

Untersuchung der Frachten der Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie in den Quartalsproben 2015 bis 2019

1	Einleitung.....	3
2	Methode.....	8
2.1	Messprogramme	8
2.2	Untersuchte Verbindungen.....	8
2.3	Berechnung der Frachten.....	9
2.3.1	Frachten an einer Messstelle	9
2.3.2	Vergleich der mittleren Fracht pro Einwohner bei verschiedenen Messstellen.....	10
2.3.3	Mittlere Frachten im Kanton Zürich.....	11
3	Resultate.....	12

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schöpfautomat bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos».....	3
Abb. 2: Lage der Hauptmessstellen im Kanton Zürich	5
Abb. 3: Mittlerer Abfluss pro Einwohner an den Hauptmessstellen.	6

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Landeskoordinaten der Hauptmessstellen und Art der Probenahme	5
Tab. 2: Grösse Einzugsgebiet und Anzahl Einwohner; Anteile Wald, Siedlung und Landwirtschaft im EZG; Anteil Abwasser.....	5
Tab. 3: Mittlere Abflüsse an den Hauptmessstellen	6
Tab. 4: Messprogramme	8
Tab. 5: Untersuchte Verbindungen	9

1 Einleitung

Organische Spurenstoffe¹, die ihren Ursprung in Industrie und Haushalt haben, gelangen hauptsächlich über Abwasserreinigungsanlagen ARA in die Gewässer. Diese Verbindungen – im vorliegenden Bericht Mikroverunreinigungen ARA genannt – stammen z.B. aus Reinigungs- und Geschirrspülmitteln, Lebensmitteln oder Medikamenten. Da diese Produkte über das Jahr hinweg in mehr oder weniger gleichbleibenden Mengen verwendet werden, kann man annehmen, dass auch der Eintrag der Mikroverunreinigungen ARA in die ARA und von dort in die Gewässer mehr oder weniger konstant ist. Ein Fließgewässer sollte also an einer bestimmten Stelle immer die etwa gleiche Fracht einer bestimmten Mikroverunreinigung ARA mit sich führen.

Die Kampagnen bei den Hauptmessstellen² des Kantons Zürich bieten den idealen Rahmen für Untersuchungen, die für die Bestätigung dieser Hypothese geeignet sind. Erstens misst man an diesen Stellen die Abflüsse, zweitens sind dort Automaten zur abfluss- oder zeitproportionalen Entnahme von Tagesmischproben installiert (*Abb. 1*). Vor der Analyse können die Tagesmischproben zu grösseren Proben vereint werden, z.B. zu Halbwochen-, Wochen- oder Zweiwochenmischproben. Aus den Konzentrationen, die in den Mischproben gemessen werden, und den Abflüssen kann man anschliessend die Frachten berechnen.

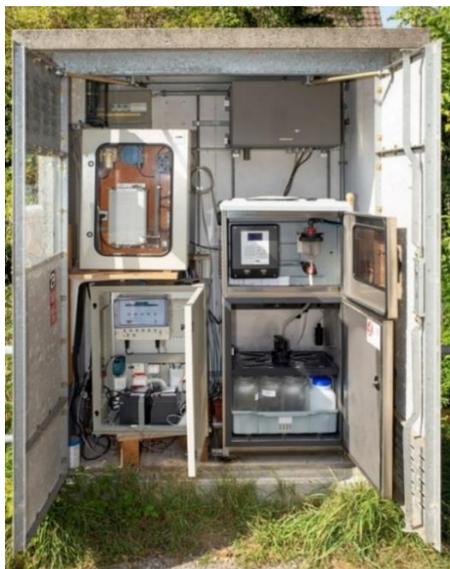


Abb. 1: Schöpfautomat bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos»

-
- ¹ Unter dem Begriff «organische Spurenstoffe» versteht man ein breites Spektrum organischer Stoffe, die erstens nur aufgrund menschlichen Wirkens in den Gewässern vorkommen und zweitens meist nur in tiefen Konzentrationen im Wasser nachweisbar sind. Sie stammen aus Produkten, die in Haus und Garten, in der Industrie und im Gewerbe oder in der Landwirtschaft verwendet werden, z.B. Desinfektions- und Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Andere bedeutende Quellen sind Lebensmittel, Medikamente und Produkte für die Körperpflege. Zu den organischen Spurenstoffen gehören aber nicht nur synthetische Stoffe, sondern auch natürliche Stoffe wie die körpereigenen Östrogene. Einige organische Spurenstoffe können bereits in sehr tiefen Konzentrationen Schaden anrichten.
- ² Ende der Achtziger- und anfangs der Neunzigerjahre richtete der Kanton Zürich an seinen bedeutendsten Fließgewässern siebzehn Hauptmessstellen ein. Ab 2012 wurde der Betrieb der Hauptmessstelle Sihl bei Hütten eingestellt, seit 2018 wird auch die Messstelle «Glatt bei Oberglatt» nicht mehr betrieben.

Die ersten Bestimmungen der Frachten von Mikroverunreinigungen ARA fanden im Jahr 2014 statt, und zwar im Rahmen der Messkampagne bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» [1]. Bei dieser Kampagne, die von März bis Oktober dauerte, wurden die Tagesmischproben zu Wochenmischproben vereint. Im Labor analysierte man diese Proben u. a. auf die vier Mikroverunreinigungen ARA Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol. Es zeigte sich, dass sich die wöchentlichen Frachten dieser Verbindungen in engen Grenzen bewegten, im Unterschied zum Beispiel zu der Fracht des Herbizids Mecoprop, die viel stärker variierte. Dies bestätigte, dass Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol in mehr oder weniger konstanten Mengen über die ARA in den Furtbach gelangten, während Mecoprop in wechselnden Mengen aus Landwirtschaft und Siedlungsgebieten eingetragen wurde. Die Untersuchung der organischen Spurenstoffe im Jahr 2015 bei den Hauptmessstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon», die nach gleichem Muster ablief, stützte den Befund, dass der Eintrag der Mikroverunreinigungen ARA im Vergleich zum Eintrag von Pestiziden relativ konstant ist [2].

Im Jahr 2015 wurden zudem zum ersten Mal Quartalsproben erhoben: an jeder der sechzehn Hauptmessstellen schöpfte man einmal pro Quartal eine Wochenmischprobe, so dass Ende Jahr für jede Stelle vier Proben vorlagen. Diese Quartalsproben wurden auf eine breite Palette von Mikroverunreinigungen ARA untersucht [3]. Die Ergebnisse bestätigten die Hypothese, dass der Eintrag der Mikroverunreinigungen ARA in die Gewässer nicht gross variiert. Zudem konnte gezeigt werden, dass zwischen den berechneten Frachten und der Anzahl der über die ARA angeschlossenen Einwohner an der entsprechenden Messstelle ein linearer Zusammenhang besteht. Dieser Zusammenhang erlaubte es, den Eintrag einer Mikroverunreinigung ARA in ein Fließgewässer pro Person und Tag abzuschätzen. In den Jahren 2016 bis 2019 wurden wiederum an allen Hauptmessstellen (ab dem Jahr 2018 ohne die Stelle «Glatt bei Oberglatt») Quartalsproben erhoben, wobei in den Jahren 2018 und 2019 nicht mehr sieben Tagesmischproben zu einer Wochenmischprobe, sondern vierzehn Tagesmischproben zu einer Zweiwochenmischprobe vereint wurden.

