



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

Einträge von organischen Mikroverunreinigungen über ARA in Oberflächengewässer

Untersuchungen an den Hauptmessstellen von 2014 - 2016



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

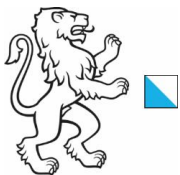
Kanton Zürich
Baudirektion
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Gewässerschutz

Oberflächengewässerschutz

Jürg Sinniger
Pius Niederhauser

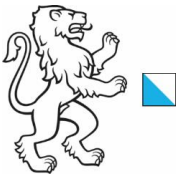
Hardturmstrasse 105
8005 Zürich

Zürich, 1. Oktober 2018

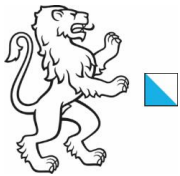


Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis	4
Zusammenfassung.....	5
1 Einleitung.....	6
2 Methode.....	10
2.1 Probenahme	10
2.1.1 Ausrüstung der Hauptmessstellen	10
2.1.2 Messprogramme	10
2.2 Analytik.....	11
2.2.1 Analysemethoden.....	11
2.2.2 Untersuchte Verbindungen	11
2.3 Auswertung der Daten	12
2.3.1 Berechnung der mittleren Frachten an einer Hauptmessstelle	12
2.3.2 Mittlere Fracht pro Einwohner an einer Hauptmessstelle.....	14
2.3.3 Vergleich der mittleren Fracht pro Einwohner bei verschiedenen Hauptmessstellen	14
2.3.4 Mittlere Fracht pro Einwohner im Kanton Zürich	15
3 Resultate.....	17
3.1 Wochenmischproben	17
3.1.1 Häufigkeit der Nachweise.....	17
3.1.2 Maximale Konzentrationen	17
3.1.3 Frachten.....	18
3.1.4 Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee	20
3.2 Quartalswochenmischproben	21
3.2.1 Anzahl Nachweise.....	21
3.2.2 Maximale Konzentrationen	22
3.2.3 Frachten pro Einwohner	24
3.2.4 Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee	25
4 Diskussion.....	27
4.1 Vergleich der Messstellen	27
4.1.1 Häufigkeit der Nachweise.....	27
4.1.2 Maximale Konzentrationen in den Wochenmischproben.....	28
4.1.3 Maximale Konzentrationen in den Quartalswochenmischproben	29
4.2 Vergleich der Mikroverunreinigungen ARA (Quartalswochenmischproben).....	30
4.2.1 Nachweise oberhalb der Nachweisgrenze	30
4.2.2 Maximale Konzentrationen	30
4.3 Frachten der einzelnen Mikroverunreinigungen ARA pro Einwohner	31
4.3.1 Wochenmischproben vs. Quartalswochenmischproben	31
4.3.2 Quartalswochenmischproben	32

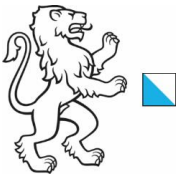


4.3.3	Ausreisser	33
4.4	Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee	33
	Literaturverzeichnis	35
	Anhang A: Mittlere Tagesabflüsse an den Hauptmessstellen	36
	Anhang B: Untersuchte Verbindungen.....	37



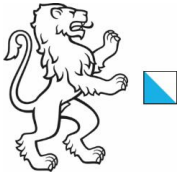
Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Hauptmessstellen und ihre Lage im Kanton Zürich	7
Abb. 1.2: Mittlerer Abfluss pro Einwohner an den Hauptmessstellen.....	8
Abb. 2.1: Schöpfautomat an einer der Hauptmessstellen	10
Abb. 2.2: Berechnung der Frachten	12
Abb. 2.3: Beispiel Methylbenzotriazol an der Messstelle «Glatt vor Rhein» (Wochenmischproben 2016).....	13
Abb. 2.4: Bestimmung von Ausreissern am Beispiel von Gabapentin (Quartalswochenmischproben 2015/16)	16
Abb. 3.1: Fracht von Acesulfam an der Messstelle «Töss bei Freienstein»	19
Abb. 4.1: Belastung der Hauptmessstellen mit Mikroverunreinigungen ARA	28
Abb. 4.2: Anzahl Verbindungen, die an einer bestimmten Hauptmessstelle in den Jahren 2015 oder 2016 in ihren höchsten Konzentrationen gemessen wurden	30



Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1: Mittlere Abflüsse der Hauptmessstellen und Anzahl Einwohner in ihrem Einzugsgebiet	8
Tab. 2.1: Messprogramme Wochenmischproben	11
Tab. 2.2: Messprogramme Quartalswochenmischproben	11
Tab. 3.1: Häufigkeit der Nachweise in den Wochenmischproben	17
Tab. 3.2: Maximale Konzentrationen in den Wochenmischproben.....	18
Tab. 3.3: Durchschnittliche Frachten in Gramm pro Tag.....	19
Tab. 3.4: Durchschnittliche Frachten pro Einwohner	20
Tab. 3.5: Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in Greifen- und Zürichsee	20
Tab. 3.6: Häufigkeit der Nachweise in den Quartalswochenmischproben	22
Tab. 3.7: Maximale Konzentrationen in den Quartalswochenmischproben.....	23
Tab. 3.8: Frachten in Milligramm pro Einwohner.....	25
Tab. 3.9: Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in Greifen- und Zürichsee	26
Tab. 4.1: Belastung der Hauptmessstellen mit Mikroverunreinigungen ARA.....	27
Tab. 4.2: Wochenmischproben 2016: Anzahl maximale Konzentrationen an den einzelnen Messstellen	28
Tab. 4.3: Anzahl Verbindungen, die an einer bestimmten Hauptmessstelle in ihren höchsten Konzentrationen gemessen wurden	29
Tab. 4.4: Prozentualer Anteil (%) der Quartalswochenmischproben, in denen die Mikroverunreinigungen ARA nachgewiesen wurde.....	30
Tab. 4.5: Höchste Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in den Quartalswochenmischproben ...	31
Tab. 4.6: Frachten pro Einwohner, berechnet mittels der Resultate aus Wochenmischproben einerseits und derjenigen aus Quartalswochenmischproben andererseits.	32
Tab. 4.7: Frachten pro Einwohner	32
Tab. 4.8: Hauptmessstellen, die Ausreisser nach oben aufzeigen, und die dafür verantwortlichen Verbindungen	33
Tab. 4.9: Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee sowie Verhältnis gemessene zu berechneten Konzentrationen	34



Zusammenfassung

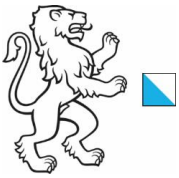
Organische Spurenstoffe aus Industrie und Haushalt gelangen vornehmlich über Abwasserreinigungsanlagen ARA in die Gewässer. Wenn diese Mikroverunreinigungen ARA über das Jahr hinweg in mehr oder weniger gleichbleibenden Mengen in die Gewässer eingetragen werden, kann man annehmen, dass ein Fließgewässer an einer bestimmten Stelle immer die etwa gleiche Fracht einer bestimmten Mikroverunreinigung ARA mit sich führt. Um diese Hypothese zu bestätigen, bieten sich Messkampagnen bei den sechzehn Hauptmessstellen des Kantons Zürich an. Erstens sind an diesen Stellen Automaten installiert, die abfluss- oder zeitproportionale Mischproben schöpfen können, zweitens werden dort die Abflüsse gemessen. Aus den gemessenen Konzentrationen und den Daten für die Abflüsse können anschliessend Frachten berechnet werden. Für die Untersuchungen wurden den Fließgewässern Tagesmischproben entnommen, die jeweils am Ende einer Woche zu Wochenmischproben zusammengeführt wurden. Die Bestimmung der Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA erfolgte mittels Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS/MS).

Es zeigte sich, dass mit zunehmendem Abwasseranteil in einem Fließgewässer die Häufigkeit, mit der Mikroverunreinigungen ARA in den Proben in Konzentrationen gefunden wurden, steigt. Dies steht im Einklang mit der Annahme, dass jeder Einwohner im Kanton Zürich ungefähr die gleichen Mengen an Mikroverunreinigungen ARA ins Abwasser und somit in die Gewässer abgibt. Entsprechend wurden die höchsten Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA an den Hauptmessstellen gefunden, die einen hohen Abwasseranteil aufweisen. Es handelte sich hierbei um die Stellen «Aabach bei Mönchaltorf», «Furtbach bei Würenlos» und «Jonen nach ARA Zwillikon». Zudem wurden die höchsten Konzentrationen fast ausnahmslos im Herbst 2015 gemessen, als die Flüsse aufgrund einer langen Trockenphase wenig Wasser führten.

Die beiden Verbindungen, die in den höchsten Konzentrationen auftraten, waren zwei künstliche Süsstoffe, nämlich Sucralose (6.03 µg/l) und Acesulfam (4.89 µg/l). Gefolgt wurden sie von Metformin, einem Arzneistoff zur Behandlung von Diabetes, und den beiden Korrosionsschutzmitteln Benzotriazol und Methylbenzotriazol. Bei zwei Verbindungen überschritten die höchsten Konzentrationen das Chronische Qualitätskriterium. Es handelte sich dabei um Diclofenac und Clarithromycin.

Die Berechnung der Frachten bestätigte die eingangs erwähnte Hypothese, dass im Durchschnitt jeder Einwohner im Kanton Zürich etwa die gleiche Menge einer Mikroverunreinigung ARA in die Gewässer abgibt. Bei der Sucralose z. B. sind dies rund 2 mg pro Tag. Vergleicht man die Frachten an den verschiedenen Hauptmessstellen, fallen die Ausreisser auf. So werden an der Hauptmessstelle «Aabach bei Mönchaltorf» hohe Frachten an Amisulprid und Venlafaxin gemessen, die in der Behandlung von Schizophrenie bzw. Depressionen eingesetzt werden. Als mögliche Quelle für diese beiden Verbindungen kommt die psychiatrische Klinik Schlössli in Oetwil am See in Frage.

Da die beiden Hauptmessstellen «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Höggersteg» unmittelbar nach dem Greifen- bzw. Zürichsee liegen, entsprechen die Konzentrationen in ihren Proben ungefähr den Konzentrationen im Seewasser. Im Greifensee trat Sucralose mit 0.605 µg/l in der höchsten Konzentration auf, im Zürichsee war Metformin die Verbindung, die in der höchsten Konzentration gefunden wurde (0.133 µg/l). Allgemein waren die Konzentrationen im Zürichsee gleich gross oder tiefer als im Greifensee, bis auf Tramadol, dessen Konzentration im Zürichsee mehr als doppelt so hoch war wie im Greifensee.



1 Einleitung

Organische Spurenstoffe¹, die ihren Ursprung in Industrie und Haushalt haben, gelangen vornehmlich über Abwasserreinigungsanlagen ARA in die Gewässer. Diese Verbindungen – im vorliegenden Bericht Mikroverunreinigungen ARA genannt – stammen z.B. aus 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.

Um diese Hypothese zu bestätigen, bieten sich Messkampagnen bei den sechzehn Hauptmessstellen² des Kantons Zürich (*Abb. 1.1*) an. Erstens sind an diesen Stellen Automaten installiert, die abfluss- oder zeitproportionale Mischproben schöpfen können, zweitens werden dort die Abflüsse gemessen. Aus den gemessenen Konzentrationen und den Daten für die Abflüsse können anschliessend Frachten berechnet werden.

Die Frachten von Mikroverunreinigungen ARA wurden erstmals im Rahmen der Messkampagne des Jahres 2014 bei der Hauptmessstelle «Furtbach bei Würenlos» untersucht [8]. Von Frühling bis Herbst wurden Tagesmischproben gesammelt, die am Ende jeder Woche zu einer Wochenmischprobe vereint und auf Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol analysiert wurden. Dabei 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 organi-

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 in Konzentrationen von Nano- bis Mikrogramm pro Liter im Wasser nachweisbar sind. Die meisten von ihnen stammen aus Produkten, die in Haus und Garten, in der Industrie und im Gewerbe oder in der Landwirtschaft verwendet werden, z.B. Desinfektions- und Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel oder Biozidprodukte. Andere bedeutende Quellen sind Lebensmittel, Medikamente und Produkte für die Körperpflege. Zu den organischen Spurenstoffen gehören aber nicht nur synthetische Stoffe, sondern auch natürliche Stoffe wie die körpereigenen Östrogene. Einige organische Spurenstoffe können bereits in sehr tiefen Konzentrationen Schaden anrichten.

² Um die wichtigsten Fließgewässer seines Gebiets zu überwachen, betreibt der Kanton Zürich zurzeit 16 Hauptmessstellen. Bis Ende 2011 waren es 17. Ab Januar 2012 wurde die Hauptmessstelle «Sihl bei Hütten» aufgehoben, da das Wasser der Sihl an dieser Stelle seit vielen Jahren eine gute bis sehr gute Qualität aufwies. Da sich in unmittelbarer Nähe aller Hauptmessstellen Stationen für die Messung des Abflusses befinden, ist es möglich, den Verlauf der gemessenen Konzentrationen gegen den Abfluss aufzutragen oder Frachten zu berechnen.

schen 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 [9].

