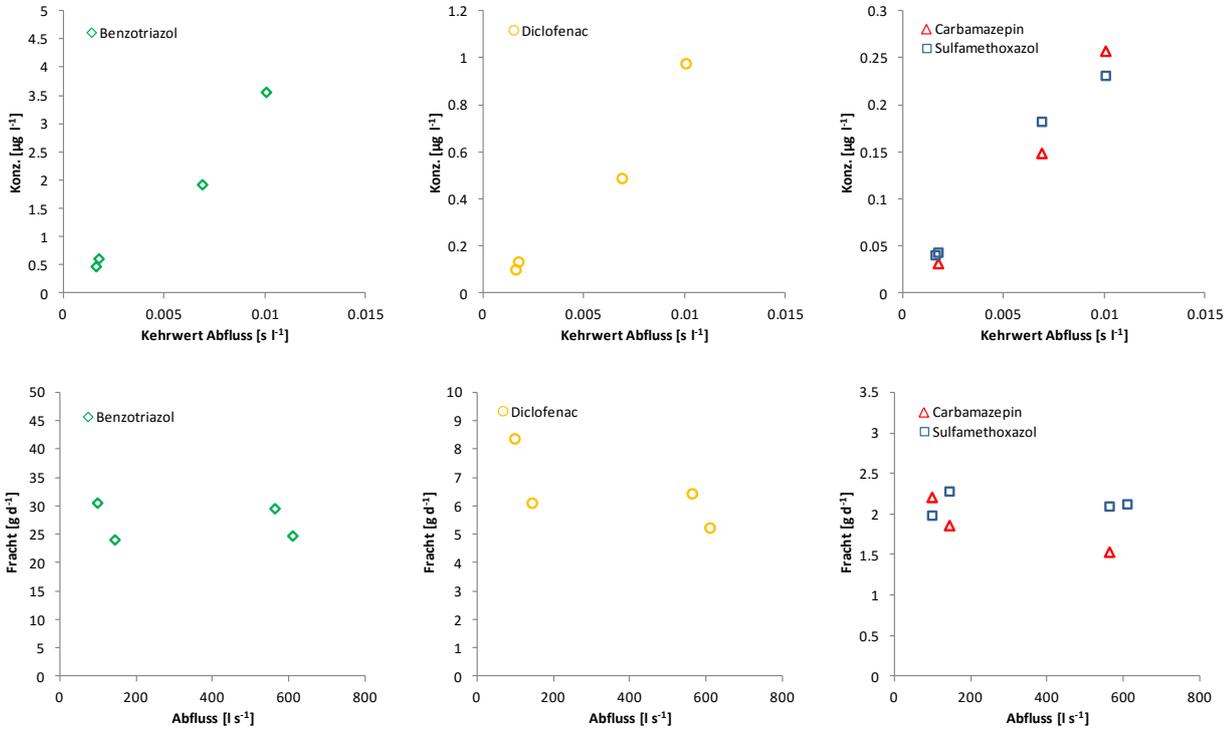


### 915 Aabach bei Mönchaltdorf

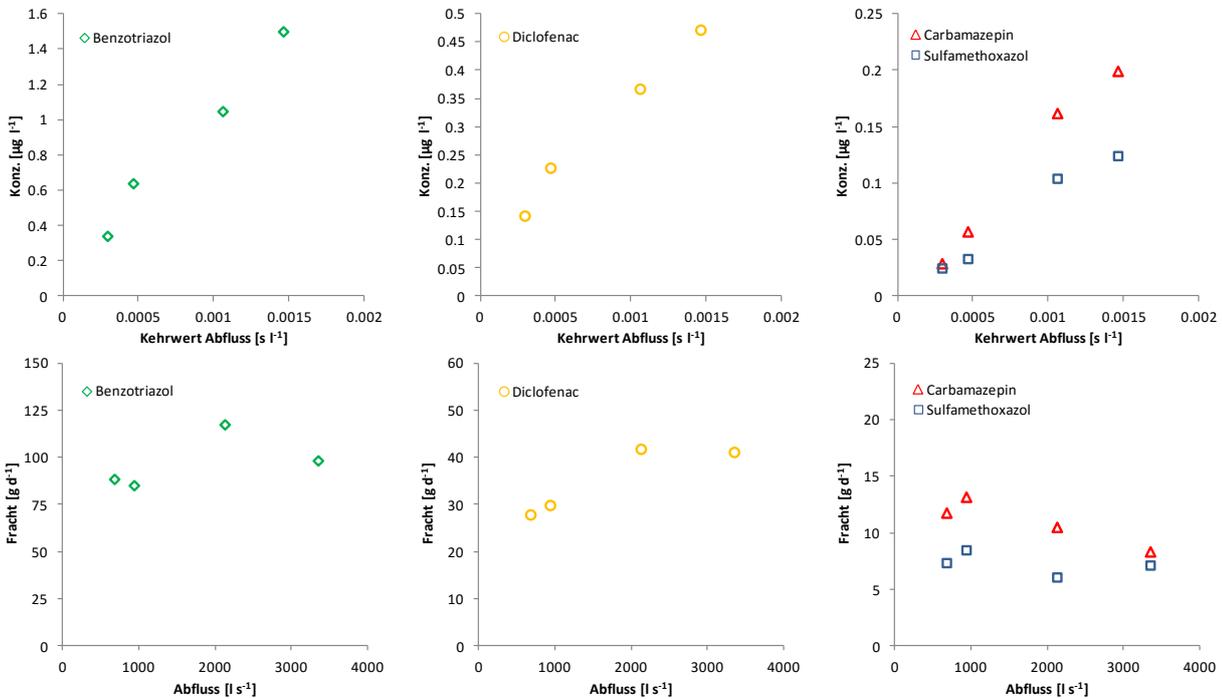


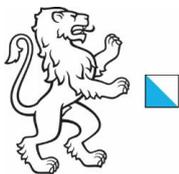


### 916 Jonen nach ARA Zwillikon



### 917 Jona nach Rüti



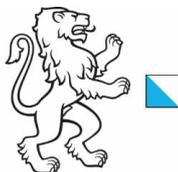


## II Variation der Frachten an Messstellen mit Monatsstichproben

C Nr	Messstelle	Benzotriazol			Diclofenac			Carbamazepin			Sulfamethoxazol		
		Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	Mittelw. [g d <sup>-1</sup> ]	Median [g d <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ
227	Limmat bei Dietikon	1572.8	1368.4	1.8	213.4	182.8	1.6	*	*	*	82.1	90.8	1.5
152	Limmat Hönggersteg (Zürich)	840.3	745.4	1.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
112	Glatt vor Rhein	696.5	496.5	1.3	84.1	72.0	1.7	38.8	35.2	1.4	32.9	30.4	1.7
182	Glatt bei Hochfelden	696.9	551.5	1.2	96.4	93.9	1.5	42.0	37.8	1.5	35.5	36.8	1.6
111	Glatt bei Niederhöri	631.1	511.5	1.4	85.9	84.0	1.7	36.8	36.2	1.4	30.6	29.9	1.6
180	Glatt nach ARA Kloten-Opfikon	659.4	520.6	1.7	85.2	80.1	1.4	30.1	25.8	1.7	28.6	27.9	1.9
181	Glatt bei Oberglatt	669.8	540.0	1.6	74.1	73.5	1.3	28.8	25.5	2.0	28.8	28.1	2.0
178	Glatt ZSZ Hagenholz	454.6	348.0	1.9	54.4	50.7	1.4	23.3	22.3	1.8	22.4	25.9	2.4
179	Glatt vor ARA Kloten-Opfikon	477.4	367.6	1.7	51.3	46.2	1.2	23.7	21.2	1.8	22.9	23.3	2.2