Tab. 1 gibt die Landeskoordinaten (Ost/Nord) der Hauptmessstellen und ihre Höhe über Meer (MüM) an. Für jede Stelle ist vermerkt, ob die Proben abfluss- (Q) oder zeitproportional (Z) geschöpft wurden. Abb. 2 zeigt ihre Lage im Kanton Zürich.

C Nr	Hauptmessstelle	Ost	Nord	MüM	Schöpfart*	Bemerkung
901	Töss bei Rämismühle	2'703'700	1'255'703	519	Q	
902	Töss bei Freienstein	2'685'990	1'265'000	358	Q	
903	Kempt vor Töss	2'695'426	1'258'743	443	Z	
904	Eulach vor Töss	2'694'129	1'262'811	410	Q	
905	Glatt Abfluss Greifensee	2'691'224	1'248'269	436	Q	
907	Glatt vor Rhein	2'678'040	1'269'711	339	Q	2019: NADUF 1'824 (Z)
908	Limmat Hönggersteg	2'679'733	1'250'328	396	Z	
909	Limmat bei Dietikon	2'673'333	1'251'303	384	Z	2018/19: Stichproben
911	Sihl beim Sihlhölzli	2'682'142	1'246'886	410	Q	
912	Reppisch bei Dietikon	2'672'444	1'251'572	385	Q	
913	Furtbach bei Würenlos	2'669'889	1'255'285	413	Z	bis Ende 2017 Q

C Nr	Hauptmessstelle	Ost	Nord	MüM	Schöpfart*	Bemerkung
914	Aa bei Niederuster	2'694'978	1'244'852	441	Q	
915	Aabach bei Mönchaltorf	2'696'928	1'240'805	440	Z	bis Ende 2018 Q
916	Jonen nach ARA Zwillikon	2'675'074	1'238'460	456	Q	
917	Jona nach Rüti	2'707'051	1'233'818	448	Z	

*Schöpfart: Z = Zeitproportional, Q = Abflussproportional

Tab. 1: Landeskoordinaten der Hauptmessstellen und Art der Probenahme

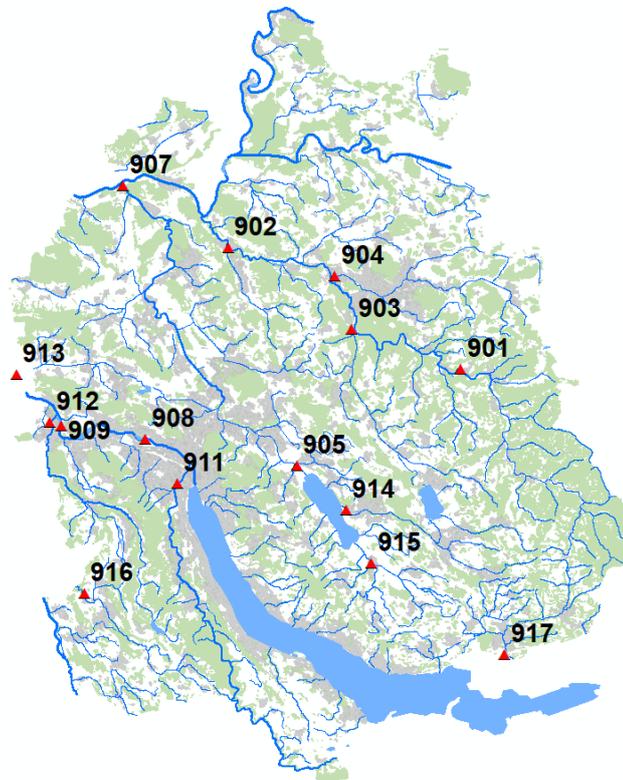


Abb. 2: Lage der Hauptmessstellen im Kanton Zürich

Tab. 2 zeigt, wie gross die jeweiligen Einzugsgebiete (EZG) der Hauptmessstellen sind und wieviele Einwohner (EW) [3] in ihnen leben. Ferner listet sie auf, welche Anteile der Wald, die Siedlung und die Landwirtschaft in ihnen haben. Die letzte Spalte führt den Anteil des gereinigten Abwassers auf, den die Gewässer bei ihren Hauptmessstellen mit sich führen.

C Nr	Hauptmessstelle	EZG [km ²]	Anz. EW	Wald [%]	Siedlung [%]	Landwirtschaft [%]	Anteil Abwasser [%]
901	Töss bei Rämismühle	130	7'100	58	6	36	5 - 10
902	Töss bei Freienstein	403	187'015	43	14	42	20 - 30
903	Kempt vor Töss	61	28'541	31	16	52	30 - 50
904	Eulach vor Töss	74	7'234	33	26	41	20 - 30
905	Glatt Abfl. Greifensee	170	125'818	21	19	50	10 - 20
907	Glatt vor Rhein	419	334'905	24	26	45	30 - 50
908	Limmat Hönggersteg	2172	441515	58	6	36	0 - 5
909	Limmat bei Dietikon	2210	851'515	31	16	37	5 - 10
911	Sihl beim Sihlhölzli	185	51'888	45	10	42	0 - 5
912	Reppisch bei Dietikon	67	24'748	38	15	46	30 - 50
913	Furtbach bei Würenlos	44	33'566	30	21	47	> 50
914	Aa bei Niederuster	64	53'833	23	23	44	30 - 50
915	Aabach b. Mönchaltorf	44	25'849	17	17	64	30 - 50
916	Jonen n. ARA Zwillikon	38	20'771	28	16	56	> 50
917	Jona nach Rüti	61	31'735	26	17	55	30 - 50

Tab. 2: Grösse Einzugsgebiet und Anzahl Einwohner; Anteile Wald, Siedlung und Landwirtschaft im EZG; Anteil Abwasser

Tab. 3 führt die mittleren Abflüsse an den Hauptmessstellen in den Jahren 2015 bis 2019 auf. Bei diesen Werten handelt es sich um die arithmetischen Mittel der mittleren Tagesabflüsse. In der letzten Spalte sind die Mittelwerte (M.wert) der mittleren Jahresabflüsse 2015 bis 2019 angegeben.

C Nr	Hauptmessstelle	mittlere Abflüsse [m³/s]					
		2015	2016	2017	2018	2019	M.wert
901	Töss bei Rämismühle	2.55	3.85	2.87	2.14	3.04	2.89
902	Töss bei Freienstein	7.64	10.23	7.46	6.50	8.27	8.02
903	Kempt vor Töss	1.10	1.46	1.02	0.79	1.10	1.09
904	Eulach vor Töss	0.72	0.93	0.63	0.57	0.72	0.71
905	Glatt Abfluss Greifensee	3.64	5.31	3.81	2.90	4.16	3.96
907	Glatt vor Rhein	6.95	9.28	6.56	5.61	6.94	7.07
908	Limmat Hönggersteg	83.49	99.42	92.19	78.71	98.11	90.38
909	Limmat bei Dietikon	83.49	99.42	92.19	78.71	98.11	90.38
911	Sihl beim Sihlhölzli	5.97	7.01	6.32	5.81	6.62	6.35
912	Reppisch bei Dietikon	1.03	1.36	0.89	0.69	0.88	0.97
913	Furtbach bei Würenlos	0.58	0.80	0.48	0.55	0.62	0.61
914	Aa bei Niederuster	1.47	1.80	1.24	0.97	1.32	1.36
915	Aabach bei Mönchaltorf	0.82	1.23	0.92	0.61	0.88	0.89
916	Jonen nach ARA Zwillikon	0.50	0.76	0.52	0.32	0.58	0.54
917	Jona nach Rüti	2.08	2.89	2.62	1.90	2.58	2.41