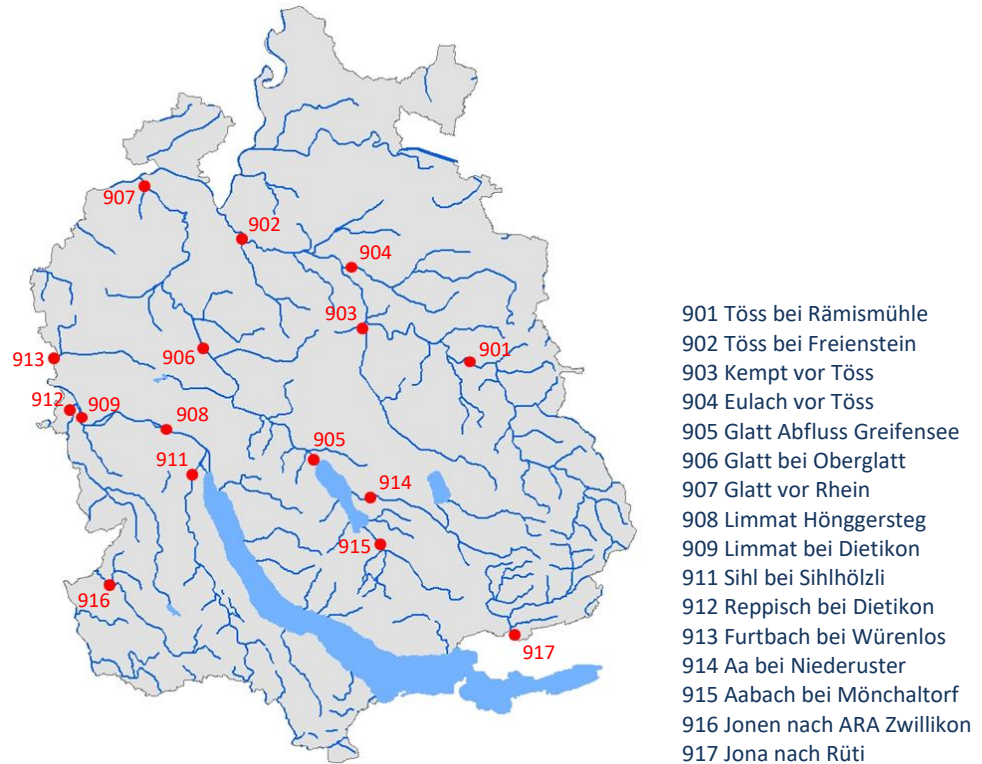
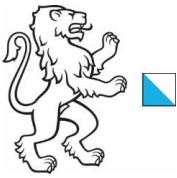


Abb. 1.1: Hauptmessstellen und ihre Lage im Kanton Zürich

Im Jahr 2015 wurden nicht nur die beiden Messstellen «Glatt vor Rhein» und «Jonen nach ARA Zwillikon» untersucht, sondern an jeder der sechzehn Hauptmessstellen wurde quartalsweise eine Wochenmischprobe erhoben, so dass Ende Jahr für jede Stelle mindestens vier Mischproben vorlagen. Die Frachten von Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol bewegten sich an den meisten Stellen in einem engen Bereich [10]. Zudem konnte gezeigt werden, dass zwischen den berechneten Frachten und der Anzahl der über die ARA angeschlossenen Einwohner an der entsprechenden Messstelle (*Tab. 1.1*) ein linearer Zusammenhang besteht. Dieser Zusammenhang erlaubte es, den Eintrag einer Mikroverunreinigung ARA in ein Fließgewässer pro Person und Tag abzuschätzen.

C Nr	Hauptmessstelle	Angeschl. Einwohner	mittlere Abflüsse [m³/s]				Mittl. Abfluss pro Einwohner [l/(s·E)]
			2014	2015	2016	Mittelwert	
901	Töss bei Rämismühle	7100		2.55	3.85	3.20	0.45
902	Töss bei Freienstein	187015		7.64	10.23	8.94	0.05
903	Kempt vor Töss	28541		1.10	1.46	1.28	0.04
904	Eulach vor Töss	7234		0.72	0.93	0.83	0.11
905	Glatt Abfluss Greifensee	125818		3.64	5.31	4.48	0.04

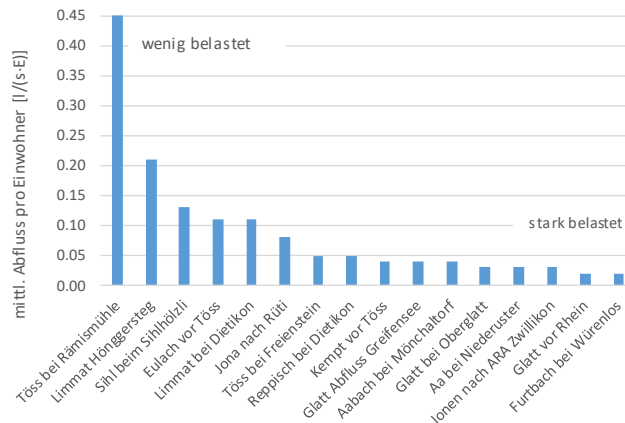


C Nr	Hauptmessstelle	Angeschl. Einwohner	mittlere Abflüsse [m³/s]				Mittl. Abfluss pro Einwohner [l/(s·E)]
			2014	2015	2016	Mittelwert	
906	Glatt bei Oberglatt	258791		5.88	7.38	6.63	0.03
907	Glatt vor Rhein	334905		6.95	9.28	8.12	0.02
908	Limmat Hönggersteg	441515		83.49	99.42	91.46	0.21
909	Limmat bei Dietikon	851515		83.51	99.42	91.47	0.11
911	Sihl beim Sihlhölzli	51888		5.97	7.01	6.49	0.13
912	Reppisch bei Dietikon	24748		1.03	1.36	1.20	0.05
913	Furtbach bei Würenlos	33566	0.54	0.58	0.80	0.64	0.02
914	Aa bei Niederuster	53833		1.47	1.80	1.64	0.03
915	Aabach bei Mönchaltorf	25849		0.82	1.23	1.03	0.04
916	Jonen nach ARA Zwillikon	20771		0.50	0.76	0.63	0.03
917	Jona nach Rüti	31735		2.08	2.89	2.49	0.08

Die Messstellen sind nach aufsteigender C-Nummer geordnet.

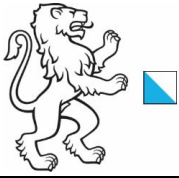
Tab. 1.1: Mittlere Abflüsse der Hauptmessstellen und Anzahl Einwohner in ihrem Einzugsgebiet

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 und der Anzahl Einwohner, die im Einzugsgebiet dieser Messstelle an einer ARA angeschlossen sind (s. Tab. 1.1), einen Hinweis auf die Belastung des Wassers an der Messstelle. Ist dieser Quotient «mittlerer Abfluss pro Einwohner» 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. Die untenstehende Abbildung zeigt für jede Hauptmessstelle den mittleren Abfluss pro Einwohner (Abb. 1.2). Aus ihr lässt sich zum Beispiel herauslesen, dass in der Töss an der Messstelle «Töss bei Rämismühle» 0.45 Liter Wasser den «Abfall» aufnehmen, der pro Sekunde und Einwohner anfällt, während es im Furtbach bei Würenlos lediglich 0.02 Liter sind.



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

Abb. 1.2: Mittlerer Abfluss pro Einwohner an den Hauptmessstellen

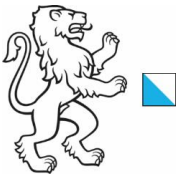


Die Abbildungen in Anhang A zeigen in Form von Kastengrafiken³, wie stark die mittleren täglichen Abflüsse der Bäche und Flüsse an den Hauptmessstellen variierten. Von Interesse sind hierbei vor allem die tiefen Abflüsse, da bei diesen die höchsten Konzentrationen an Mikroverunreinigungen ARA auftreten sollten.

Im Jahr 2016 wurden die Untersuchungen nach ähnlichem Muster wie in den Jahren 2014 und 2015 weitergeführt, wobei die Liste der untersuchten Mikroverunreinigungen ARA erweitert wurde (*Anh. B*). Die Messstellen, die lückenlos von April bis November beprobt wurden, waren: «Eulach vor Töss», «Töss bei Freienstein», «Glatt vor Rhein», «Kempt vor Töss» und «Limmat bei Dietikon». Zudem wurden wie im Jahr 2015 an allen sechzehn Hauptmessstellen Quartalswochenmischproben erhoben. Die Untersuchungen und die Auswertung der Resultate wurden mit Hinblick auf die Beantwortung der folgenden Fragen durchgeführt:

- Wie häufig werden die einzelnen Mikroverunreinigungen ARA in den Gewässern in einer Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze gefunden? Ist diese Häufigkeit abhängig vom Ausmass der Belastung des Gewässers durch gereinigtes Abwasser?
- Wie gross sind die maximalen Konzentrationen, die von den Mikroverunreinigungen ARA gemessen werden?
- In welchen Konzentrationen findet man die Mikroverunreinigungen ARA in Zürich- und Greifensee?
- 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?

³ Kastengrafiken (auch Kastenschaubilder oder Boxplots genannt) werden hauptsächlich verwendet, wenn man sich schnell einen Überblick über die Verteilung von Daten verschaffen will.



2 Methode

2.1 Probenahme

2.1.1 Ausrüstung der Hauptmessstellen

An allen sechzehn Hauptmessstellen im Kanton Zürich (s. *Abb. 1.1*) sind Schöpfautomaten installiert (*Abb. 2.1*). Für die Untersuchungen wurden den Fließgewässern Tagesmischproben entnommen, die jeweils am Ende einer Woche zu Wochenmischproben zusammengeführt wurden. Die Entnahme der Tagesmischproben erfolgte bei den beiden Messstellen an der Limmat sowie bei den Messstellen «Kempt vor Töss», «Jona nach Rüti» und «Töss bei Freienstein» zeitproportional, bei allen anderen Messstellen abflussproportional.



Abb. 2.1: Schöpfautomat an einer der Hauptmessstellen

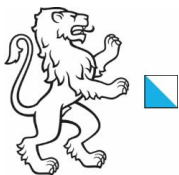
An allen Hauptmessstellen wird zudem der Abfluss gemessen. Die Abflussdaten für die Auswertungen in diesem Bericht wurden von der Abteilung Wasserbau des AW-EL geliefert.

2.1.2 Messprogramme

Die Mikroverunreinigungen ARA wurden in den Jahren 2014 bis 2016 im Rahmen von zwei verschiedenen Messprogrammen untersucht:

Wochenmischproben

Im Programm *Wochenmischproben* (WMP) wurden ausgewählte Hauptmessstellen von Frühling bis Herbst durchgehend mit Wochenmischproben beprobt. Insgesamt handelte es sich in den drei Jahren um sieben verschiedene Hauptmessstellen, an denen jeweils zwischen 33 und 35 Wochenmischproben erhoben wurden (*Tab. 2.1*); analysiert wurden diese Proben vom Labor Veritas, Zürich.



	2014	2015	2016
Untersuchungsperiode	17. Mrz. (Wo 12) – 9. Nov. (Wo 45)	23. Mrz. (Wo 13) – 22. Nov. (Wo 47)	4. April (Wo 14) – 21. Nov. (Wo 47)
Anzahl Wochenmischproben	33	35	34
Untersuchte Messstelle(n)	Furtbach bei Würenlos	Glatt vor Rhein Jonen nach ARA Zwillikon	Eulach vor Tösseinmündung Töss bei Freienstein Glatt vor Rhein* Kempt vor Tösseinmündung Limmat bei Dietikon

* In der Woche vom 30. Mai (Wo 22) war der Probenehmer verstopft, sodass keine Proben gesammelt werden konnten.

Tab. 2.1: Messprogramme Wochenmischproben

Quartalswochenmischproben

Im Programm *Quartalswochenmischproben* (QWMP) wurde in den beiden Jahren 2015 und 2016 an allen sechzehn Hauptmessstellen (s. *Abb. 1.1*) jeweils einmal pro Quartal eine Wochenmischprobe erhoben (*Tab. 2.2*). Diese Proben wurden durch das Gewässerschutzlabor des AWEL untersucht.

Alle 16 Hauptmessstellen	2015	2016
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)	25.4. - 1.5. (Wo 17) 4.7. - 10.7. (Wo 27) 12.9. - 18.9. (Wo 37) 21.11. - 27.11. (Wo 47)
Anzahl Wochenmischproben pro Hauptmessstelle	4	4

Tab. 2.2: Messprogramme Quartalswochenmischproben

2.2 Analytik

2.2.1 Analysemethoden

Die Bestimmung der Konzentrationen in den Wochenmischproben erfolgte mittels Flüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS/MS). Bei der Analyse der Quartalswochenmischproben wurde die Methode «LC-MS Screening» angewendet. Die verschiedenen Analysemethoden führten dazu, dass die Bestimmungsgrenzen in den Wochenmischproben um einen Faktor 2 bis 5 tiefer waren als in den Quartalswochenmischproben.

2.2.2 Untersuchte Verbindungen

Die Liste der untersuchten Mikroverunreinigungen ARA war von Kampagne zu Kampagne verschieden. Im Anhang B sind diejenigen der analysierten Verbindungen aufgeführt, deren Konzentrationen im Rahmen dieses Berichts betrachtet werden. Zu jeder Verbindung ist in Klammern noch die Bestimmungsgrenze in Nanogramm pro Liter angegeben. Da sich die Analytik der Wochenmischproben von derjenigen der Quartalsmischproben unterschied (s. *Kap. 2.2.1*), weisen die gleichen Verbindungen in den verschiedenen Messprogrammen unterschiedliche Bestimmungsgrenzen auf. Ausserdem wurden bei den «Quartalswochenmischproben» die Konzentrationen zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze mit in die Datenbank aufgenommen, während bei den Wochenmischproben nur die Werte oberhalb der

Bestimmungsgrenze berücksichtigt wurden. Welche Werte für welche Auswertung benützt wurden, ist im jeweiligen Abschnitt des Kapitels «Resultate» angegeben.

2.3 Auswertung der Daten

2.3.1 Berechnung der mittleren Frachten an einer Hauptmessstelle

Um die Berechnung der Fracht einer Substanz v für einen allgemeinen Fall zu beschreiben, wird angenommen, dass die Hauptmessstelle HMS an einem Fließgewässer liegt, das einem See entspringt (*Abb. 2.2*).