176	Glatt vor Chriesbach	266.4	218.9	2.1	18.2	13.5	2.0	15.6	14.6	1.9	15.2	14.1	2.0
482	Glatt nach ARA Fällanden VSFM	277.0	270.8	1.5	22.3	19.1	1.3	16.5	14.6	1.8	15.7	15.8	2.0
110	Glatt Abfluss Greifensee	139.2	140.0	1.8	*	*	*	11.3	10.3	1.9	10.7	11.4	2.4
109	Aa bei Niederuster	100.7	96.6	1.7	15.0	14.0	2.2	5.9	5.6	1.4	7.2	6.7	1.6
174	Aa nach ARA Wetzikon	138.8	112.0	4.3	24.4	18.5	3.8	7.1	6.5	4.4	7.6	6.7	2.2
116	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	56.9	53.5	1.6	23.4	20.4	1.6	*	*	*	*	*	*
161	Furtbach nach ARA Buchs	47.8	48.7	1.6	12.2	10.2	1.8	2.0	1.9	1.7	1.9	1.8	3.0
162	Furtbach vor ARA Otelfingen	43.5	37.5	1.9	12.3	9.4	1.4	2.2	1.9	1.9	2.2	2.0	2.3
171	Aabach bei Mönchaltorf	46.8	43.8	1.7	11.8	11.3	2.0	4.4	4.4	2.5	1.9	2.0	1.7
119	Reppisch bei Dietikon	53.0	46.7	2.0	17.5	16.1	1.8	3.6	3.6	2.0	3.5	2.6	1.6
155	Reppisch nach ARA Birmensdorf	57.7	48.5	1.6	17.2	12.8	1.5	3.7	2.5	1.7	3.3	1.5	2.0
124	Sihl vor ARA Adliswil	32.2	34.1	1.3	8.7	8.1	1.5	*	*	*	*	*	*
121	Jonen nach ARA Zwillikon	21.2	17.0	2.1	5.5	4.6	2.1	1.3	1.3	1.9	2.5	1.8	2.5
177	Chriesbach vor Glatt	124.2	21.5	4.9	8.0	5.1	2.5	1.6	1.0	2.5	2.3	1.6	4.3
451	Altbach vor Chriesbach	136.8	27.4	5.0	7.7	6.7	3.0	1.6	1.3	2.6	2.1	1.3	3.9
160	Furtbach vor ARA Buchs	20.2	17.5	1.4	6.4	4.4	1.8	1.3	1.0	2.1	1.0	0.9	2.1
207	Furtbach nach ARA Regensdorf	31.7	29.9	1.7	10.8	9.9	1.8	2.0	2.0	1.4	1.5	1.2	2.7