Tab. 3: Mittlere Abflüsse an den Hauptmessstellen

Nimmt man an, dass im Durchschnitt jeder Einwohner pro Tag die gleichen Mengen an Mikroverunreinigungen ARA «emittiert», gibt der Quotient zwischen dem mittleren Abfluss eines Fließgewässers an einer bestimmten Messstelle (s. Tab. 3) und der Anzahl Einwohner, die im Einzugsgebiet dieser Stelle an einer ARA angeschlossen sind (s. Tab. 2), einen Hinweis auf die Belastung des Wassers an der Stelle. Ist dieser Quotient hoch, dann stellt das Gewässer im Verhältnis zu der Anzahl Einwohner, die ihr Abwasser in dieses Gewässer einleiten, viel Wasser zur Verfügung, um die Mikroverunreinigungen aufzunehmen: das Gewässer ist wenig belastet. Ein tiefer Quotient hingegen bedeutet, dass das Gewässer im Verhältnis zu seiner Grösse grosse Mengen an Mikroverunreinigungen aufnehmen muss und somit stark belastet ist (Abb. 3).

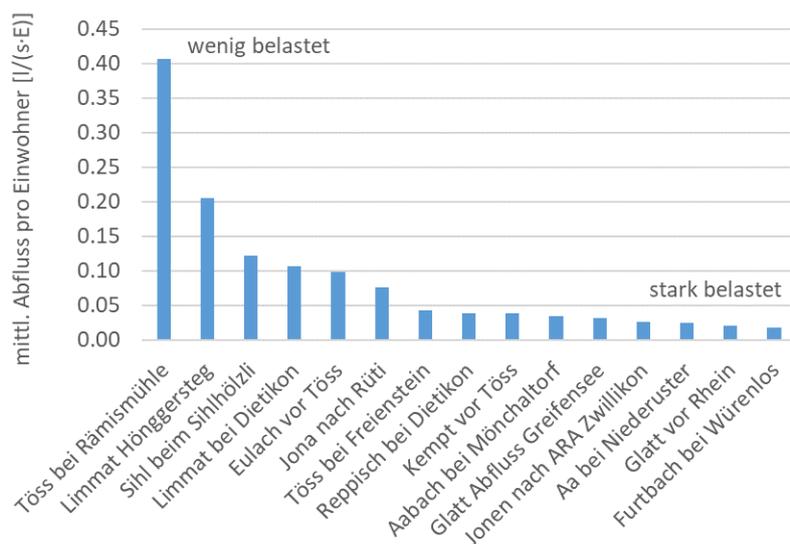


Abb. 3: Mittlerer Abfluss pro Einwohner an den Hauptmessstellen.

Die Gewässer sind nach abnehmendem mittleren Abfluss pro Einwohner (steigender Belastung durch gereinigtes Abwasser) geordnet.

Die Untersuchungen und die Auswertung der Resultate wurden mit Hinblick auf die Beantwortung der folgenden Fragen durchgeführt:

- Wie gross sind die Frachten der einzelnen Mikroverunreinigungen ARA an den einzelnen Messstellen pro Einwohner und Tag?
- Sind diese Frachten über alle Messstellen hinweg mehr oder weniger konstant?

2 Methode

2.1 Messprogramme

In Tab. 4 ist für jedes der Untersuchungsjahre 2015 bis 2019 angegeben, von wann bis wann die Tagesmischproben gesammelt und ob sie zu Wochen- (WMP) oder Zweiwochenmischproben (ZWMP) vereint wurden. In der Spalte «Bemerkungen» sind Besonderheiten der jeweiligen Untersuchungsjahre angegeben.

Jahr	Untersuchungsperioden	Anzahl Mischproben [†] pro Hauptmessstelle	Bemerkungen
2015	13.4. - 19.4. (Wo 16) 22.6. - 28.6. (Wo 26) 31.8. - 6.9. (Wo 36) 9.11. - 15.11. (Wo 46)	4 WMP	
2016	25.4. - 1.5. (Wo 17) 4.7. - 10.7. (Wo 27) 12.9. - 18.9. (Wo 37) 21.11. - 27.11. (Wo 47)	4 WMP	
2017	24.4. - 30.4. (Wo 17) 3.7. - 9.7. (Wo 27) 11.9. - 17.9. (Wo 37) 20.11. - 26.11. (Wo 47)	4 WMP	
2018	28.5. - 10.6. (Wo 22/23) 23.7. - 5.8. (Wo 30/31) 17.9. - 30.9. (Wo 38/39) 12.11. - 25.11. (Wo 46/47)	4 ZWMP	909: vier Stichproben (10.06 / 05.08 / 30.9. / 27.11.)
2019	4.3. - 17.3. (Wo 10/11) 13.5. - 26.5. (Wo 20/21) 22.7. - 4.8. (Wo 30/31) 30.9. - 13.10. (Wo 40/41)	4 ZWMP	909: drei Stichproben (27.05. / 05.08. / 14.10.) NADUF 1'824, 913, 915: Wo 20/12 und Wo 30/31 Sammeln von HWMP [†]

[†] WMP: Wochenmischproben; ZWMP: Zweiwochenmischproben; HWMP: Halbwochenmischproben.

Tab. 4: Messprogramme

2.2 Untersuchte Verbindungen

Tab. 5 führt die Mikroverunreinigungen aus Haushalt und Industrie (H&I) auf, deren Analysenresultate in diesem Bericht ausgewertet werden.

Stoff_Code	Verbindung	Substanzart	Einsatzgebiet	AQK*	CQK*
505	Acesulfam	Industrie, Haushalt	Süsstoff		
703	Acyclovir	Medikamente, Hormone	Virostatika		
695	Amisulprid	Medikamente, Hormone	Neuroleptika		
617	Atenolol	Medikamente, Hormone	Betablocker	150	330
633	Azithromycin ¹⁾	Medikamente, Hormone	Antibiotika	0.019	0.18
510	Benzotriazol	Industrie, Haushalt	Korrosionsschutz	19	160
615	Bezafibrat ²⁾	Medikamente, Hormone	Lipidsenker und Metabolite	2.3	4000
696	Candesartan	Medikamente, Hormone	Sartan		
607	Carbamazepin	Medikamente, Hormone	Antiepileptika	2	2000
697	Citalopram	Medikamente, Hormone	Antidepressiva		
634	Clarithromycin	Medikamente, Hormone	Antibiotika	0.12	0.19
507	Cyclamat	Industrie, Haushalt	Süsstoff		
111	DEET	Industrie, Haushalt	Repellent, gegen Stechmücken		
611	Diclofenac	Medikamente, Hormone	Analgetika, Antiphlogistika, Antipyretika	0.05	
690	Erythromycin	Medikamente, Hormone	Antibiotika	0.30	1.1
712	Gabapentin	Medikamente, Hormone	Antikonvulsiva		
698	Hydrochlorthiazid	Medikamente, Hormone	Diuretikum		
670	Iopromid	Medikamente, Hormone	Iodierte Röntgenkontrastmittel		
699	Irbesartan	Medikamente, Hormone	Sartan	700	19000
714	Lamotrigin	Medikamente, Hormone	Antiepileptika		
716	Lidocain	Medikamente, Hormone	Lokalanästhetikum		
756	Mefenamensäure ²⁾	Medikamente, Hormone	Antirheumatikum	1	
717	Metformin	Medikamente, Hormone	Antidiabetika	160	640
511	Methylbenzotriazol	Industrie, Haushalt	Korrosionsschutz	20	430