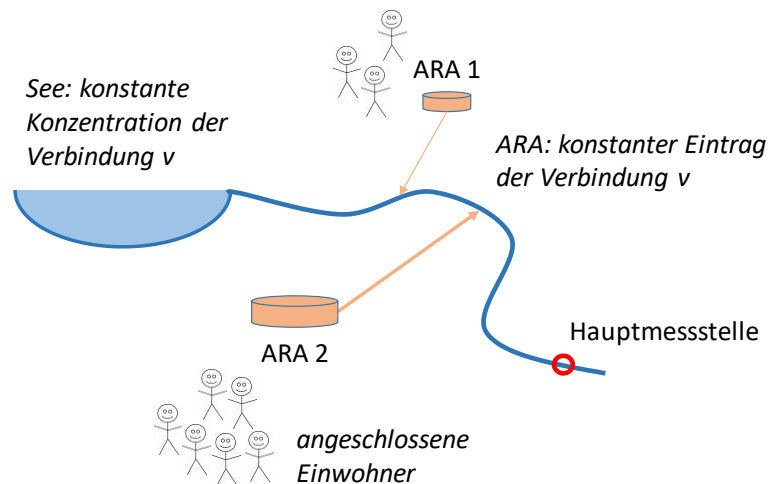


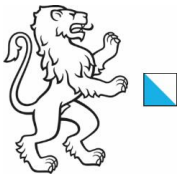
Abb. 2.2: Berechnung der Frachten

Die Fracht $F_{HMS}(v, w)$ der Verbindung v in der Woche w an der Messstelle ist definiert als das Produkt der Konzentration $c_{HMS}(v, w)$ der Verbindung v , die in der Mischprobe der Woche w gemessen wurde, und dem mittleren Abfluss $\bar{Q}_{HMS}(w)$ der Woche w (Gl. 1). Die Frachten wurden nur für die Fälle berechnet, in denen die Konzentrationen höher als die Bestimmungsgrenzen waren.

$$\text{Gl. 1} \quad F_{HMS}(v, w) = c_{HMS}(v, w) \times \bar{Q}_{HMS}(w); \quad c_{HMS}(v, w) > BG$$

In allen anderen Fällen wurden die Frachten nicht gleich null gesetzt, sondern die Messungen wurden in der Auswertung 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 Bestimmungsgrenzen fallen – Frachten von Null erhalten werden. Bei der Berechnung von mittleren Frachten würden diese «Nullfrachten» das Bild verzerren.

Das Wasser eines Fließgewässers, das einem See entspringt, besteht zum Teil aus Seewasser. Sind nun bereits im Seewasser Mikroverunreinigungen ARA gelöst, dann tragen diese je nachdem, wie gross ihre Konzentration im Seewasser ist, mehr oder weniger zur Fracht an Mikroverunreinigungen an der Hauptmessstelle bei. Die Fracht $F_{HMS}(v, w)$ der Verbindung v , die der Fluss bei der Messstelle in der Woche w



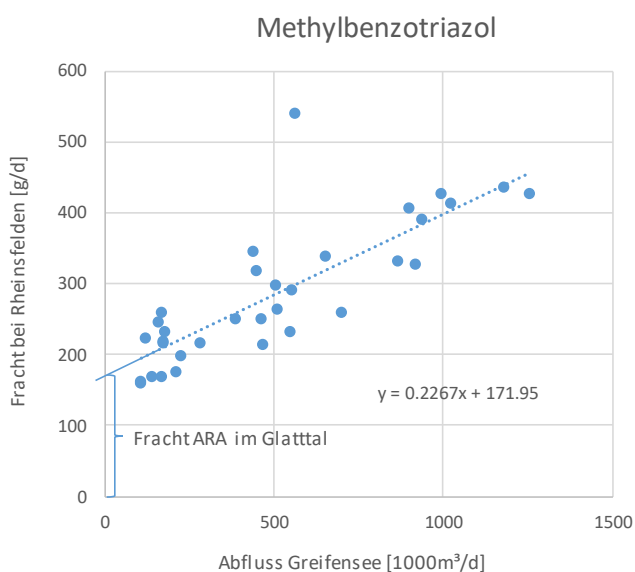
mit sich führt, setzt sich also zusammen aus der Fracht $F_S(v,w)$, die aus dem See stammt, und der Fracht $F_{ARA}(HMS,v)$, die zwischen dem See und der Messstelle über die ARA in den Fluss eingetragen wird (s. Abb. 2.2). Wie in der Einleitung (s. Kap. 1) festgehalten wurde, wird die Fracht $F_{ARA}(HMS,v)$ als konstant und damit zeitunabhängig angenommen (Gl. 2):

$$\text{Gl. 2} \quad F_{HMS}(v,w) = F_S(v,w) + F_{ARA}(HMS,v)$$

Ersetzt man die Ausdrücke für die Fracht des Fließgewässers bei der Messstelle $F_{HMS}(v,w)$ und beim Abfluss aus dem See $F_S(v,w)$ durch die Produkte der entsprechenden Konzentrationen und Abflüsse (s. Gl. 1), ergibt sich die untenstehende Gleichung (Gl. 3). Dabei wird angenommen, dass neben der Fracht $F_{ARA}(HMS,v)$ auch die Konzentration $c_S(v)$ der Verbindung v im See während der ganzen Untersuchungsperiode konstant ist (s. Abb. 2.2).

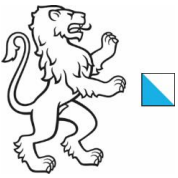
$$\text{Gl. 3} \quad c_{HMS}(v,w) \times \bar{Q}_{HMS}(w) = c_S(v) \times \bar{Q}_S(w) + F_{ARA}(HMS,v)$$

Die mittlere Fracht $\bar{F}_{ARA}(HMS,v)$ der Verbindung v , die über die ARA in das Fließgewässer eingetragen wird, und die mittlere Konzentration $\bar{c}_S(v)$ der Verbindung v im Seewasser können nun über eine lineare Regression ermittelt werden: Trägt man für jede Woche w die Fracht $F_{HMS}(v,w)$ einer Verbindung v (linke Seite der Gl. 3) gegen den Abfluss des Flusses beim Verlassen des Sees $\bar{Q}_S(w)$ auf, so erhält man über eine lineare Regression eine Gerade, deren Steigung der mittleren Konzentration $\bar{c}_S(v)$ der Verbindung v im Seewasser und deren y-Achsenabschnitt der mittleren Fracht $\bar{F}_{ARA}(HMS,v)$ entspricht. Als Beispiel ist in der untenstehenden Abbildung die Auswertung der Daten dargestellt, die im Rahmen der Analyse der Wochenmischproben im Jahr 2016 an der Hauptmessstelle «Glatt vor Rhein» für die Verbindung Methylbenzotriazol gewonnen wurden (Abb. 2.3).



Der y-Achsenabschnitt entspricht der Menge an Methylbenzotriazol, die pro Tag über die ARA im Glatttal in die Glatt eingetragen wird, nämlich 172 Gramm. Die Steigung der Regressionsgerade ergibt die Konzentration des Stoffs im See; sie beträgt in diesem Fall 0.227 Milligramm pro Kubikmeter (oder Mikrogramm pro Liter).

Abb. 2.3: Beispiel Methylbenzotriazol an der Messstelle «Glatt vor Rhein» (Wochenmischproben 2016)



Liegt die Hauptmessstelle an einem Fließgewässer, das *nicht* einem See entspringt, dann ist der Seeabfluss $\bar{Q}_S(w)$ gleich Null (s. Gl. 3). Die Frachten, die für die Messstelle berechnet werden, liegen somit alle auf der y-Achse. Statt einer linearen Regression kann nun aus den Frachten $F(v, w_i)$ der Proben der n Wochen w_i direkt der Mittelwert $\bar{F}_{ARA}(HMS, v)$ berechnet werden (Gl. 4):

$$\text{Gl. 4} \quad \bar{F}_{ARA}(HMS, v) = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n F_{HMS}(v, w_i)$$

2.3.2 Mittlere Fracht pro Einwohner an einer Hauptmessstelle

Um die mittlere Fracht $\bar{F}_p(HMS, v)$ einer Verbindung v *pro Einwohner* an einer bestimmten Hauptmessstelle zu berechnen, wurde die Anzahl der Einwohner $N(HMS)$ ermittelt, deren Abwasser an der Messstelle vorbeifliesst (s. Abb. 2.2). Sind im Einzugsgebiet der Messstelle mehrere ARA vorhanden, so werden die Anzahl Einwohner $N(ARA_j)$, die an jede der m ARA_j angeschlossen sind, addiert (Gl. 5):

$$\text{Gl. 5} \quad N(HMS) = \sum_{j=1}^m N(ARA_j)$$

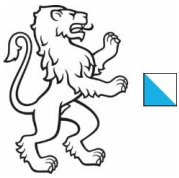
Anschliessend wurde der Mittelwert der Fracht $\bar{F}_{ARA}(HMS, v)$ durch die Anzahl angeschlossener Einwohner oberhalb der Messstelle dividiert (Gl. 6):

$$\text{Gl. 6} \quad \bar{F}_p(HMS, v) = \frac{\bar{F}_{ARA}(HMS, v)}{N(HMS)}$$

Bei der Berechnung der mittleren Frachten pro Einwohner wurden für die Messstellen, die unterhalb eines Sees liegen, nur die Einwohner derjenigen ARA berücksichtigt, die zwischen See und Messstelle in den Fluss einleiten (s. Abb. 2.2). Die Werte für die Anzahl Einwohner im Einzugsgebiet einer Messstelle sind in der Tabelle in der Einleitung aufgeführt (s. Tab. 1.1); sie stammen aus einem früheren Bericht [10].

2.3.3 Vergleich der mittleren Fracht pro Einwohner bei verschiedenen Hauptmessstellen

In der Einleitung (s. Kap.1) wurde 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 $\bar{F}_p(HMS, v)$ einer Verbindung v pro Einwohner sollte für alle Hauptmessstellen 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 nun die Frachten pro Einwohner der verschiedenen Hauptmessstellen miteinander verglichen und auf Ausreisser geprüft werden. Das im folgenden beschriebene Verfahren wurde auf die Resultate angewendet, die mittels der Quartalswochenmischproben gewonnen wurden.



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 $Q1$ ⁴ (Gl. 7):

$$\text{Gl. 7} \quad IQR = Q3 - Q1$$

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 im vorliegenden Bericht diejenigen Werte bezeichnet, die weiter als das 1.5-fache des IQR oberhalb des $Q3$ oder unterhalb des $Q1$ liegen (Gl. 8):

$$\begin{aligned} \text{Gl. 8} \quad & \text{Ausreisser nach oben : Wert} > Q3 + 1.5 \cdot IQR \\ & \text{Ausreisser nach unten : Wert} < Q1 - 1.5 \cdot IQR \end{aligned}$$

In der Abbildung auf der nächsten Seite wird dieses Verfahren zur Bestimmung von Ausreissern am Beispiel von Gabapentin erläutert (Abb. 2.4); die Frachten von Gabapentin pro Einwohner wurden aufgrund der Konzentrationen berechnet, die in den Quartalswochenmischproben der beiden Messkampagnen 2015 und 2016 (s. Tab. 2.2) gemessen wurden. In der linken Grafik sind für jede Hauptmessstelle und beide Untersuchungsjahre die Werte für die Frachten von Gabapentin pro Einwohner eingetragen. In der rechten Grafik sind diese Daten in einer Kastengrafik⁵ zusammengefasst. Die Ausreisser nach oben sind mit roter Farbe markiert, diejenigen nach unten mit grüner.

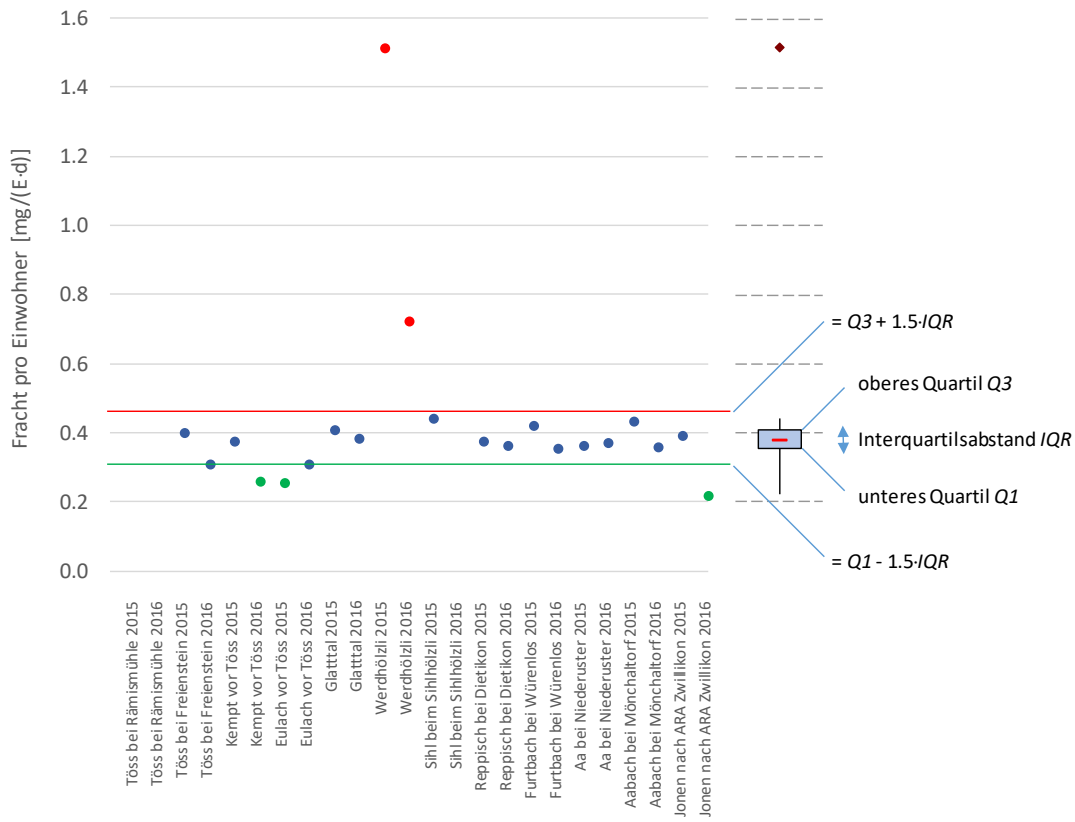
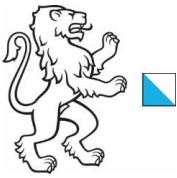
2.3.4 Mittlere Fracht pro Einwohner im Kanton Zürich

Für die Abschätzung der mittleren Fracht $\bar{F}_p(v)$ einer Verbindung v , die ein Einwohner *im Kanton Zürich* verursacht, wurde der Mittelwert der mittleren Frachten $\bar{F}_p(HMS_k, v)$ von allen o Hauptmessstellen HMS_k berechnet, an denen eine mittlere Fracht bestimmt werden konnte. Ausreisser wurden dabei nicht berücksichtigt (Gl. 9):

$$\text{Gl. 9} \quad \bar{F}_p(v) = \frac{1}{o} \times \sum_{k=1}^o \bar{F}_p(HMS_k, v); \text{ ohne Ausreisser}$$

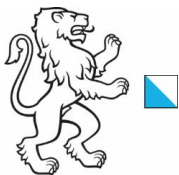
⁴ Quartile zerlegen eine sortierte Datenreihe von Beobachtungen in vier (annähernd) gleich grosse Abschnitte. Das erste Quartil, das auch unteres Quartil genannt wird, teilt die Datenreihe in das untere Viertel und das obere Dreiviertel. Das dritte Quartil (auch oberes Quartil genannt), teilt die sortierte Datenreihe in das untere Dreiviertel und das obere Viertel. Das zweite Quartil entspricht dem Median, der die Datenreihe in zwei gleich grosse Hälften teilt.