438	Lieburgerbach nach ARA Egg-Oetwil	43.3	32.3	1.5	9.9	7.1	1.8	2.1	1.7	2.6	1.1	1.0	2.7
168	Gossauerbach nach ARA Gossau	30.6	27.8	1.5	7.7	6.4	1.6	4.2	3.8	1.9	1.2	0.8	2.0
170	Aabach nach Gossauerbach	66.1	61.8	1.4	16.4	14.1	1.7	9.2	7.9	1.9	2.4	1.6	2.1
173	Wildbach nach ARA Hinwil	85.8	43.9	3.1	4.9	3.8	2.5	1.9	2.1	2.4	2.3	2.2	1.5
198	Haselbach vor Lorze	13.0	11.4	1.7	2.3	1.9	2.0	0.9	0.9	2.0	1.1	0.6	2.0
129	Jonen nach ARA Hausen	9.4	6.4	2.2	2.4	1.9	2.1	0.5	0.5	2.0	1.1	0.8	2.4
134	Jonen nach Affoltern	8.6	8.7	1.6	1.8	1.7	2.4	*	*	*	1.2	1.0	2.4
463	Db. Windlach nach ARA Stadel	6.5	7.2	2.5	5.2	4.8	1.8	0.6	0.6	2.2	1.1	0.5	4.6
407	Aabach Horgen vor Zürichsee	2.3	1.9	4.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*

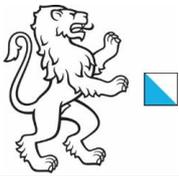
Mittelwert und Median der Frachten sowie das Verhältnis zwischen dem oberen Quartil (OQ, 75 % Quantil) und dem unteren Quartil (UQ, 25 % Quantil). Konzentrationen der entsprechenden Verbindung bei mindestens der Hälfte der Messungen (Zahl und grau hinterlegtes Feld) respektive bei allen Messungen (nur Zahl) oberhalb der Bestimmungsgrenze. Nur die Messstellen mit Anzahl angeschlossenen Einwohnern > 0 sind aufgelistet.

\* Keine oder zu geringe Anzahl Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze für die entsprechende Berechnung.