Stoff_Code	Verbindung	Substanzart	Einsatzgebiet	AQK*	CQK*
624	Metoprolol	Medikamente, Hormone	Betablocker	8.6	75
614	Naproxen	Medikamente, Hormone	Analgetika, Antiphlogistika, Antipyretika	1.7	860
718	Paracetamol	Medikamente, Hormone	Analgetika		
625	Phenazon	Medikamente, Hormone	Analgetika		
719	Primidon	Medikamente, Hormone	Antiepileptika		
508	Saccharin	Industrie, Haushalt	Süssstoff		
723	Sitagliptin	Medikamente, Hormone	Antidiabetika		
631	Sotalol	Medikamente, Hormone	Betablocker		
509	Sucralose	Industrie, Haushalt	Süssstoff		
757	Sulfamethazin ²⁾	Medikamente, Hormone	Antibiotika	30	30
641	Sulfamethoxazol	Medikamente, Hormone	Antibiotika	0.6	2.7
725	Sulfapyridin	Medikamente, Hormone	Antibiotika		
693	Tramadol	Medikamente, Hormone	Schmerzmittel		
726	Triclosan	Industrie, Haushalt	Desinfektionsmittel	0.11	0.11
650	Trimethoprim	Medikamente, Hormone	Antibiotika	120	210
700	Venlafaxin	Medikamente, Hormone	Antidepressiva		

* [$\mu\text{g/l}$] (<https://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/qualitaetskriterienvorschlaege-oekotoxzentrum/>)

¹⁾ ab 2017

²⁾ ab 2016

Tab. 5: Untersuchte Verbindungen

2.3 Berechnung der Frachten

2.3.1 Frachten an einer Messstelle

Die Fracht F einer Verbindung v , die im Zeitraum der Probenahme im Quartal i eine Messstelle HMS passiert, ist definiert als das Produkt der Konzentration $c_i(v)$ der Verbindung v , die in der Mischprobe i der Stelle HMS gemessen wurde, und dem mittleren Abfluss $\bar{Q}_i(\text{HMS})$ während der Probenahme. Bei abflussproportionaler Probenahme entspricht letzterer dem arithmetischen Mittel $\bar{Q}_{arith}(t)$ der mittleren Tagesabflüsse (Gl. 1), bei zeitproportionaler Probenahme dem harmonischen Mittel $\bar{Q}_{harm}(t)$ (Gl. 2). Lag in einer Probe i für eine Verbindung v kein Wert für ihre Konzentration vor, so wurde die Fracht nicht gleich null gesetzt, sondern die Probe wurde in der Auswertung für die Verbindung v nicht berücksichtigt. Damit wird vermieden, dass bei hohen Abflüssen – wenn die Verbindungen, deren Eintrag über die ARA ja konstant ist, im Gewässer so stark verdünnt werden, dass ihre Konzentrationen unterhalb die Nachweisgrenzen fallen – Frachten von null erhalten werden.

$$\text{Gl. 1} \quad F_i(\text{HMS}, v) = c_i(\text{HMS}, v) \cdot \bar{Q}_{arith, i}(\text{HMS})$$

abflussproportionale Probennahme; $i=1,2\dots4$; $c_i(\text{HMS}, v) > 0$

$$\text{Gl. 2} \quad F_i(\text{HMS}, v) = c_i(\text{HMS}, v) \cdot \bar{Q}_{harm, i}(\text{HMS})$$

zeitproportionale Probennahme; $i=1,2\dots4$; $c_i(\text{HMS}, v) > 0$

Da angenommen wird, dass die Fracht F einer Verbindung v an einer bestimmten Messstelle HMS konstant ist, kann die mittlere Fracht \bar{F} dieser Verbindung v an der betreffenden Messstelle berechnet werden. (Gl. 3):

$$\text{Gl. 3} \quad \bar{F}(\text{HMS}, v) = \frac{1}{|A|} \cdot \sum_{i=1}^{|A|} F_i(\text{HMS}, v); A = \{c_i(\text{HMS}, v) > 0\}$$

Um für eine bestimmte Messstelle HMS und eine bestimmte Verbindung v zu berechnen, wie gross die mittlere Fracht \bar{F}_E pro Einwohner ist, muss die mittlere

re Fracht \bar{F} der Verbindung v an der Messstelle HMS durch die Anzahl der Einwohner N_E , deren Abwasser an der Messstelle HMS vorbeifliesst, dividiert werden (Gl 4):

$$\text{Gl. 4} \quad \bar{F}_E(\text{HMS},v) = \frac{\bar{F}(\text{HMS},v)}{N_E(\text{HMS})}$$

Die Messstellen an Glatt und Limmat sind Spezialfälle, da bei beiden Fließgewässern ein See ins Spiel kommt. Im See können die Verbindungen v vielfältigen Eliminationsprozessen unterworfen sein. Für die beiden Messstellen «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Hönggersteg», die direkt unterhalb von Greifen- bzw. Zürichsee liegen, wurden deshalb keine mittleren Frachten pro Einwohner berechnet.

Was hingegen berechnet werden kann, sind die mittleren Frachten der Verbindungen v , die jeder Einwohner im Glatttal in die Glatt und jeder Einwohner, der an die ARA Werdhölzli angeschlossen ist, in die Limmat abgibt. Dazu berechnete man für jedes Quartal i die Differenz zwischen den Frachten bei den Messstellen «Glatt vor Rhein» bzw. «Limmat bei Dietikon» und den Frachten, die aus Greifen- bzw. Zürichsee stammten (Gl. 5 und Gl. 6):

$$\text{Gl. 5} \quad F_i(\text{Glatttal},v) = F_i(\text{Glatt vor Rhein},v) - F_i(\text{Glatt Abfluss Greifensee},v)$$

$$\text{Gl. 6} \quad F_i(\text{Werdhölzli},v) = F_i(\text{Limmat bei Dietikon},v) - F_i(\text{Limmat Hönggersteg},v)$$

Aus diesen «Quartalsfrachten» wurden dann gemäss Gleichung 3 die mittleren Frachten berechnet. Negative Werte für Quartalsfrachten aus Glatttal und Werdhölzli wurden nicht berücksichtigt. Für die Berechnung der mittleren Fracht pro Einwohner gemäss Gleichung 4 wurden nur die Einwohner berücksichtigt, deren Abwasser zwischen See und unterliegender Messstelle in den Fluss fliesst. Für die Messstelle «Glatt vor Rhein» sind das wie gesagt die Bewohner des Glatttals, für die Messstelle «Limmat bei Dietikon» die Einwohner, die an der ARA Werdhölzli angeschlossen sind (Gl. 7 und Gl. 8):

$$\text{Gl. 7} \quad N_E(\text{Glatttal}) = N_E(\text{Glatt Abfluss Greifensee}) - N_E(\text{Glatt vor Rhein})$$

$$\text{Gl. 8} \quad N_E(\text{Werdhölzli}) = N_E(\text{Limmat bei Dietikon}) - N_E(\text{Limmat Hönggersteg})$$

2.3.2 Vergleich der mittleren Fracht pro Einwohner bei verschiedenen Messstellen

Es wird postuliert, dass sich die Einzugsgebiete bezüglich ihrer Bevölkerung und somit der Fracht der Mikroverunreinigungen ARA pro Einwohner nicht wesentlich unterscheiden. Das heisst, die mittlere Fracht \bar{F}_E einer Verbindung v pro Einwohner sollte für alle Messstellen etwa gleich gross sein. Befinden sich aber zum Beispiel Spitäler in einem Einzugsgebiet, so können solche Einrichtungen besonders grosse Quellen für Mikroverunreinigungen ARA sein und die Frachten an bestimmten Verbindungen pro Einwohner erheblich erhöhen. Um herauszufinden, in welchen Einzugsgebieten solche Quellen relevant sind, können die Frachten pro Einwohner der verschiedenen Hauptmessstellen miteinander verglichen und auf Ausreisser geprüft werden.