⁵ Die Box wird durch das obere und das untere Quartil begrenzt; sie umfasst also den Bereich, in dem die mittlere Hälfte der Daten liegen. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand und ist ein Mass der Streuung der Daten. Der Median ist als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man einen Eindruck von der Schiefe der Verteilung der Daten. Die obere Linie, die das Rechteck verlängert, reicht bis zum 90-Quantil, die untere bis zum kleinsten Wert der Daten. Die Box inklusive Linien decken somit 90% der Spannweite der Daten ab. Der Höchstwert ist als einzelner Punkt angegeben.



Rote Punkte: Ausreisser nach oben; grüne Punkte: Ausreisser nach unten

Abb. 2.4: Bestimmung von Ausreissern am Beispiel von Gabapentin (Quartalswochenmischproben 2015/16)



3 Resultate

3.1 Wochenmischproben

3.1.1 Häufigkeit der Nachweise

Die folgende Tabelle zeigt für alle Messkampagnen (s. Tab. 2.1) und Mikroverunreinigungen ARA (s. Kap. 2.2.2) den prozentualen Anteil der Wochenmischproben, in denen die entsprechende Verbindung in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen wurde (Tab. 3.1). Zum Beispiel wurde Benzotriazol über alle Kampagnen hinweg in allen Proben in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen. Dies ergibt für jede der Kampagnen 100 Prozent. Ist ein Feld leer, dann wurde die betreffende Verbindung in der jeweiligen Kampagne nicht untersucht. Ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die Werte für die Kampagnen 2014 und 2015 wurden zwei früheren Berichten entnommen [8,9]. In der letzten Spalte wurde für jede Hauptmessstelle der Mittelwert über alle Verbindungen aufgeführt, um die Belastung der Stelle mit Mikroverunreinigungen ARA abschätzen zu können.

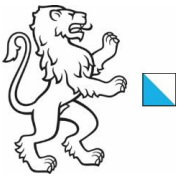
	Acesulfam	Amisulprid	Benzotriazol	Candesartan	Carbamazepin	Citalopram	Clarithromycin	Diclofenac	Hydrochlorthiazid	Irbesartan	Methylbenzotriazol	Metoprolol	Sulfamethoxazol	Venlafaxin	Mittelwert
2014															
Furtbach			100		100			100					100		100
2015															
Glatt vor Rhein			100		100		71	100	100			100	100		96
Jonen n. ARA Zw.			100		89		74	100	97			77	86		89
2016															
Eulach vor Töss	100	29	100	94	79	-	9	100	97	21	100	94	47	59	71
Töss Freienstein	100	79	100	91	94	44	59	100	97	82	100	97	97	97	88
Glatt vor Rhein	100	52	100	100	100	52	91	100	97	100	100	100	88	100	91
Kempt vor Töss	100	59	100	85	85	53	82	100	97	94	100	97	82	94	88
Limmat Dietikon	100	24	100	94	56	-	21	97	76	41	100	18	56	41	63

Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen eine bestimmte Mikroverunreinigung ARA in einer Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen wurde.

Tab. 3.1: Häufigkeit der Nachweise in den Wochenmischproben

3.1.2 Maximale Konzentrationen

Die Tabelle auf der nächsten Seite zeigt für jede Messkampagne (s. Tab. 2.1) und Mikroverunreinigung ARA (s. Kap. 2.2.2) die maximale Konzentration, in der die entsprechende Verbindung nachgewiesen wurde (Tab. 3.2). Der höchste Maximalwert ist jeweils fett und kursiv gedruckt. Ist ein Feld leer, dann wurde die betreffende Verbindung in der jeweiligen Kampagne nicht untersucht. Ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Die Werte für die Kampagnen 2014 und 2015 wurden zwei früheren Berichten entnommen [8,9]. In



der letzten Zeile ist für jede Verbindung der höchste Wert angegeben, der über alle Messstellen hinweg gemessen wurde. Die Verbindungen, für die Qualitätskriterien vorliegen, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet (s. Anh. B). Die Konzentrationen, die höher sind als das Chronische Qualitätskriterium CQK, sind rot gedruckt.

[µg/l]	Acesulfam	Amisulprid	Benzotriazol*	Candesartan	Carbamazepin*	Citalopram	Clarithromycin*	Diclofenac*	Hydrochlorothiazid	Irbesartan*	Methylbenzotriazol*	Metoprolol*	Sulfamethoxazol*	Venlafaxin
2014														
Furtbach			2.51		0.15			0.62					0.15	
2015														
Glatt vor Rhein Jonen n. ARA Zw.			1.70 3.26		0.09 0.26		0.04 0.33	0.41 1.11	0.25			0.11 0.31	0.09 0.21	
2016														
Eulach vor Töss	1.65	0.02	0.43	0.08	0.05	-	0.02	0.19	0.10	0.02	0.46	0.03	0.09	0.03
Töss Freienstein	1.52	0.05	0.91	0.12	0.09	0.02	0.03	0.83	0.16	0.06	0.51	0.06	0.13	0.06
Glatt vor Rhein	2.51	0.02	1.68	0.13	0.08	0.02	0.04	0.31	0.14	0.12	0.71	0.05	0.09	0.07
Kempt vor Töss	5.21	0.05	1.17	0.17	0.08	0.03	0.07	0.40	0.29	0.10	1.83	0.08	0.12	0.07
Limmat Dietikon	0.74	0.02	0.35	0.03	0.02	-	0.02	0.11	0.07	0.03	0.18	0.01	0.03	0.02
Max	5.21	0.05	3.26	0.17	0.26	0.03	0.33	1.11	0.59	0.12	1.83	0.31	0.21	0.07

* Für die Verbindung liegen Qualitätskriterien vor. Rot: Das Chronische Qualitätskriterium CQK ist überschritten. Fett und kursiv: höchste gemessene Konzentration

Tab. 3.2: Maximale Konzentrationen in den Wochenmischproben

3.1.3 Frachten

Absolute Frachten

Die untenstehende Tabelle (Tab. 3.3) zeigt die durchschnittlichen Frachten an Mikroverunreinigungen in der Einheit Gramm pro Tag (s. Kap. 2.3.2). Ist ein Feld leer, dann wurde die betreffende Verbindung in der jeweiligen Kampagne nicht untersucht. Ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Bei den beiden Messstellen «Glatt vor Rhein» und «Limmat Dietikon» beziehen sich die Angaben auf die Frachten der ARA, die zwischen Messstelle und See in Glatt bzw. Limmat entwässern (Glatttal bzw. Werdhölzli). Für Acesulfam wurden keine Werte berechnet, da die Frachten an jeder Messstelle eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Abfluss zeigten (Abb. 3.1). Ist ein Wert kleiner Null (< 0), bedeutet dies, dass bei der linearen Regression eine negative Steigung erhalten wurde (s. Abb. 2.3). Die Werte für die Kampagne 2015 wurden einem früheren Bericht entnommen [9].

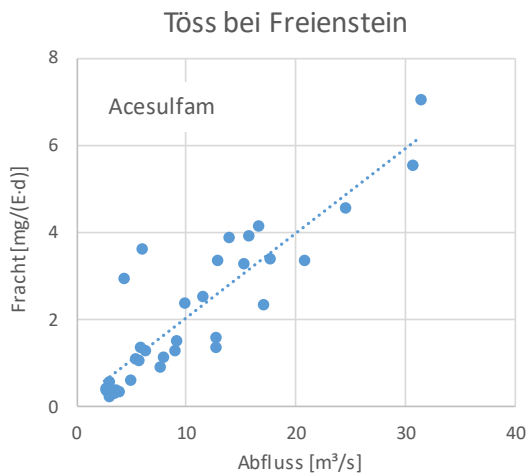
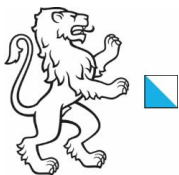


Abb. 3.1: Fracht von Acesulfam an der Messstelle «Töss bei Freienstein»

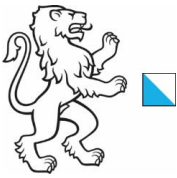
[g/d]	Acesulfam	Amisulprid	Benzotriazol	Candesartan	Carbamazepin	Citalopram	Clarithromycin	Diclofenac	Hydrochlorthiazid	Irbesartan	Methylbenzotriazol	Metoprolol	Sulfamethoxazol	Venlafaxin
2014														
Furtbach			64.71		3.143			12.57					3.143	
2015														
Glatt vor Rhein			293.7		14.71		4.429	55.71	37.57			17.14	12.14	
Jonen n. ARA Zw.			24.33		1.557		1.157	6.743	3.643			1.414	1.214	
2016														
Eulach vor Töss	x	0.320	10.72	1.559	1.052	-	0.508	5.388	2.356	0.629	13.29	1.223	1.139	0.740
Töss Freienstein	x	12.55	300.2	28.96	20.55	5.412	7.358	145.7	46.33	17.20	163.4	23.37	28.03	21.82
Glatttal*	x	4.182	380.5	35.75	21.75	4.182	9.409	58.13	28.23	27.39	171.9	13.80	20.91	17.98
Kempt vor Töss	x	1.442	44.60	5.423	2.224	0.934	2.127	18.89	8.219	3.092	44.06	3.580	3.170	3.254
Werdhölzli**	x	46.74	631.4	52.48	31.98	-	< 0	123.0	104.1	62.73	360.8	3.280	78.31	< 0

* Eintrag der ARA zwischen Greifensee und Messstelle «Glatt vor Rhein». ** Eintrag der ARA Werdhölzli in die Limmat

Tab. 3.3: Durchschnittliche Frachten in Gramm pro Tag

Frachten pro Einwohner

Die untenstehende Tabelle (Tab. 3.4) zeigt die durchschnittlichen Frachten an Mikroverunreinigungen ARA pro Einwohner (s. Kap. 2.3.2). Ist ein Feld leer, dann wurde die betreffende Verbindung in der jeweiligen Kampagne nicht untersucht. Ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Der höchste Wert ist jeweils fett und kursiv gedruckt. Bei den beiden Messstellen «Glatt vor Rhein» und «Limmat Dietikon» beziehen sich die Angaben auf diejenigen Einwohner, die an einer zwischen Messstelle und See gelegenen ARA angeschlossen sind. Für Acesulfam wurden keine Werte berechnet, da die Frachten an jeder Messstelle eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Abfluss zeigten: je höher der Abfluss war, desto grösser war die Fracht (s. Abb. 3.1). In der letzten Zeile ist für jede Verbindung der Mittelwert der Fracht pro Einwohner über alle Messstellen angegeben.



[mg/(E·d)]	Acesulfam	Amisulprid	Benzotriazol	Candesartan	Carbamazepin	Citalopram	Clarithromycin	Diclofenac	Hydrochlorthiazid	Irbesartan	Methylbenzotriazol	Metoprolol	Sulfamethoxazol	Venlafaxin
2014														
Furtbach			1.93		0.094			0.375					0.094	
2015														
Glatt vor Rhein Jonen n. ARA Zw.			1.40 1.17		0.070 0.075		0.021 0.056	0.266 0.325	0.180 0.175			0.082 0.068	0.058 0.058	
2016														
Eulach vor Töss	x	0.044	1.48	0.216	0.145	-	0.070	0.745	0.326	0.087	1.838	0.169	0.157	0.102
Töss Freienstein	x	0.067	1.61	0.155	0.110	0.029	0.039	0.779	0.248	0.092	0.873	0.125	0.150	0.117
Glatttal*	x	0.020	1.82	0.171	0.104	0.020	0.045	0.278	0.135	0.131	0.822	0.066	0.100	0.086
Kempt vor Töss	x	0.051	1.56	0.190	0.078	0.033	0.075	0.662	0.288	0.108	1.544	0.122	0.111	0.114
Werdhölzli**	x	0.114	1.54	0.128	0.078	-	< 0	0.300	0.254	0.153	0.880	0.008	0.191	< 0
Mittelwert	x	0.059	1.56	0.172	0.094	0.027	0.051	0.466	0.229	0.114	1.191	0.091	0.115	0.105

* Eintrag der ARA zwischen Greifensee und Messstelle «Glatt vor Rhein». ** Eintrag der ARA Werdhölzli in die Limmat. Fett und kursiv: höchste durchschnittliche Fracht pro Einwohner

Tab. 3.4: Durchschnittliche Frachten pro Einwohner

3.1.4 Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee

Die untenstehende Tabelle listet die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in Greifen- und Zürichsee auf (Tab. 3.5). Die Werte wurden mit Hilfe des Verfahrens berechnet, das im Kapitel «Methode» vorgestellt wurde (s. Kap. 2.3.1). Ist ein Feld leer, dann wurde die betreffende Verbindung in der jeweiligen Kampagne nicht untersucht. Ein Strich bedeutet, dass alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen. Ist ein Wert kleiner Null (< 0), bedeutet dies, dass bei der linearen Regression eine negative Steigung erhalten wurde (s. Abb. 2.3). Die Werte für die Kampagne 2015 wurden einem früheren Bericht entnommen [9]. Die Verbindungen, für die Qualitätskriterien vorliegen, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet (s. Anh. B). Die Konzentrationen, die höher sind als das Chronische Qualitätskriterium CQK, sind rot gedruckt.