### III Variation der Konzentrationen an Messstellen mit Monatsstichproben

C Nr	Messstelle	Benzotriazol			Diclofenac			Carbamazepin			Sulfamethoxazol		
		Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min
109	Aa bei Niederuster	0.568	1.9	3.5	0.104	4.6	7.2	0.034	1.5	2.3	0.051	1.6	3.7
110	Glatt Abfluss Greifensee	0.357	1.2	1.4	*	*	*	0.029	1.3	1.9	0.028	1.1	1.4
111	Glatt bei Niederhöri	0.827	1.3	1.9	0.126	1.5	3.0	0.057	1.3	2.2	0.046	1.6	2.4
112	Glatt vor Rhein	0.792	1.3	1.9	0.121	1.7	2.5	0.051	1.5	2.1	0.049	1.3	2.6
116	Sihl beim Sihlhölzli (Zürich)	0.131	2.1	4.4	0.042	1.5	4.2	0.014	1.4	2.1	0.015	1.9	2.3
119	Reppisch bei Dietikon	0.837	3.4	59.9	0.301	4.2	34.7	0.074	3.1	12.1	0.051	5.1	11.6
121	Jonen nach ARA Zwillikon	0.538	7.3	50.5	0.142	3.9	20.3	0.047	2.8	10.9	0.068	2.0	16.8
124	Sihl vor ARA Adliswil	0.087	2.0	4.9	0.021	1.7	2.5	*	*	*	0.014	1.1	1.4
129	Jonen nach ARA Hausen	0.581	3.4	21.4	0.151	3.9	17.5	0.051	2.7	4.6	0.071	4.0	11.7
131	Schwarzenbach vor Jonen	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
134	Jonen nach Affoltern	0.210	3.2	23.5	0.043	2.5	13.5	0.029	3.4	4.5	0.034	3.1	6.3
136	Reppisch bei Stallikon	0.028	2.2	3.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
138	Lunnerenbach vor Reppisch	0.028	2.3	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*
139	Reppisch vor ARA Birmensdorf	0.046	2.3	5.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*
152	Limmat Hönggersteg (Zürich)	0.092	1.4	1.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*
155	Reppisch nach ARA Birmensdorf	0.906	3.5	62.8	0.258	4.3	32.0	0.046	2.9	7.4	0.037	2.8	15.6
157	Furtbach vor Trockenloo-Kanal	0.033	8.1	17.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
160	Furtbach vor ARA Buchs	1.064	2.2	3.9	0.275	2.1	5.9	0.063	2.7	4.9	0.058	2.5	6.4
161	Furtbach nach ARA Buchs	2.306	1.5	4.3	0.557	1.9	4.6	0.090	2.0	3.1	0.085	2.5	7.2
162	Furtbach vor ARA Otelfingen	1.846	1.9	3.6	0.422	2.0	4.1	0.078	2.0	5.0	0.080	2.2	7.6
167	Gossauerbach vor ARA Gossau	0.018	1.4	1.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*
168	Gossauerbach nach ARA Gossau	1.994	1.8	2.6	0.584	1.3	3.4	0.319	1.6	5.7	0.067	2.0	4.0
169	Aabach vor Gossauerbach	0.021	1.8	2.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
170	Aabach nach Gossauerbach	1.443	1.6	3.0	0.406	1.2	4.3	0.238	1.9	6.2	0.058	1.8	3.4
171	Aabach bei Mönchaltorf	0.539	1.3	2.8	0.130	1.5	5.4	0.045	2.0	5.3	0.024	1.4	4.0
172	Wildbach vor KEZO	0.019	2.1	4.9	*	*	*	*	*	*	*	*	*
173	Wildbach nach ARA Hinwil	1.794	1.3	5.4	0.128	1.1	4.5	0.050	1.8	3.4	0.051	2.2	4.8
174	Aa nach ARA Wetzikon	1.151	2.1	4.2	0.221	1.8	7.1	0.055	1.6	5.2	0.077	1.9	5.1
176	Glatt vor Chriesbach	0.515	1.1	1.4	0.036	1.3	2.3	0.034	1.3	1.8	0.030	1.2	1.6
177	Chriesbach vor Glatt	0.925	2.1	8.4	0.135	2.1	3.2	0.039	1.6	3.6	0.034	2.7	5.2
178	Glatt ZSZ Hagenholz	0.702	1.3	1.7	0.088	1.8	2.2	0.044	1.2	2.3	0.041	1.3	2.0
179	Glatt vor ARA Kloten-Opfikon	0.759	1.5	2.1	0.092	1.8	3.1	0.044	1.2	2.6	0.040	1.4	1.7
180	Glatt nach ARA Kloten- Opfikon	1.041	1.4	1.8	0.145	1.5	3.2	0.055	1.3	2.6	0.051	1.3	1.9
181	Glatt bei Oberglatt	0.867	1.3	1.9	0.115	1.5	2.7	0.047	1.2	3.3	0.051	1.4	2.2
182	Glatt bei Hochfelden	0.911	1.4	1.9	0.150	1.4	2.4	0.060	1.5	2.3	0.055	1.4	2.8
198	Haselbach vor Lorze	0.450	2.2	43.4	0.067	2.4	12.9	0.033	3.0	6.5	0.038	2.7	7.5
207	Furtbach nach ARA Regensdorf	2.906	1.8	2.7	1.013	1.5	3.0	0.192	1.6	3.1	0.146	2.1	5.0
218	Surb bei Niederweningen	0.027	2.0	3.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
227	Limmat bei Dietikon	0.180	1.5	1.9	0.026	2.1	2.8	*	*	*	0.012	1.2	1.5
407	Aabach Horgen vor Zürichsee	0.048	2.7	19.7	0.029	1.5	3.3	0.041	1.3	3.3	0.030	2.5	*
408	Reidbach Wädenswil vor Weiher	0.033	3.8	9.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*
409	Mülibach Richterswil	0.026	2.6	5.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*
424	Schäflibach Dietikon	0.069	3.1	20.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
437	Lieburgerbach vor ARA Egg-Oetwil	0.025	1.6	3.4	*	*	*	*	*	*	*	*	*
438	Lieburgerbach nach ARA Egg-Oetwil	2.091	2.0	3.3	0.443	2.1	5.8	0.088	2.2	4.6	0.050	2.8	6.5
445	Himmelbach vor Glatt	0.041	3.1	8.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
446	Fischbach vor Glatt	0.040	1.7	3.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
447	Furtbach Bülach vor Glatt	0.023	2.8	30.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
450	Altbach bei Kloten	0.025	6.7	11.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*
451	Altbach vor Chriesbach	1.614	1.6	9.5	0.305	1.5	2.1	0.059	1.5	2.1	0.056	2.2	3.1