Grundlage für die Bestimmung der Ausreisser ist der Interquartilsabstand IQR (engl. *interquartile range*). Der IQR entspricht der Differenz zwischen dem dritten $Q3$ und dem ersten Quartil $Q1$ ³ (Gl. 7):

$$Gl. 7 \quad IQR = Q3 - Q1$$

Das Intervall zwischen unterem und oberem Quartil umfasst die mittlere Hälfte der Daten und ist somit nicht durch Ausreisser (besonders grosse oder besonders kleine Werte) beeinflusst. Als Ausreisser werden diejenigen Werte bezeichnet, die weiter als das 1.5-fache des IQR oberhalb des $Q3$ (Gl. 8) oder unterhalb des $Q1$ (Gl. 9) liegen:

$$Gl. 8 \quad \text{Ausreisser nach oben: Wert} > Q3 + 1.5 \cdot IQR$$

$$Gl. 9 \quad \text{Ausreisser nach unten: Wert} < Q1 - 1.5 \cdot IQR$$

2.3.3 Mittlere Frachten im Kanton Zürich

Für die Abschätzung der mittleren Fracht \bar{F}_E einer Verbindung v , die ein Einwohner *im Kanton Zürich* verursacht, wurde der Mittelwert der mittleren Frachten \bar{F}_E von allen m Messstellen HMS_k berechnet, an denen eine mittlere Fracht bestimmt werden konnte. Ausreisser wurden dabei nicht berücksichtigt (Gl. 10):

$$Gl. 10 \quad \bar{F}_E(ZH,v) = \frac{1}{m} \cdot \sum_{k=1}^m \bar{F}_E(HMS_k,v); \text{ ohne Ausreisser}$$

³ Quartile zerlegen eine sortierte Datenreihe von Beobachtungen in vier (annähernd) gleich grosse Abschnitte. Das erste Quartil, das auch unteres Quartil genannt wird, teilt die Datenreihe in das untere Viertel und das obere Dreiviertel. Das dritte Quartil (auch oberes Quartil genannt), teilt die sortierte Datenreihe in das untere Dreiviertel und das obere Viertel. Das zweite Quartil entspricht dem Median, der die Datenreihe in zwei gleich grosse Hälften teilt.

3 Resultate

Die untenstehende Tabelle zeigt die durchschnittlichen Frachten an Mikroverunreinigungen ARA pro Einwohner.