[µg/l]	Acesulfam	Amisulprid	Benzotriazol*	Candesartan	Carbamazepin*	Citalopram	Clarithromycin*	Diclofenac*	Hydrochlorthiazid	Irbesartan*	Methylbenzotriazol*	Metoprolol*	Sulfamethoxazol*	Venlafaxin
2015														
Greifensee	x		0.499		0.036		0.014	0.049	< 0			0.009	0.026	
2016														
Greifensee	x	0.013	0.320	0.027	0.014	0.009	0.009	0.076	0.021	0.010	0.227	0.018	0.010	0.017
Zürichsee	x	0.002	0.118	0.009	0.008	-	0.016	0.030	0.009	0.006	0.061	0.012	0.003	0.014

*Für diese Verbindungen liegen Qualitätskriterien vor. Rot: Das Chronische Qualitätskriterium CQK ist überschritten.

Tab. 3.5: Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in Greifen- und Zürichsee



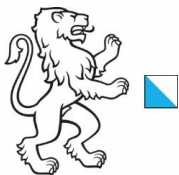
	Töss bei Rämismühle	Töss bei Freienstein	Kempt vor Töss	Eulach vor Töss	Glatt Abfluss Greifensee	Glatt bei Oberglatt	Glatt vor Rhein	Limmat Hönggersteg	Limmat bei Dietikon	Sihl beim Sihlhölzli	Reppisch bei Dietikon	Furtbach bei Würenlos	Aa bei Niederuster	Aabach bei Mönchaltorf	Jonen nach ARA Zwillikon	Jona nach Rüti	Mittelwert
[%]																	
Lidocain	0 0	100 100	100 100	50 0	75 50	100 100	100 100	0 0	75 75	50 25	75 100	100 100	75 100	75 100	75 50	75 100	70
Metformin	50 25	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	96
Methylbenz.triazol	25 0	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	95
Metoprolol	0 0	100 100	100 100	100 100	75 75	100 100	100 100	25 0	50 50	25 0	100 100	100 100	100 100	100 100	100 75	100 100	77
Naproxen	0 0	0 0	0 0	25 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 50	50 75	0 0	0 0	25 25	0 0	9
Paracetamol	0 0	75 25	50 25	100 50	0 0	25 25	75 0	0 0	25 0	75 50	50 50	50 25	75 25	75 50	50 50	50 25	37
Phenazon	0 0	25 0	50 25	50 0	50 25	75 50	75 25	0 0	25 0	25 0	50 0	100 50	50 25	50 0	50 50	25 0	30
Primidon	0 0	50 0	50 0	0 0	0 0	0 0	25 0	0 0	0 0	0 0	25 0	75 25	50 0	0 0	25 25	75 25	14
Saccharin	50 0	100 50	100 50	100 50	100 100	100 100	100 100	75 50	75 100	75 50	100 75	100 100	100 100	100 25	100 75	50 25	77
Sitagliptin	0 0	75 100	100 100	75 100	50 100	100 100	100 100	0 0	50 100	50 100	100 100	100 100	100 100	100 100	75 100	100 100	80
Sotalol	0 0	100 100	100 100	50 25	25 25	100 75	100 75	0 0	50 25	50 25	100 100	100 100	100 100	100 100	75 25	100 100	66
Sucralose	25 25	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 25	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	93
Sulfamethoxazol	0 0	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	50 25	100 100	75 50	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	88
Sulfapyridin	0 0	100 75	100 100	75 75	0 0	100 50	100 100	0 0	25 0	25 25	100 100	100 100	75 75	100 75	100 75	75 75	63
Tramadol	0 0	100 100	100 100	100 50	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	75 50	100 100	100 100	100 100	100 100	100 75	100 100	89
Triclosan	0 0	25 0	25 0	25 0	25 0	50 0	25 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	25 0	25 0	0 0	7
Trimethoprim	0 0	75 50	75 100	25 0	0 0	75 25	75 50	25 0	50 25	50 0	75 100	100 75	75 50	50 25	100 75	25 25	46
Venlafaxin	0 0	100 100	100 100	75 100	100 100	100 100	100 100	0 0	100 100	75 75	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	85
Mittelwert	12	78	79	61	56	78	81	27	58	49	78	85	78	76	76	72	

Prozentualer Anteil der Wochenmischproben, in denen eine bestimmte Mikroverunreinigung ARA in einer Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze nachgewiesen wurde. Der obere Wert bezieht sich auf die Kampagne 2015, der untere auf die Kampagne 2016.

Tab. 3.6: Häufigkeit der Nachweise in den Quartalswochenmischproben

3.2.2 Maximale Konzentrationen

Die folgende Tabelle zeigt für beide Messkampagnen (s. Tab. 2.2) und alle Mikroverunreinigung ARA (s. Kap. 2.2.2) die maximale Konzentration, in der die entsprechende Verbindung an einer bestimmten Messstelle gemessen wurde (Tab. 3.7). In der letzten Spalte ist der maximale Wert angegeben, der über beide Kampagnen und über alle Messstellen hinweg gemessen wurde; in der Tabelle ist der Messwert, der diesem Maximalwert entspricht, fett und kursiv gedruckt. Die Konzentrationen, die höher sind als das Chronische Qualitätskriterium CQK, sind rot gedruckt.

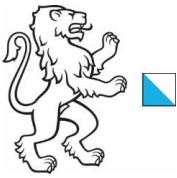


[µg/l]	Töss bei Rämismühle	Töss bei Freienstein	Kempt vor Töss	Eulach vor Töss	Glatt Abfluss Greifensee	Glatt bei Oberglatt	Glatt vor Rhein	Limmat Hönggersteg	Limmat bei Dietikon	Sihl beim Sihlhölzli	Reppisch bei Dietikon	Furtbach bei Würenlos	Aa bei Niederuster	Aabach bei Mönchaltorf	Jonen nach ARA Zwillikon	Jona nach Rüti	Max
Acesulfam	0.19 0.04	1.98 0.41	2.73 1.27	1.54 0.53	1.51 1.10	2.27 1.17	2.49 1.28	0.38 0.30	0.62 0.40	0.65 0.59	2.88 1.21	4.89 2.92	2.45 0.83	1.68 0.90	2.74 0.95	2.71 0.66	4.89
Amisulprid	0.00 0.00	0.08 0.04	0.10 0.05	0.03 0.01	0.01 0.02	0.03 0.02	0.03 0.02	0.00 0.00	0.02 0.01	0.01 0.00	0.09 0.04	0.08 0.06	0.02 0.02	1.39 0.75	0.05 0.04	0.13 0.09	1.39
Atenolol*	0.00 0.00	0.04 0.00	0.09 0.02	0.04 0.00	0.00 0.00	0.04 0.00	0.05 0.02	0.00 0.00	0.04 0.00	0.04 0.00	0.06 0.02	0.05 0.05	0.00 0.00	0.06 0.00	0.13 0.03	0.07 0.00	0.18
Benzotriazol*	0.05 0.06	1.30 0.80	1.96 1.02	0.72 0.20	0.47 0.49	1.78 1.45	1.59 1.19	0.10 0.10	0.37 0.26	0.19 0.14	2.04 1.28	3.28 1.82	1.39 0.85	3.19 1.47	3.55 1.61	1.50 1.15	3.55
Candesartan	0.00 0.00	0.22 0.07	0.39 0.14	0.14 0.03	0.06 0.05	0.18 0.08	0.21 0.07	0.02 0.00	0.04 0.00	0.07 0.02	0.32 0.14	0.40 0.23	0.19 0.07	0.60 0.22	0.33 0.14	0.36 0.15	0.60
Carbamazepin*	0.00 0.00	0.14 0.07	0.15 0.06	0.07 0.03	0.04 0.03	0.08 0.05	0.09 0.06	0.01 0.00	0.02 0.01	0.02 0.02	0.21 0.11	0.22 0.15	0.13 0.05	0.33 0.15	0.26 0.14	0.20 0.12	0.33
Citalopram	0.00 0.00	0.03 0.02	0.04 0.03	0.01 0.00	0.01 0.00	0.02 0.01	0.03 0.01	0.00 0.00	0.01 0.00	0.01 0.00	0.02 0.01	0.07 0.04	0.03 0.02	0.09 0.05	0.08 0.04	0.04 0.02	0.09
Clarithromycin*	0.00 0.00	0.06 0.02	0.10 0.04	0.01 0.01	0.03 0.02	0.04 0.03	0.04 0.03	0.00 0.00	0.01 0.02	0.01 0.02	0.07 0.05	0.14 0.08	0.07 0.05	0.18 0.04	0.14 0.06	0.08 0.03	0.18
Cyclamat	0.02 0.00	0.17 0.05	0.06 0.07	1.79 0.25	0.06 0.10	0.15 0.23	0.15 0.18	0.03 0.05	0.05 0.04	0.04 0.06	0.29 0.14	0.15 0.11	0.15 0.33	0.15 0.05	0.17 0.08	0.08 0.05	1.79
DEET*	0.02 0.24	0.04 0.04	0.04 0.04	0.21 0.06	0.04 0.04	0.11 0.08	0.06 0.07	0.02 0.07	0.02 0.02	0.03 0.99	0.12 0.27	0.08 0.08	0.05 0.05	0.07 0.54	0.20 0.05	0.05 0.05	0.99
Diclofenac*	0.10 0.05	0.40 0.36	0.76 0.34	0.19 0.15	0.09 0.07	0.30 0.18	0.30 0.15	0.09 0.02	0.14 0.07	0.43 0.12	0.55 0.40	1.19 0.67	0.39 0.28	1.09 0.55	0.97 0.55	0.47 0.24	1.19
Erythromycin*	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.02	0.00 0.00	0.00 0.00	0.02
Gabapentin	0.02 0.00	0.48 0.18	0.65 0.17	0.18 0.09	0.13 0.11	0.44 0.22	0.49 0.23	0.05 0.02	0.12 0.06	0.11 0.04	0.53 0.24	1.07 0.55	0.42 0.24	0.97 0.33	1.43 0.37	0.47 0.23	1.43
Hydrochlorthiazid	0.00 0.00	0.30 0.14	0.52 0.28	0.09 0.04	0.00 0.00	0.16 0.12	0.18 0.10	0.00 0.00	0.04 0.02	0.05 0.03	0.39 0.27	0.61 0.49	0.21 0.14	0.70 0.37	0.50 0.33	0.39 0.27	0.70
Iopromid	0.00 0.00	0.25 0.20	0.49 0.00	0.20 0.00	0.15 0.32	0.40 0.31	0.31 0.35	0.00 0.00	0.67 0.90	0.00 0.00	0.43 0.41	1.28 0.43	0.37 0.29	0.27 0.12	0.33 0.65	0.11 0.00	2.30
Irbesartan*	0.00 0.00	0.08 0.04	0.15 0.06	0.00 0.00	0.00 0.00	0.10 0.06	0.11 0.06	0.00 0.00	0.04 0.03	0.04 0.03	0.27 0.18	0.31 0.20	0.14 0.07	0.23 0.10	0.48 0.29	0.19 0.10	0.48
Lamotrigin	0.00 0.02	0.48 0.25	0.53 0.29	0.14 0.08	0.12 0.11	0.30 0.21	0.32 0.21	0.00 0.00	0.07 0.04	0.06 0.05	0.42 0.20	0.63 0.41	0.42 0.19	0.74 0.39	0.44 0.22	0.54 0.33	0.74
Lidocain	0.00 0.00	0.12 0.09	0.07 0.04	0.02 0.00	0.01 0.01	0.04 0.03	0.04 0.03	0.00 0.00	0.02 0.01	0.01 0.01	0.08 0.05	0.12 0.10	0.06 0.03	0.11 0.06	0.12 0.06	0.07 0.04	0.12
Metformin*	0.05 0.02	0.62 0.35	1.17 0.95	4.19 0.40	0.49 0.50	1.27 0.83	0.91 0.65	0.17 0.13	0.30 0.23	0.24 0.18	0.86 0.47	1.90 0.97	0.66 0.43	0.95 0.46	3.41 1.08	0.75 0.45	4.19
Met.benzotriazol*	0.02 0.00	0.41 0.28	1.64 0.74	0.28 0.25	0.16 0.16	0.52 0.49	0.52 0.44	0.04 0.04	0.10 0.12	0.13 0.22	0.86 0.72	2.88 0.73	0.72 0.24	1.11 0.49	1.04 0.59	0.34 0.55	2.88
Metoprolol*	0.00 0.00	0.09 0.05	0.13 0.07	0.05 0.02	0.02 0.01	0.06 0.03	0.06 0.03	0.01 0.00	0.02 0.01	0.02 0.00	0.06 0.03	0.22 0.14	0.07 0.04	0.22 0.09	0.14 0.06	0.09 0.05	0.22
Naproxen*	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.09 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.04 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.06	0.09 0.07	0.00 0.06	0.00 0.00	0.12 0.08	0.00 0.00	0.12
Paracetamol	0.00 0.00	0.08 0.04	0.07 0.05	0.23 0.27	0.00 0.00	0.07 0.02	0.11 0.00	0.00 0.00	0.02 0.00	0.03 0.02	0.06 0.06	0.11 0.05	0.17 0.03	0.14 0.02	0.08 0.04	0.04 0.02	0.27
Phenazon	0.00 0.00	0.01 0.00	0.03 0.01	0.01 0.00	0.01 0.01	0.02 0.01	0.02 0.01	0.00 0.00	0.01 0.00	0.01 0.00	0.02 0.00	0.03 0.01	0.02 0.01	0.02 0.00	0.04 0.01	0.01 0.00	0.04
Primidon	0.00 0.00	0.06 0.00	0.09 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.05 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.04 0.00	0.12 0.05	0.08 0.00	0.00 0.00	0.08 0.04	0.07 0.05	0.12
Saccharin	0.04 0.00	0.10 0.05	0.10 0.03	0.47 0.06	0.04 0.05	0.15 0.11	0.12 0.08	0.08 0.03	0.04 0.03	0.05 0.03	0.15 0.11	0.14 0.08	0.14 0.07	0.07 0.04	0.12 0.11	0.10 0.02	0.47
Sitagliptin	0.00 0.00	0.21 0.14	0.30 0.20	0.09 0.07	0.04 0.05	0.24 0.16	0.25 0.17	0.00 0.00	0.04 0.04	0.05 0.04	0.20 0.17	0.70 0.56	0.28 0.17	0.55 0.28	0.28 0.16	0.30 0.19	0.70
Sotalol	0.00 0.00	0.06 0.02	0.07 0.03	0.02 0.01	0.02 0.01	0.04 0.01	0.04 0.01	0.00 0.00	0.02 0.01	0.02 0.01	0.02 0.03	0.08 0.05	0.07 0.02	0.10 0.03	0.04 0.01	0.09 0.03	0.10
Sucralose	0.06 0.05	2.33 1.30	3.57 2.20	0.71 0.44	0.77 0.66	2.36 2.12	2.66 1.98	0.11 0.11	0.49 0.33	0.46 0.37	3.31 2.76	5.07 6.03	2.57 1.21	3.65 2.87	3.24 2.79	3.15 2.62	6.03
Sulfamethoxazol*	0.00 0.00	0.20 0.14	0.21 0.13	0.07 0.08	0.03 0.03	0.10 0.07	0.13 0.08	0.01 0.01	0.03 0.02	0.03 0.02	0.17 0.15	0.23 0.11	0.18 0.06	0.17 0.20	0.23 0.15	0.12 0.10	0.23
Sulfapyridin	0.00 0.00	0.06 0.03	0.08 0.06	0.03 0.01	0.00 0.00	0.03 0.02	0.04 0.02	0.00 0.00	0.01 0.00	0.01 0.01	0.12 0.07	0.08 0.08	0.04 0.02	0.22 0.07	0.16 0.07	0.05 0.04	0.22
Tramadol	0.00 0.00	0.12 0.07	0.13 0.06	0.04 0.01	0.02 0.02	0.08 0.05	0.08 0.05	0.08 0.05	0.08 0.05	0.02 0.01	0.10 0.05	0.22 0.17	0.10 0.04	0.21 0.08	0.13 0.06	0.19 0.12	0.22
Triclosan	0.00 0.00	0.05 0.00	0.07 0.00	0.05 0.00	0.05 0.00	0.04 0.00	0.03 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.04 0.00	0.02 0.00	0.00 0.00	0.07
Trimethoprim*	0.00 0.00	0.02 0.01	0.02 0.01	0.01 0.00	0.00 0.00	0.01 0.01	0.02 0.01	0.01 0.00	0.01 0.01	0.02 0.00	0.01 0.01	0.02 0.01	0.02 0.01	0.02 0.01	0.06 0.02	0.02 0.01	0.06
Venlafaxin	0.00 0.00	0.11 0.06	0.15 0.08	0.03 0.02	0.03 0.03	0.07 0.05	0.08 0.05	0.00 0.00	0.02 0.01	0.02 0.01	0.09 0.06	0.22 0.15	0.09 0.05	0.38 0.18	0.16 0.08	0.13 0.09	0.38