C Nr	Messstelle	Benzotriazol			Diclofenac			Carbamazepin			Sulfamethoxazol		
		Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min	Median [µg l <sup>-1</sup> ]	OQ / UQ	90Q / Min
462	Db. Windlach vor ARA Stadel	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
463	Db. Windlach nach ARA Stadel	0.507	1.4	2.9	0.460	1.9	4.0	0.049	2.1	6.1	0.041	2.1	7.5
469	Hofibach vor Hedigen	0.020	1.1	1.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
471	Wüeribach vor Birmensdorf	0.023	3.7	7.3	*	*	*	*	*	*	*	*	*
472	Aescherbach vor Birmensdorf	0.038	1.7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
482	Glatt nach ARA Fällanden VSFM	0.631	1.4	1.7	0.055	1.9	4.6	0.042	1.3	2.0	0.034	1.2	1.5
490	Länggenbach vor Limmat	0.036	3.8	44.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*
501	Breitwiesenkanal vor Furtbach	0.130	3.3	11.6	0.022	1.9	3.2	*	*	*	*	*	*
502	Mülibach vor Furtbach	0.023	1.9	4.6	*	*	*	*	*	*	*	*	*
503	Bännengraben vor Furtbach	0.028	2.0	3.5	*	*	*	*	*	*	*	*	*
504	Oberwiesenbach vor Furtbach	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
505	Harberenbach vor Furtbach	0.045	2.7	11.8	*	*	*	*	*	*	*	*	*
665	Katzenbach vor Leutschenbach	0.052	3.1	7.1	*	*	*	*	*	*	*	*	*
687	Chimlibach vor Glatt	0.039	3.3	16.2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
703	Leutschenbach bei SF	1.782	7.4	24.0	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Median der Konzentrationen sowie das Verhältnis zwischen dem oberen Quartil (OQ, 75 % Quantil) und dem unteren Quartil (UQ, 25 % Quantil) und das Verhältnis zwischen dem 90 % Quantil (90Q) und dem Minimum (Min) der Konzentrationen.

\* keine oder zu geringe Anzahl Messwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze für die entsprechende Berechnung.