[mg/(E·d)] ¹⁾	Jahr	901 Töss bei Rämismühle	902 Töss bei Freienstein	903 Kempt vor Töss	904 Eulach vor Töss	Glattal ³⁾⁵⁾⁷⁾	Werdhölzli ⁴⁾⁶⁾	911 Sihl beim Sihlhölzli	912 Reppisch bei Dietikon	913 Furtbach bei Würenlos ⁷⁾	914 Aa bei Niederuster	915 Aabach bei Mönchaltorf ⁷⁾⁸⁾	916 Jonen n. ARA Zwillikon	917 Jona nach Rüti	Kanton Zürich ⁸⁾
Abfluss ²⁾ [m ³ /s]	2015	2.011	6.118	0.813	0.473	5.723	90.992	6.190	0.735	0.443	1.321	0.647	0.463	1.779	
	2016	2.508	7.288	0.981	0.583	8.120	87.230	5.063	0.943	0.566	1.425	0.720	0.626	2.045	
	2017	2.297	5.883	1.286	1.170	7.112	104.15	6.416	1.108	0.528	1.264	1.087	0.697	2.784	
	2018	0.438	2.502	0.314	0.176	2.932	40.145	3.655	0.243	0.274	0.491	0.170	0.195	1.006	
	2019	5.867	13.422	1.613	1.285	7.424	103.32	10.999	1.170	0.748	1.856	1.226	0.765	3.901	
Acesulfam	2015	3.427	2.850	3.321	4.310	2.381	1.668	4.732	5.105	3.645	2.788	2.095	3.839	4.241	
	2016	1.231	1.076	1.947	2.415	1.107	1.280	2.758	3.099	2.560	1.227	1.224	2.057	2.570	6.857
	2017	1.059	1.161	0.894	4.434	1.026	0.887	1.438	4.038	1.247	1.415	1.588	5.360	2.517	1.740
	2018	0.118	0.279	0.250	0.839	0.333	0.280	0.508	0.561	0.601	0.263	0.159	0.867	0.664	
	2019	1.148	1.097	0.833	6.857	0.634	0.903	1.763	1.825	1.440	1.184	1.841	1.657	2.294	
Amisulprid	2015		0.072	0.056	0.064	0.023	0.145	0.043	0.049	0.034	0.017	0.558	0.043	0.188	
	2016		0.067	0.048	0.037	0.028	0.162		0.035	0.038	0.026	0.607	0.031	0.212	0.863
	2017	0.344	0.109	0.066	0.230	0.034	0.203		0.077	0.047	0.033	0.681	0.054	0.274	0.092
	2018		0.076	0.071	0.051	0.024			0.048	0.040	0.020	0.779	0.037	0.283	
	2019	0.524	0.137	0.050	0.312	0.020			0.086	0.053	0.021	0.863	0.073	0.311	
Atenolol	2015		0.050	0.066	0.057	0.057	0.246	0.144	0.075	0.091	0.032	0.018	0.074	0.105	
	2016			0.024		0.072			0.064	0.065			0.029		0.262
	2017			0.043		0.083			0.050	0.057			0.079		0.052
	2018			0.023	0.023	0.018			0.028	0.038			0.039	0.052	
	2019			0.053	0.262	0.043			0.060	0.060			0.051		
Azithromycin	2015														
	2016														
	2017														
	2018														
	2019									0.045		0.068	0.061		0.068
Benzotriazol	2015	1.129	1.422	1.394	1.172	1.613	2.492	1.120	1.767	1.687	1.495	1.622	1.906	2.632	
	2016	1.111	1.593	1.957	0.918	1.786	2.689	0.791	1.709	1.639	1.594	1.457	1.339	2.447	
	2017	1.224	1.869	1.222	2.381	1.653	2.414	0.978	2.083	1.587	1.151	1.681	2.791	1.976	3.399
	2018	0.265	1.096	0.916	1.040	0.964	0.702	1.089	0.931	1.362	0.911	0.900	1.513	2.028	1.562
	2019	2.679	2.005	0.813	3.399	0.978	1.072	2.096	2.062	2.103	1.116	1.452	1.713	2.668	
Bezafibrat	2015														
	2016									0.015					
	2017														
	2018								0.014						
	2019														
Candesartan	2015		0.166	0.178	0.155	0.147	0.202	0.283	0.190	0.171	0.135	0.209	0.156	0.462	
	2016		0.109	0.130	0.103	0.125		0.127	0.140	0.141	0.099	0.190	0.122	0.307	
	2017		0.164	0.152	0.157	0.141		0.191	0.237	0.167	0.113	0.232	0.237	0.368	0.567
	2018		0.158	0.179	0.124	0.104	0.390	0.212	0.176	0.168	0.092	0.226	0.168	0.567	0.174
	2019		0.189	0.110	0.310	0.114		0.316	0.222	0.170	0.111	0.220	0.158	0.302	
Carbamazepin	2015		0.118	0.079	0.107	0.079	0.203	0.120	0.123	0.107	0.098	0.127	0.120	0.303	
	2016		0.095	0.062	0.082	0.067	0.181	0.074	0.109	0.088	0.091	0.113	0.083	0.213	0.354
	2017		0.108	0.060	0.088	0.062	0.226	0.101	0.148	0.120	0.079	0.116	0.214	0.261	0.097
	2018		0.103	0.076	0.056	0.045	0.037	0.088	0.107	0.098	0.065	0.100	0.123	0.354	
	2019		0.108	0.035	0.177	0.045		0.109	0.144	0.099	0.044	0.098	0.108	0.181	
Citalopram	2015		0.034	0.031	0.013	0.034	0.081	0.033	0.029	0.036	0.033	0.039	0.039	0.064	
	2016		0.033	0.034		0.035			0.031	0.034	0.029	0.042	0.028	0.070	0.137
	2017		0.049	0.039	0.038	0.034	0.137		0.047	0.040	0.032	0.056	0.060	0.084	0.037
	2018		0.020	0.023	0.023	0.013			0.018	0.031	0.015	0.033	0.034	0.073	
	2019		0.056	0.029	0.091	0.023			0.051	0.033	0.018	0.054	0.041	0.076	
Clarithromycin	2015		0.051	0.063	0.072	0.040	0.084	0.030	0.068	0.074	0.057	0.065	0.081	0.113	
	2016		0.046	0.071	0.045	0.037	0.221	0.109	0.078	0.083	0.069	0.065	0.071	0.114	
	2017		0.070	0.078	0.256	0.055	0.309	0.128	0.063	0.080	0.061	0.075	0.097	0.131	0.309
	2018		0.027	0.025	0.015	0.023			0.030	0.056	0.027	0.033	0.076	0.146	0.062
	2019		0.076	0.044	0.164	0.054			0.082	0.066	0.053	0.057	0.065	0.084	
Cyclamat	2015	1.102	0.197	0.104	1.515	0.230	0.276	0.382	0.303	0.124	0.233	0.264	0.141	0.151	
	2016		0.145	0.175	1.280	0.187	0.067	0.339	0.275	0.131	0.257	0.097	0.120	0.340	9.938
	2017		0.712	0.327	4.265	0.497	0.973	0.604	0.975	0.200	0.309	0.543	0.353	0.410	0.297
	2018	0.390	0.078	0.082	1.580	0.157	0.117	0.220	0.159	0.051	0.103	0.058	0.086	0.134	
	2019	0.382	0.575	0.248	9.938	0.411	0.125	1.036	0.622	0.299	0.502	0.808	0.297	0.282	
DEET	2015	0.051	0.070	0.071	0.248	0.090	0.120	0.110	0.076	0.057	0.072	0.072	0.118	0.090	
	2016	1.015	0.061	0.072	0.160	0.102	0.123	2.514	0.229	0.075	0.083	0.427	0.086	0.163	2.514
	2017	0.664	0.073	0.056	0.407	0.055	0.311	0.490	0.146	0.055	0.130	0.164	0.288	0.116	0.124
	2018	0.182	0.056	0.040	0.183	0.042		0.104	0.090	0.041	0.039	0.068	1.139	0.076	
	2019	1.022	0.141	0.099	0.458	0.043		0.262	0.173	0.074	0.232	0.083	0.821	0.126	
Diclofenac	2015	2.498	0.729	1.163	0.597	0.265	1.128	2.288	0.768	0.483	0.583	0.367	0.465	0.939	
	2016	0.546	0.599	0.450	0.432	0.330	0.723	0.493	0.524	0.497	0.342	0.533	0.393	0.709	
	2017	8.301	0.865	0.455	0.870	0.530	1.909	1.426	0.724	0.571	0.459	0.685	1.076	1.086	8.301
	2018	0.263	0.321	0.443	0.235	0.220	0.261	0.338	0.350	0.543	0.206	0.429	0.592	0.842	0.590
	2019	0.975	0.739	0.479	1.561	0.336	0.412	0.683	0.940	0.641	0.211	0.626	0.642	0.841	