Der obere Wert bezieht sich auf die Kampagne 2015, der untere auf die Kampagne 2016.

* Für diese Verbindung liegen Qualitätskriterien vor. Rot: Das Chronische Qualitätskriterium CQK ist überschritten.

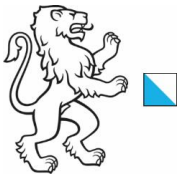
Tab. 3.7: Maximale Konzentrationen in den Quartalswochenmischproben



3.2.3 Frachten pro Einwohner

Die untenstehende Tabelle (Tab. 3.8) zeigt die durchschnittlichen Frachten der Mikroverunreinigungen ARA in Milligramm pro Einwohner (s. Kap.). Die obere Zahl bezieht sich auf die Messkampagne 2015, die untere auf die Kampagne 2016. Für die Berechnung der Frachten wurden nur diejenigen Konzentrationen berücksichtigt, die oberhalb der Bestimmungsgrenze der entsprechenden Verbindung lagen. Ist ein Feld leer, dann lagen alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Acyclovir, Erythromycin und Triclosan wurden in beiden Messkampagnen nie in einer Konzentration oberhalb der Bestimmungsgrenze gefunden. Die roten Werte bezeichnen die Ausreisser nach oben, die grünen diejenigen nach unten (s. Kap. 2.3.4); für die Berechnung des Mittelwerts wurden die Ausreisser nicht berücksichtigt. Auch nicht berücksichtigt wurden die Werte der Messstelle «Jona nach Rüti». Die Proben dieser Stelle enthalten zu hohe Mengen an Mikroverunreinigungen ARA, da am Ort der Probenahme das gereinigte Abwasser, das die ARA Rüti einleitet, nur ungenügend mit dem Wasser der Jona vermischt ist.

[mg/(E·d)]	Töss bei Rämismühle	Töss bei Freienstein	Kempt vor Töss	Eulach vor Töss	Glatttal	Werdhölzli	Sihl beim Sihlhölzli	Reppisch bei Dietikon	Furtbach bei Würenlos	Aa bei Niederuster	Aabach bei Mönchaltorf	Jonen nach ARA Zwillikon	Jona nach Rüti	Mittelwert
Amisulprid		0.068 0.057	0.057 0.057		0.038			0.063 0.030	0.040 0.042		0.558 0.607	0.031 0.030	0.211 0.217	0.047
Atenolol			0.050					0.040	0.091 0.076		0.019	0.049	0.126	0.054
Benzotriazol	0.709	1.422 1.593	1.541 2.040	1.172 0.918	1.514 1.927	1.866 1.015	1.120 0.791	1.767 1.709	1.687 1.639	1.495 1.594	1.622 1.457	1.308 1.003	3.062 2.507	1.431
Candesartan		0.205 0.094	0.215 0.164	0.154	0.203 0.084		0.283	0.229 0.151	0.171 0.141	0.129 0.137	0.237 0.205	0.129 0.103	0.578 0.331	0.169
Carbamazepin		0.127 0.088	0.086 0.069	0.095 0.077	0.087 0.100	0.160	0.109	0.137 0.109	0.107 0.088	0.098 0.091	0.127 0.113	0.090 0.065	0.344 0.226	0.098
Citalopram		0.023	0.022 0.031		0.027			0.017	0.036 0.031	0.019	0.027 0.046	0.027 0.027	0.072 0.063	0.026
Clarithromycin		0.050 0.070	0.055 0.075		0.092			0.050 0.078	0.079 0.083	0.039 0.078	0.057 0.077	0.067 0.065	0.148 0.118	0.068
Cyclamat		0.231	0.133 0.322	2.013 1.856	0.147 0.255		0.463	0.303 0.385	0.163 0.244	0.305 0.316	0.264	0.150 0.062	0.199 0.563	0.250
DEET	1.512 2.498			0.492 0.147	0.083 0.033		3.662	0.129 0.229	0.094 0.127	0.069 0.130	0.069 0.767	0.088	0.197	0.187
Diclofenac		0.729 0.599	1.340 0.468	0.597 0.515	0.256 0.325	0.827 0.851	2.288	0.768 0.524	0.483 0.497	0.583 0.342	0.367 0.533	0.314 0.291	1.106 0.728	0.525
Gabapentin		0.401 0.311	0.375 0.262	0.257 0.309	0.407 0.383	1.515 0.724	0.440	0.377 0.364	0.422 0.355	0.362 0.371	0.435 0.360	0.394 0.220	0.659 0.518	0.379
Hydrochlorthiazid		0.245 0.249	0.296 0.329	0.125	0.144 0.153			0.258 0.312	0.261 0.331	0.152 0.208	0.240 0.303	0.183 0.194	0.596 0.626	0.234
Iopromid		0.210 0.545	0.280	0.478	0.219 0.395	2.863 2.310		0.546 0.874	0.360 0.933	0.212 0.710	0.088	1.238 1.108		0.546
Irbesartan		0.067	0.073 0.074		0.161 0.107			0.245 0.212	0.171 0.158	0.077 0.111	0.080 0.109	0.175 0.158	0.339 0.247	0.132
Lamotrigin		0.400 0.364	0.293 0.322	0.185	0.309 0.351	0.513	0.236	0.259 0.216	0.280 0.276	0.292 0.305	0.263 0.326	0.166 0.161	0.834 0.691	0.274
Lidocain		0.260 0.140	0.046 0.054		0.044			0.058 0.048	0.064 0.056	0.033 0.044	0.051 0.056	0.049 0.046	0.134 0.121	0.050
Metformin		0.881 0.664	1.882 1.003	3.438 1.406	0.860 0.710	2.093 0.750	1.496 1.079	0.764 0.988	1.158 0.886	0.920 0.814	0.681 0.563	1.563 0.858	1.474 1.172	1.049
Methylbenzotriazol		0.467 0.505	0.737 0.989	0.644	0.561 0.700	0.590 1.399	0.734 0.796	0.674 1.077	0.904 0.759	0.528 0.454	0.473 0.479	0.567 0.353	0.811 1.297	0.650
Metoprolol		0.075 0.085	0.071 0.089		0.061 0.049			0.041 0.047	0.114 0.094	0.042 0.066	0.067 0.089	0.049 0.044	0.159 0.129	0.068
Naproxen												0.072		0.072
Paracetamol		0.197	0.270 0.248	0.944 1.945	0.387			0.250 0.341	0.227	0.270	0.433	0.177		0.280



[mg/(E-d)]	Töss bei Rämismühle	Töss bei Freienstein	Kempt vor Töss	Eulach vor Töss	Glattal†	Werdhölzli‡	Sihl beim Sihlhölzli	Reppisch bei Dietikon	Furtbach bei Würenlos	Aa bei Niederuster	Aabach bei Mönchaltorf	Jonen nach ARA Zwillikon	Jona nach Rüti	Mittelwert
Phenazon			0.014					0.014	0.013			0.015		0.014
Primidon									0.058					0.058
Saccharin	0.142	0.320	0.857 0.440	0.111 0.094			0.301	0.331 0.321	0.133 0.110	0.249 0.194	0.206	0.159 0.186	0.565	0.220
Sitagliptin	0.187 0.191	0.157 0.237		0.186 0.226				0.137 0.170	0.323 0.389	0.240 0.285	0.184 0.293	0.098 0.121	0.499 0.487	0.202
Sotalol	0.048	0.037 0.031	0.012	0.055	0.159	0.095		0.045 0.033	0.038 0.031	0.056 0.045	0.034 0.043	0.016	0.165 0.092	0.037
Sucralose	2.046 2.127	1.951 2.319	1.043 1.285	2.382 2.654	4.410 3.130		1.982 1.895	1.891 2.511	2.545 3.395	1.886 2.241	1.789 2.296	1.131 1.117	4.800 4.656	2.011
Sulfamethoxazol	0.197 0.179	0.105 0.108	0.038 0.176	0.151 0.127			0.122	0.117 0.160	0.088 0.088	0.097 0.109	0.074 0.133	0.102 0.077	0.248 0.216	0.118
Sulfapyridin	0.046 0.046	0.049 0.071		0.038				0.070 0.075	0.040 0.044	0.048	0.066 0.060	0.060 0.051	0.101 0.106	0.055
Tramadol	0.107 0.082	0.081 0.067	0.051	0.082 0.088	0.257		0.108	0.064 0.062	0.102 0.108	0.071 0.071	0.081 0.081	0.053 0.038	0.280 0.231	0.078
Trimethoprim		0.013							0.020			0.035 0.018		0.023
Venlafaxin	0.106 0.080	0.093 0.087	0.046	0.073 0.084	0.154			0.070 0.066	0.098 0.091	0.074 0.073	0.153 0.148	0.066 0.048	0.234 0.190	0.077

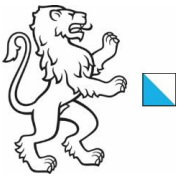
Der obere Wert bezieht sich auf die Kampagne 2015, der untere auf die Kampagne 2016. Die roten Zahlen bezeichnen die Ausreisser nach oben, die grünen diejenigen nach unten. Die Ausreisser wurden für die Berechnung der Mittelwerte nicht berücksichtigt. Auch nicht berücksichtigt wurden die Werte der Messstelle «Jona nach Rüti». †Eintrag der ARA zwischen Greifensee und Messstelle «Glatt vor Rhein». ‡Eintrag der ARA Werdhölzli in die Limmat

Tab. 3.8: Frachten in Milligramm pro Einwohner

3.2.4 Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee

Die untenstehende Tabelle (Tab. 3.8) zeigt die berechneten Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA im Wasser des Greifen- und des Zürichsees (s. Kap. 2.3.1). Neben den berechneten Werte sind die Durchschnitte der Konzentrationen angegeben, die in den Proben der Hauptmessstelle «Glatt Abfluss Greifensee» bzw. «Limmat Höggersteg» gemessen wurden. Für die Angaben der Konzentrationen, die in den Seeabflüssen gemessen wurden, berücksichtigte man auch die Konzentrationen zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze. Folgende Verbindungen wurden sowohl in der Glatt als auch in der Limmat nie in einer Konzentration oberhalb ihrer Nachweisgrenze gefunden: Aclovir, Atenolol, Erythromycin, Naproxen, Paracetamol, Primidion und Sulfapyridin. Die Verbindungen, für die Qualitätskriterien vorliegen, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet (s. Anh. B). Die Konzentrationen, die höher sind als das Chronische Qualitätskriterium CQK, sind rot gedruckt.

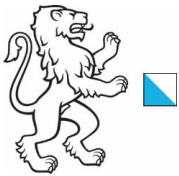
	Greifensee		Zürichsee	
	C _{See} (ber.)	C _{See} (gem.)	C _{See} (ber.)	C _{See} (gem.)
Amisulprid		0.012 0.015		
Benzotriazol*	0.477 0.347	0.415 0.412	0.118 0.171	0.084 0.076
Candesartan	0.005 0.060	0.046 0.036		0.021



[µg/l]	Greifensee		Zürichsee	
	C _{See} (ber.)	C _{See} (gem.)	C _{See} (ber.)	C _{See} (gem.)
Carbamazepin*	0.025 0.013	0.033 0.029		0.007
Citalopram		0.008		
Clarithromycin*		0.020 0.017		
Cyclamat	0.124 0.048	0.045 0.075		0.027
DEET*	0.075	0.033 0.033		0.020 0.045
Diclofenac*	0.047 0.019	0.085 0.036	0.036	0.043
Gabapentin	0.087 0.087	0.099 0.086	<0	0.032
Hydrochlorthiazid	0.030 0.041			
Iopromid	0.312 0.277	0.122 0.244	0.230 0.642	
Irbesartan	<0			
Lamotrigin	0.049 0.048	0.101 0.101		
Lidocain		0.010 0.010		
Metformin*	0.362 0.341	0.416 0.389	0.079 0.141	0.145 0.120
Met.benzotriazol*	0.116 0.083	0.136 0.135	0.038 0.003	0.032 0.032
Metoprolol*	0.015	0.011 0.011		0.010
Phenazon		0.010 0.009		
Saccharin	0.116 0.069	0.038 0.040		0.048 0.026
Sitagliptin	0.095 0.090	0.037 0.046		
Sotalol	<0	0.016 0.007		
Sucralose	0.348 0.621	0.580 0.629	<0 0.078	0.093 0.106
Sulfamethoxazol*	<0 0.009	0.029 0.028		0.007 0.008
Tramadol	0.012 0.005	0.018 0.014	0.033 0.053	0.040 0.030
Triclosan		0.048		
Trimethoprim				0.011
Venlafaxin	0.020 0.013	0.024 0.019		

Der obere Wert bezieht sich auf die Kampagne 2015, der untere auf die Kampagne 2016. * Für diese Verbindung liegen Qualitätskriterien vor. Rot: Das Chronische Qualitätskriterium CQK ist überschritten.

Tab. 3.9: Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in Greifen- und Zürichsee



4 Diskussion

4.1 Vergleich der Messstellen

4.1.1 Häufigkeit der Nachweise

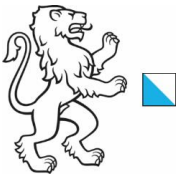
Die untenstehende Tabelle führt für jede Hauptmessstelle den mittleren Abfluss pro Einwohner (*s. Tab. 1.1 und Abb. 1.2*) sowie die mittlere Häufigkeit der Nachweise der Mikroverunreinigungen ARA in den Quartalswochenmischproben QWMP (*s. Tab. 3.6*) und in den Wochenmischproben WMP (*s. Tab. 3.1*) auf (*Tab. 4.1*). Die Messstellen sind nach abnehmendem mittleren Abfluss pro Einwohner geordnet.

C Nr	Hauptmessstelle	Mittl. Abfluss pro Einwohner [l/(s·E)]	mittlere Häufigkeit Nachweise [%]	
			QWMP	WMP
901	Töss bei Rämismühle	0.45	12	
908	Limmat Hönggersteg	0.21	27	
911	Sihl beim Sihlhölzli	0.13	49	
904	Eulach vor Töss	0.11	61	66
909	Limmat bei Dietikon	0.11	58	59
917	Jona nach Rüti	0.08	72	
902	Töss bei Freienstein	0.05	78	88
912	Reppisch bei Dietikon	0.05	78	
903	Kempt vor Töss	0.04	79	88
905	Glatt Abfluss Greifensee	0.04	56	
915	Aabach bei Mönchaltorf	0.04	76	
906	Glatt bei Oberglatt	0.03	78	
914	Aa bei Niederuster	0.03	78	
916	Jonen nach ARA Zwillikon	0.03	76	89
907	Glatt vor Rhein	0.02	81	93.5
913	Furtbach bei Würenlos	0.02	85	100

Tab. 4.1: Belastung der Hauptmessstellen mit Mikroverunreinigungen ARA

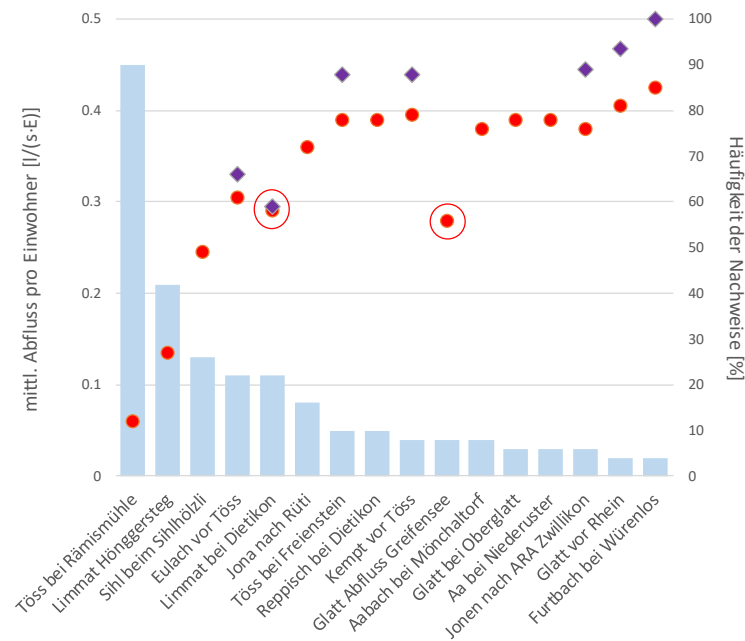
Es zeigt sich, dass mit abnehmendem mittleren Abfluss pro Einwohner die Häufigkeit, mit der Mikroverunreinigungen ARA in den Proben in Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze (QWMP) oder der Bestimmungsgrenze (WMP) gefunden werden, steigt. Dies steht im Einklang mit der Annahme, dass jeder Einwohner im Kanton Zürich ungefähr die gleichen Mengen an Mikroverunreinigungen ARA ins Abwasser und somit in die Gewässer abgibt. Das heisst: je weniger Wasser ein Fließgewässer zur Verfügung stellen kann, um das Abwasser der Einwohner in seinem Einzugsgebiet aufzunehmen, desto grösser ist die Belastung des Gewässers mit Mikroverunreinigungen ARA, und zwar unabhängig vom Einzugsgebiet. Die Abbildung auf der nächsten Seite stellt die Daten der obenstehenden Tabelle grafisch dar (*Abb. 4.1*).

Die Grafik zeigt auch, dass die Werte, die aus den Wochenmischproben stammen, etwas höher sind als die Werte aus den Quartalswochenmischproben. Grund dafür ist, dass die Quartalswochenmischproben auf wesentlich mehr Verbindungen un-



tersucht wurden als die Wochenmischproben. Da einige der Verbindungen, die nur in den Quartalswochenmischproben untersucht wurden, selten auftraten, sinkt die prozentuale Häufigkeit, mit der Verbindungen nachgewiesen wurden.

Zudem ist der Einfluss des Zürich- und des Greifensees ersichtlich. In beiden Seen werden die Mikroverunreinigungen ARA zum Teil entfernt, was zu einer Verminderung der Belastung führt.



Hellblaue Balken: mittlerer Abfluss pro Einwohner; rote Punkte: Quartalswochenmischproben; violette Rauten: Wochenmischproben; Markierungen in den roten Kreisen: Werte der Hauptmessstellen «Limmat bei Dietikon» und «Glatt vor Rhein»

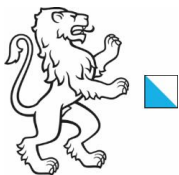
Abb. 4.1: Belastung der Hauptmessstellen mit Mikroverunreinigungen ARA

4.1.2 Maximale Konzentrationen in den Wochenmischproben

Bei den Konzentrationen, die im Jahr 2015 an der Hauptmessstelle Jonen nach ARA Zwillikon erhoben wurden, handelte es sich allesamt um Maximalwerte (s. Tab. 3.2). Diese Beobachtung kann mit der Tatsache erklärt werden, dass im Jahr 2015 lange Phasen mit ausgesprochen trockener Witterung auftraten. Bei den Werten der Wochenmischproben des Jahres 2016 wurden bei den folgenden Hauptmessstellen maximale Konzentrationen gemessen (Tab. 4.2):

C Nr	Hauptmessstelle	Mittl. Abfluss pro Einwohner [m³/s]	Anzahl Höchstwerte
903	Kempt vor Töss	0.04	8
902	Töss bei Freienstein	0.05	4
907	Glatt vor Rhein	0.02	2
904	Eulach vor Töss	0.11	0
909	Limmat Dietikon	0.11	0

Tab. 4.2: Wochenmischproben 2016: Anzahl maximale Konzentrationen an den einzelnen Messstellen



Dieses Resultat bestätigt, dass ein tiefer mittlerer Abfluss pro Einwohner zu hohen Konzentrationen an Mikroverunreinigungen ARA führt. Einzig die Hauptmessstelle Glatt vor Rhein tanzt aus der Reihe. Grund dafür könnte wiederum das saubere Wasser des Greifensees sein, das bei der Messstelle ungefähr die Hälfte des Abflusses der Glatt ausmacht.

4.1.3 Maximale Konzentrationen in den Quartalswochenmischproben

Die folgende Tabelle (Tab. 4.3) zeigt für jede der Hauptmessstellen die Anzahl Verbindungen, von denen an der betreffenden Stelle die höchste Konzentration gemessen wurde (s. Tab. 3.7). Zudem ist aufgeführt, in welchem der beiden Untersuchungsjahre der Wert auftrat. So wurde z. B. bei der Hauptmessstelle Sihl beim Sihlhölzli von nur einer Verbindung die höchste Konzentration gemessen; es handelte sich dabei um die Konzentration von DEET, die in einer der Quartalswochenmischproben des Jahres 2016 gefunden wurden.

C Nr	Hauptmessstelle	Mittl. Abfluss pro Einwohner [l/(s·E)]	Anz. max. Konz.		
			2015	2016	Total
901	Töss bei Rämismühle	0.45	0	0	0
908	Limmat Hönggersteg	0.21	0	0	0
911	Sihl beim Sihlhölzli	0.13	0	1	1
904	Eulach vor Töss	0.11	3	1	4
909	Limmat bei Dietikon	0.11	0	0	0
917	Jona nach Rüti	0.08	0	0	0
902	Töss bei Freienstein	0.05	0	0	0
912	Reppisch bei Dietikon	0.05	0	0	0
903	Kempt vor Töss	0.04	1	0	1
905	Glatt Abfluss Greifensee	0.04	0	0	0
915	Aabach bei Mönchaltorf	0.04	11	1	12
906	Glatt bei Oberglatt	0.03	0	0	0
914	Aa bei Niederuster	0.03	0	0	0
916	Jonen nach ARA Zwillikon	0.03	7	0	7
907	Glatt vor Rhein	0.02	0	0	0
913	Furtbach bei Würenlos	0.02	9	1	10
	Summe		31	4	35

Tab. 4.3: Anzahl Verbindungen, die an einer bestimmten Hauptmessstelle in ihren höchsten Konzentrationen gemessen wurden

Die Tabelle bestätigt das Bild, das durch die Auswertung der Wochenmischproben erhalten wurde (s. Kap. 4.1.2): bei den Hauptmessstellen, die einen hohen Anteil an gereinigtem Abwasser aufweisen, sind die höchsten Konzentrationen zu finden. An der Spitze stehen die beiden Hauptmessstellen Aabach bei Mönchaltorf und Furtbach bei Würenlos mit 12 bzw. 10 Verbindungen, die an diesen Stellen in den höchsten Konzentrationen gefunden wurden (Abb. 4.2). Zudem wurden 31 Höchstwerte im Jahr 2015 gemessen und nur 4 im Jahr 2016. Grund dafür ist, dass die vierte Quartalswochenmischprobe im Jahr 2015 während einer ausgeprägten Trockenphase im November genommen wurde (s. Anh. A).