[mg]/(E-d)	Jahr	901 Töss bei Rämismühle	902 Töss bei Freienstein	903 Kempt vor Töss	904 Eulach vor Töss	Glattal	Werdhölzli	911 Sihl beim Sihlhölzli	912 Reppisch bei Dietikon	913 Furtbach bei Würenlos	914 Aa bei Niederuster	915 Aabach bei Mönchaltorf	916 Jona n. ARA Zwillikon	917 Jona nach Rüti	Kanton Zürich
Erythromycin	2015											0.026			0.026 0.021
	2016														
	2017														
	2018									0.015					
	2019														
Gabapentin	2015	1.130	0.401	0.339	0.260	0.401	0.568	0.386	0.377	0.422	0.362	0.435	0.598	0.577	1.148 0.379
	2016		0.311	0.252	0.339	0.383	0.609	0.217	0.364	0.355	0.371	0.360	0.295	0.510	
	2017		0.389	0.206	0.550	0.358	0.689	0.338	0.499	0.344	0.298	0.481	0.466	0.710	
	2018		0.247	0.164	0.110	0.198	0.285	0.219	0.230	0.363	0.182	0.297	0.218	0.757	
	2019		0.444	0.189	1.148	0.279	0.879	0.409	0.477	0.448	0.486	0.310	0.342	0.519	
Hydrochlorthiazid	2015		0.243	0.270	0.175	0.171	0.310	0.213	0.243	0.261	0.159	0.240	0.250	0.526	0.720 0.266
	2016		0.249	0.317	0.165	0.210	0.292	0.174	0.312	0.331	0.182	0.303	0.203	0.580	
	2017		0.329	0.313	0.249	0.241	0.408	0.211	0.377	0.347	0.188	0.341	0.496	0.578	
	2018		0.206	0.287	0.127	0.141	0.315	0.238	0.230	0.311	0.116	0.285	0.333	0.720	
	2019		0.380	0.236	0.613	0.193			0.396	0.328	0.103	0.317	0.307	0.454	
Iopromid	2015		0.395	0.398	0.478	0.358	7.074		0.546	0.363	0.317	0.278	1.714	0.531	13.981 0.501
	2016		0.449			0.424	13.981		0.874	0.381	0.710	0.221	1.412		
	2017		0.582	0.220		0.455	9.113		0.856	0.305	0.377	0.355	1.868	0.485	
	2018		0.460	0.110	1.508	0.172	4.709		0.279	0.150	0.169	0.188	0.604	0.368	
	2019		1.287		3.366	0.509	8.789		0.693	0.457	0.336	0.124	1.362		
Irbesartan	2015		0.094	0.107		0.115		0.142	0.234	0.171	0.098	0.082	0.256	0.280	0.324 0.145
	2016		0.075	0.087		0.137		0.147	0.216	0.158	0.100	0.101	0.199	0.237	
	2017		0.074	0.073		0.122		0.125	0.241	0.152	0.071	0.100	0.324	0.233	
	2018		0.041	0.045	0.022	0.062	0.180	0.111	0.136	0.097	0.039	0.053	0.213	0.285	
	2019			0.088		0.133			0.319	0.168	0.077	0.096	0.293	0.233	
Lamotrigin	2015		0.400	0.268	0.243	0.253	0.583	0.242	0.234	0.280	0.292	0.263	0.218	0.739	1.017 0.314
	2016	0.374	0.364	0.311	0.236	0.240	0.557	0.214	0.225	0.276	0.305	0.292	0.135	0.639	
	2017	0.699	0.454	0.323	0.434	0.257	0.602	0.234	0.323	0.288	0.310	0.323	0.369	0.731	
	2018	0.161	0.402	0.361	0.229	0.193	0.361	0.242	0.266	0.306	0.285	0.319	0.239	1.017	
	2019	0.827	0.546	0.294	0.578	0.241	0.348	0.285	0.425	0.331	0.225	0.318	0.235	0.776	
Lidocain	2015		0.211	0.044	0.032	0.042	0.131	0.058	0.054	0.058	0.042	0.048	0.069	0.114	0.378 0.063
	2016		0.106	0.046		0.043	0.137	0.052	0.048	0.056	0.037	0.045	0.048	0.084	
	2017		0.210	0.039		0.038	0.141		0.064	0.045	0.035	0.052	0.070	0.114	
	2018		0.246	0.040	0.040	0.038	0.057	0.064	0.048	0.061	0.029	0.053	0.068	0.125	
	2019		0.378	0.036	0.108	0.036			0.084	0.119	0.028	0.056	0.059	0.076	
Mefenamensäure	2015									0.060					3.552 0.077
	2016								0.080	0.050	0.076		0.115		
	2017				0.126										
	2018		0.015	0.022	0.067	0.045	0.950	0.176	0.058	0.030	0.021	0.014	0.047	0.056	
	2019	3.552	0.166	0.079	0.606	0.150			0.098	0.059		0.054	0.122	0.151	
Metformin	2015	0.908	0.881	1.649	3.438	0.861	1.054	1.496	0.764	1.158	0.920	0.681	2.258	1.282	17.319 1.271
	2016	0.469	0.664	0.969	1.406	0.633	1.110	1.079	0.988	0.886	0.814	0.563	1.130	1.144	
	2017	1.782	1.882	1.300	8.317	1.585	2.110	1.640	2.671	1.438	1.305	1.729	2.671	1.907	
	2018	0.525	0.508	0.573	1.713	0.477	0.511	0.759	0.564	0.685	0.611	0.446	0.997	1.464	
	2019	2.344	1.984	1.076	17.319	0.820	1.009	2.764	2.120	1.593	1.767	1.922	2.082	1.685	
Methylbenzotriazol	2015	0.658	0.467	0.678	0.644	0.532	0.720	0.673	0.674	0.904	0.528	0.473	0.788	0.697	2.338 0.675
	2016		0.505	0.956	1.044	0.580	0.860	0.745	1.077	0.759	0.454	0.479	0.471	1.259	
	2017		0.597	0.667	1.477	0.622	0.647	0.611	0.855	0.679	0.448	0.709	1.069	0.665	
	2018	1.482	0.595	0.781	2.338	0.539	0.480	1.085	0.661	0.563	0.431	0.578	0.799	1.010	
	2019	1.950	0.567	0.405	1.325	0.491	0.207	0.735	0.962	0.666	0.406	0.523	0.651	0.811	
Metoprolol	2015		0.098	0.088	0.124	0.063	0.080	0.081	0.060	0.114	0.063	0.077	0.063	0.138	0.204 0.080
	2016		0.085	0.086	0.090	0.061	0.100		0.059	0.094	0.061	0.085	0.043	0.130	
	2017		0.109	0.080	0.163	0.066	0.153		0.077	0.099	0.056	0.099	0.080	0.151	
	2018		0.057	0.054	0.053	0.032	0.074	0.034	0.032	0.080	0.035	0.068	0.054	0.148	
	2019		0.114	0.053	0.204	0.043			0.073	0.093	0.032	0.086	0.045	0.123	
Naproxen	2015				0.211					0.054				0.122	0.376 0.099
	2016					0.149			0.090	0.088	0.091			0.087	
	2017				0.376				0.231	0.118				0.100	
	2018				0.120				0.034	0.041		0.036		0.058	
	2019					0.192				0.077				0.118	
Paracetamol	2015		0.169	0.164	0.582	0.161	0.435	0.244	0.149	0.130	0.229	0.204	0.129	0.103	22.028 0.156
	2016		0.264	0.237	1.945			0.142	0.193	0.104	0.099	0.055	0.074	0.210	
	2017		0.135	0.071	1.849	0.112	1.154	0.221	0.226	0.039	0.096	0.141	0.090	0.143	
	2018	0.065	0.084	0.051	0.262	0.060		0.239	0.134		0.009	0.026	0.045	0.064	
	2019		0.454	0.130	22.028	0.275		0.856	0.319	0.084	0.283	0.089	0.173	0.204	
Phenazon	2015		0.012	0.012	0.013	0.013	0.093	0.050	0.015	0.015	0.010	0.006	0.026	0.042	0.093 0.014
	2016			0.023		0.010				0.009	0.019		0.014		
	2017			0.012		0.005			0.015	0.014	0.016		0.054		
	2018		0.015	0.015	0.025	0.004			0.011	0.013	0.009	0.006	0.019	0.032	
	2019			0.010		0.009			0.013	0.014		0.025	0.023		
Primidon	2015		0.054	0.045		0.049			0.025	0.067	0.074		0.057	0.146	0.146 0.058
	2016									0.041			0.049	0.135	
	2017									0.055					
	2018			0.073						0.066	0.072		0.091	0.116	
	2019														

[mg/(E-d)]	Jahr	901 Töss bei Rämismühle	902 Töss bei Freienstein	903 Kempt vor Töss	904 Eulach vor Töss	Glattal	Werdhölzli	911 Sihl beim Sihlhölzli	912 Reppisch bei Dietikon	913 Furtbach bei Würenlos	914 Aa bei Niederuster	915 Aabach bei Mönchaltorf	916 Jona n. ARA Zwillikon	917 Jona nach Rüti	Kanton Zürich
Saccharin	2015	0.077	0.135	0.148	0.645	0.191	0.041	0.307	0.331	0.106	0.190	0.158	0.206	0.293	3.037 0.214
	2016		0.093	0.079	0.440	0.132	0.331	0.188	0.321	0.077	0.103	0.139	0.238	0.188	
	2017	0.906	0.380	0.275	1.609	0.259	1.113	0.426	0.764	0.151	0.270	0.326	0.684	0.268	
	2018	0.282	0.090	0.060	0.422	0.127	0.075	0.244	0.151	0.087	0.075	0.053	0.180	0.202	
	2019		0.229	0.132	3.037	0.183		0.581	0.401	0.186	0.207	0.339	0.390	0.198	
Sitagliptin	2015		0.210	0.181	0.191	0.265	0.312	0.195	0.149	0.323	0.243	0.207	0.144	0.364	0.724 0.289
	2016		0.245	0.249	0.231	0.275	0.514	0.269	0.215	0.389	0.268	0.277	0.120	0.487	
	2017		0.371	0.272	0.526	0.331	0.664	0.369	0.301	0.452	0.290	0.381	0.355	0.615	
	2018		0.225	0.220	0.128	0.174	0.327	0.189	0.147	0.327	0.166	0.271	0.176	0.703	
	2019		0.408	0.213	0.724	0.304	0.593	0.325	0.309	0.411	0.158	0.347	0.216	0.580	
Sotalol	2015		0.062	0.046	0.026	0.041	0.140	0.082	0.058	0.038	0.056	0.048	0.034	0.141	0.181 0.041
	2016		0.039	0.035	0.093	0.026	0.181	0.097	0.050	0.033	0.038	0.032	0.017	0.091	
	2017		0.044	0.036		0.026			0.056	0.033	0.024	0.032	0.054	0.098	
	2018		0.020	0.026	0.009	0.013			0.023	0.032	0.015	0.022	0.012	0.090	
	2019			0.025		0.015			0.042	0.027		0.026	0.013	0.064	
Sucralose	2015	3.439	2.046	1.788	1.044	2.171	2.449	1.762	1.891	2.545	1.886	1.789	1.682	4.247	6.995 2.590
	2016	1.594	2.127	2.242	1.285	2.598	4.183	1.895	2.511	3.395	2.241	2.296	1.551	4.552	
	2017		2.418	1.862	2.206	2.682	4.396	1.734	2.988	3.137	1.945	2.285	3.415	4.175	
	2018		2.423	2.167	1.129	2.078	2.139	1.715	2.301	3.175	1.602	2.364	2.292	6.995	
	2019	4.600	3.530	1.820	4.285	2.845	2.846	2.151	4.216	3.794	2.355	3.046	2.653	4.625	
Sulfamethazin	2015														0.129 0.010
	2016														
	2017											0.129			
	2018									0.006	0.003		0.005		
	2019											0.026			
Sulfamethoxazol	2015		0.184	0.097	0.104	0.106	0.263	0.127	0.113	0.087	0.104	0.078	0.149	0.198	0.636 0.136
	2016		0.179	0.104	0.144	0.085	0.217	0.103	0.160	0.088	0.109	0.109	0.093	0.211	
	2017		0.208	0.114	0.261	0.099	0.208	0.100	0.138	0.089	0.112	0.129	0.159	0.232	
	2018	0.027	0.171	0.101	0.078	0.079	0.029	0.133	0.090	0.103	0.103	0.151	0.128	0.343	
	2019	0.636	0.284	0.119	0.327	0.088	0.136	0.181	0.194	0.120	0.128	0.132	0.107	0.294	
Sulfapyridin	2015		0.052	0.051	0.035	0.048	0.105	0.062	0.063	0.039	0.025	0.075	0.074	0.092	0.105 0.047
	2016		0.046	0.060	0.041	0.037		0.040	0.064	0.042	0.029	0.060	0.041	0.081	
	2017		0.045	0.043		0.034			0.043	0.039	0.028	0.054	0.066	0.081	
	2018		0.031	0.038	0.021	0.022		0.027	0.035	0.041	0.017	0.040	0.060	0.077	
	2019		0.041	0.025		0.030			0.067	0.045	0.022	0.048	0.059	0.066	
Tramadol	2015		0.107	0.073	0.062	0.076	0.069	0.109	0.069	0.102	0.072	0.081	0.069	0.248	0.265 0.077
	2016		0.087	0.063	0.039	0.067	0.079	0.073	0.061	0.108	0.065	0.075	0.045	0.216	
	2017		0.118	0.066	0.128	0.072	0.056	0.084	0.087	0.126	0.069	0.095	0.110	0.238	
	2018		0.084	0.054	0.035	0.043	0.024	0.072	0.053	0.107	0.041	0.078	0.070	0.265	
	2019		0.113	0.045	0.139	0.038	0.072	0.110	0.077	0.114	0.040	0.078	0.061	0.177	
Triclosan	2015		0.041	0.039	0.028	0.019						0.029	0.018		0.123 0.025
	2016														
	2017				0.082										
	2018	0.038	0.015	0.016	0.031			0.123	0.010				0.015		
	2019														
Trimethoprim	2015		0.022	0.023	0.032	0.023	0.047	0.058	0.022	0.022	0.020	0.006	0.051	0.028	0.130 0.028
	2016		0.038	0.023		0.038	0.130		0.036	0.023	0.024	0.021	0.030	0.032	
	2017		0.024	0.023		0.038			0.026	0.020	0.022	0.061	0.088	0.044	
	2018		0.012	0.010	0.041	0.010		0.088	0.014	0.011	0.010	0.005	0.039	0.029	
	2019		0.047	0.036	0.112	0.026			0.041	0.022	0.017	0.023	0.045		
Venlafaxin	2015		0.104	0.085	0.054	0.070	0.188	0.079	0.070	0.098	0.074	0.153	0.092	0.204	0.229 0.097
	2016		0.090	0.084	0.071	0.070	0.174	0.055	0.072	0.091	0.073	0.148	0.053	0.188	
	2017		0.118	0.078	0.068	0.078	0.193	0.073	0.095	0.102	0.076	0.182	0.142	0.223	
	2018		0.076	0.065	0.041	0.046	0.073	0.066	0.054	0.102	0.047	0.157	0.094	0.229	
	2019		0.109	0.049	0.155	0.029		0.091	0.086	0.094	0.034	0.148	0.079	0.171	

¹⁾ rot: Ausreisser nach oben; grün: Ausreisser nach unten grau hinterlegt: im betreffenden Jahr noch nicht auf der Liste der untersuchten Verbindungen (s. Tab. 5)

²⁾ Durchschnittswerte (arithmetische Mittel) der Tagesmittelwerte, die während den Messperioden im entsprechenden Jahr gemessen wurden

³⁾ Abfluss: Messstelle «Glatt vor Rhein»

⁴⁾ Abfluss: Messstellen «Limmat Höneggersteg» und «Limmat bei Dietikon»

⁵⁾ 2019: «Glatt vor Rhein» = Messstelle NADUF 1'824

⁶⁾ 2018 und 2019: die Stichproben, die bei der Messstelle «Limmat bei Dietikon» erhoben wurden, wurden wie Mischproben behandelt; 2019: für die Differenz wurden nur die Mischproben der Messstelle «Limmat Höneggersteg» berücksichtigt, in deren Sammelperiode bei der Messstelle «Limmat bei Dietikon» eine Stichprobe genommen wurde

⁷⁾ die HWMP, die während der zweiten und dritten Sammelperiode genommen worden waren, wurden jeweils rechnerisch zu einer Zweiwochenmischperiode vereint, indem der Mittelwert der vier Frachten berechnet wurde.

⁸⁾ 2019: 13.5. - 26.5. nur drei HWMP

⁹⁾ oberer Wert: Maximalwert; unterer Wert: Durchschnitt (ohne Ausreisser)