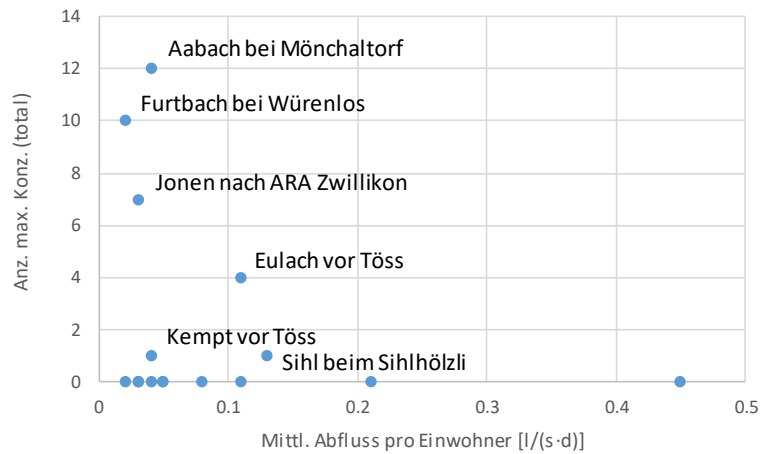


Abb. 4.2: Anzahl Verbindungen, die an einer bestimmten Hauptmessstelle in den Jahren 2015 oder 2016 in ihren höchsten Konzentrationen gemessen wurden

4.2 Vergleich der Mikroverunreinigungen ARA (Quartalswochenmischproben)

4.2.1 Nachweise oberhalb der Nachweisgrenze

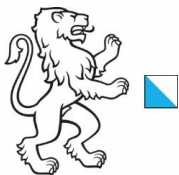
In der folgenden Tabelle (Tab. 4.4) ist für jede der Mikroverunreinigungen ARA angegeben, in welchem Anteil der Quartalswochenmischproben der beiden Jahre 2015 und 2016 (Prozentzahlen in Klammern) sie in einer Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze gefunden wurde (s. Tab. 3.6).

75-100 %	50-75 %	25-50 %	0-25 %
Benzotriazol (100)	Clarithromycin (70)	Trimethoprim (46)	Primidon (14)
Acesulfam (99)	Lidocain (70)	Atenolol (37)	Naproxen (9)
Metformin (96)	Sotalol (66)	Paracetamol (37)	Triclosan (7)
Methylbenzotriazol (95)	Citalopram (66)	Phenazon (30)	Erythromycin (1)
Sucralose (93)	Amisulprid (65)		Acyclovir (0)
Diclofenac (92)	Irbesartan (65)		
Gabapentin (91)	Sulfapyridin (63)		
Tramadol (89)	Iopromid (58)		
Sulfamethoxazol (88)			
Carbamazepin (86)			
Lamotrigin (86)			
Venlafaxin (85)			
Cyclamat (82)			
Sitagliptin (80)			
DEET (79)			
Metoprolol (77)			
Saccharin (77)			
Candesartan (76)			
Hydrochlorthiazid (76)			

Tab. 4.4: Prozentualer Anteil (%) der Quartalswochenmischproben, in denen die Mikroverunreinigungen ARA nachgewiesen wurde

4.2.2 Maximale Konzentrationen

Die folgende Tabelle (Tab. 4.5) listet für jede Verbindung die maximale Konzentration auf, die in den Jahren 2015 und 2016 gefunden wurde (s. Tab. 3.7). Zusätzlich zum Wert ist angegeben, bei welcher Messstelle und in welchem Jahr dieser höchste Wert gemessen wurde. Die Verbindungen sind nach abnehmender höchster Konzentration geordnet.



Verbindung	Max. Konz. [µg/l]	Hauptmessstelle	Jahr
Sucralose	6.03	Furtbach bei Würenlos	2016
Acesulfam	4.89	Furtbach bei Würenlos	2015
Metformin*	4.19	Eulach vor Töss	2015
Benzotriazol*	3.55	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Met.benzotriazol*	2.88	Furtbach bei Würenlos	2015
Iopromid	2.3	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Cyclamat	1.79	Eulach vor Töss	2015
Gabapentin	1.43	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Amisulprid	1.39	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Diclofenac*	1.19	Furtbach bei Würenlos	2015
DEET*	0.99	Sihl beim Sihlhölzli	2016
Lamotrigin	0.74	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Hydrochlorthiazid	0.7	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Sitagliptin	0.7	Furtbach bei Würenlos	2015
Candesartan	0.6	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Irbesartan*	0.48	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Saccharin	0.47	Eulach vor Töss	2015
Venlafaxin	0.38	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Carbamazepin*	0.33	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Paracetamol	0.27	Eulach vor Töss	2016
Sulfamethoxazol*	0.23	Furtbach bei Würenlos	2015
Metoprolol*	0.22	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Sulfapyridin	0.22	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Tramadol	0.22	Furtbach bei Würenlos	2015
Atenolol*	0.18	Furtbach bei Würenlos	2015
Clarithromycin*	0.18	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Lidocain	0.12	Furtbach bei Würenlos	2015
Naproxen*	0.12	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Primidon	0.12	Furtbach bei Würenlos	2015
Sotalol	0.1	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Citalopram	0.09	Aabach bei Mönchaltorf	2015
Triclosan	0.07	Kempt vor Töss	2015
Trimethoprim*	0.06	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Phenazon	0.04	Jonen nach ARA Zwillikon	2015
Erythromycin*	0.02	Aabach bei Mönchaltorf	2016

* Für diese Verbindung liegen Qualitätskriterien vor. Rot: Das Chronische Qualitätskriterium ist überschritten

Tab. 4.5: Höchste Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA in den Quartalswochenmischproben

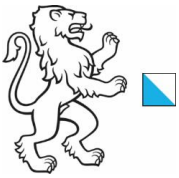
Bei den beiden Substanzen, die in den höchsten Konzentrationen gefunden wurden, handelte es sich um zwei künstliche Süsstoffe, nämlich Sucralose (6.03 µg/l) und Acesulfam (4.89 µg/l). Zu den Hauptmessstellen, in deren Proben die höchsten Konzentrationen gemessen wurden, sowie dem Jahr ihrer Messung siehe Kapitel 4.1.3.

4.3 Frachten der einzelnen Mikroverunreinigungen ARA pro Einwohner

4.3.1 Wochenmischproben vs. Quartalswochenmischproben

Die folgende Tabelle (Grün: relative Standardabweichung < 10%; braun: 11 - 20%; violett: > 20%)

Tab. 4.6) zeigt von allen Verbindungen, die sowohl mittels Wochen- (s. Tab. 3.4) als auch Quartalswochenmischproben (s. Tab. 3.8) untersucht worden waren, die



Frachten pro Einwohner. Vergleicht man die Resultate der beiden Kampagnen, so stellt man fest, dass bei acht Verbindungen die relative Standardabweichung weniger als 10% beträgt. Bei vier Verbindungen liegt sie zwischen 11% und 15%, und nur bei Methylbenzotriazol beträgt sie rund 30%. Die Resultate der beiden Kampagnen stimmen also recht gut überein.

[mg/(E·d)]	Amisulprid	Benzotriazol	Candesartan	Carbamazepin	Citalopram	Clarithromycin	Diclofenac	Hydrochlorthiazid	Irbesartan	Methylbenzotriazol	Metoprolol	Sulfamethoxazol	Venlafaxin
Wochenmischproben	0.059	1.56	0.172	0.094	0.027	0.051	0.466	0.229	0.114	1.191	0.091	0.115	0.105
Quartalswochenmischproben	0.047	1.43	0.169	0.098	0.026	0.068	0.525	0.234	0.132	0.650	0.068	0.118	0.077
Mittelwert	0.053	1.495	0.171	0.096	0.027	0.060	0.496	0.232	0.123	0.921	0.080	0.117	0.091
relative Standardabweichung	11%	4%	1%	2%	2%	14%	6%	1%	7%	29%	14%	1%	15%

Grün: relative Standardabweichung < 10%; braun: 11 - 20%; violett: > 20%

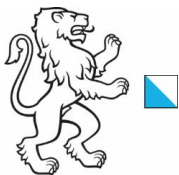
Tab. 4.6: Frachten pro Einwohner, berechnet mittels der Resultate aus Wochenmischproben einerseits und derjenigen aus Quartalswochenmischproben andererseits.

4.3.2 Quartalswochenmischproben

Die folgende Tabelle (Tab. 4.7) zeigt die Frachten pro Einwohner, wie sie aufgrund der Resultate der Quartalswochenmischproben berechnet wurden (s. Tab. 3.8). Die Verbindungen sind nach annehmender Fracht geordnet. Spitzenreiter ist der künstliche Süsstoff Sucralose, dessen Fracht pro Einwohner rund 2 mg pro Tag beträgt.

Verbindung	Fracht [mg/(E·d)]	Verbindung	Fracht [mg/(E·d)]
Sucralose	2.011	Sulfamethoxazol	0.118
Benzotriazol	1.431	Carbamazepin	0.098
Metformin	1.049	Tramadol	0.078
Methylbenzotriazol	0.65	Venlafaxin	0.077
Iopromid	0.546	Naproxen	0.072
Diclofenac	0.525	Clarithromycin	0.068
Gabapentin	0.379	Metoprolol	0.068
Paracetamol	0.28	Primidon	0.058
Lamotrigin	0.274	Sulfapyridin	0.055
Cyclamat	0.25	Atenolol	0.054
Hydrochlorthiazid	0.234	Lidocain	0.05
Saccharin	0.22	Amisulprid	0.047
Sitagliptin	0.202	Sotalol	0.037
DEET	0.187	Citalopram	0.026
Candesartan	0.169	Trimethoprim	0.023
Irbesartan	0.132	Phenazon	0.014

Tab. 4.7: Frachten pro Einwohner



4.3.3 Ausreisser

Die folgende Tabelle (Tab. 4.8) zeigt die Hauptmessstellen, die für eine bestimmte Verbindung sowohl im Jahr 2015 als auch im Jahr 2016 Ausreisser nach oben aufweisen (s. Tab. 3.8). In der zweiten Spalte sind die Verbindungen aufgeführt, die für die Ausreisser verantwortlich sind.

Hauptmessstelle	Verbindung
Töss bei Freienstein	Lidocain
Eulach vor Töss	Cyclamat, Paracetamol
Werdhölzli	Gabapentin, Iopromid, Sucralose
Aabach bei Mönchaltorf	Amisulprid, Venlafaxin

Tab. 4.8: Hauptmessstellen, die Ausreisser nach oben aufzeigen, und die dafür verantwortlichen Verbindungen

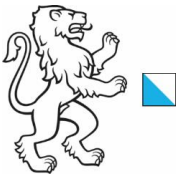
An der Hauptmessstelle «Aabach bei Mönchaltorf» wurden hohe Frachten an Amisulprid und Venlafaxin gemessen, die in der Behandlung von Schizophrenie bzw. Depressionen eingesetzt werden. Als mögliche Quelle für diese beiden Verbindungen kommt die psychiatrische Klinik Schlössli in Oetwil am See in Frage.

4.4 Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee

Die folgende Tabelle (Tab. 4.9) zeigt in der zweiten und dritten Spalte die Konzentrationen der Mikroverunreinigungen ARA, die in den Quartalswochenmischproben der beiden Hauptmessstellen «Glatt Abfluss Greifensee» und «Limmat Hänggersteg» gemessen wurden (s. Tab. 3.9). Da beide Probenahmestellen gleich unterhalb des Greifen- bzw. Zürichsees liegen, wird angenommen, dass die Konzentrationen denjenigen im Seewasser entsprechen. Es wurden nur diejenigen Verbindungen in die Liste aufgenommen, die in beiden Untersuchungs Jahren in einer Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze gefunden wurden; der angegebene Wert entspricht dem Mittelwert der beiden gemessenen Werte. Die Verbindungen sind nach abnehmender Konzentration im Greifensee geordnet.

Die vierte und fünfte Spalte geben das Verhältnis zwischen den gemessenen und berechneten Konzentrationen an (s. Tab. 3.9). Auch bei den berechneten Konzentrationen wurden nur diejenigen Verbindungen berücksichtigt, für die in beiden Untersuchungs Jahren eine Konzentration berechnet werden konnte. Für die Berechnung des Verhältnisses wurde der Mittelwert sowohl der berechneten als auch der gemessenen Konzentrationen verwendet.

Verbindung	Konzentrationen		Verhältnis gemessene zu berechnete Konzentrationen	
	Greifensee [µg/l]	Zürichsee [µg/l]	Greifensee	Zürichsee
Sucralose	0.605	0.100	1.2	
Benzotriazol	0.414	0.080	1	0.6
Metformin	0.403	0.133	1.1	1.2
Iopromid	0.183		0.6	
Methylbenzotriazol	0.136	0.032	1.4	1.6
Lamotrigin	0.101		2.1	

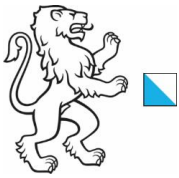


Gabapentin	0.093		1.1	
Diclofenac	0.061		1.8	
Cyclamat	0.060		0.7	
Sitagliptin	0.042		0.4	
	Konzentrationen		Verhältnis gemessene zu berechnete Konzentrationen	
Verbindung	Greifensee [µg/l]	Zürichsee [µg/l]	Greifensee	Zürichsee
Candesartan	0.041		1.3	
Saccharin	0.039	0.037	0.4	0.6
DEET	0.033	0.033		
Carbamazepin	0.031		1.6	
Sulfametoxazol	0.029	0.008		
Venlafaxin	0.022		1.3	
Clarithromycin	0.019			
Tramadol	0.016	0.035	1.9	0.8
Amidsulprid	0.014			
Sotalol	0.012			
Metoprolol	0.011			
Lidocain	0.010			
Phenazon	0.010			

Tab. 4.9: Konzentrationen in Greifen- und Zürichsee sowie Verhältnis gemessene zu berechneten Konzentrationen

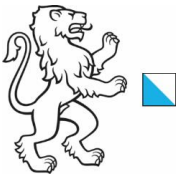
Im Greifensee trat Sucralose in der höchsten Konzentration auf, nämlich mit 0.605 µg/l. Im Zürichsee war Metformin die Verbindung, die in der höchsten Konzentration gefunden wurde (0.133 µg/l). Allgemein waren die Konzentrationen im Zürichsee gleich gross oder tiefer als im Greifensee, bis auf Tramadol, dessen Konzentration im Zürichsee mehr als doppelt so hoch war wie im Greifensee.

Das Verhältnis zwischen berechneten und gemessenen Konzentrationen betrug zwischen 0.4 und 2.1.

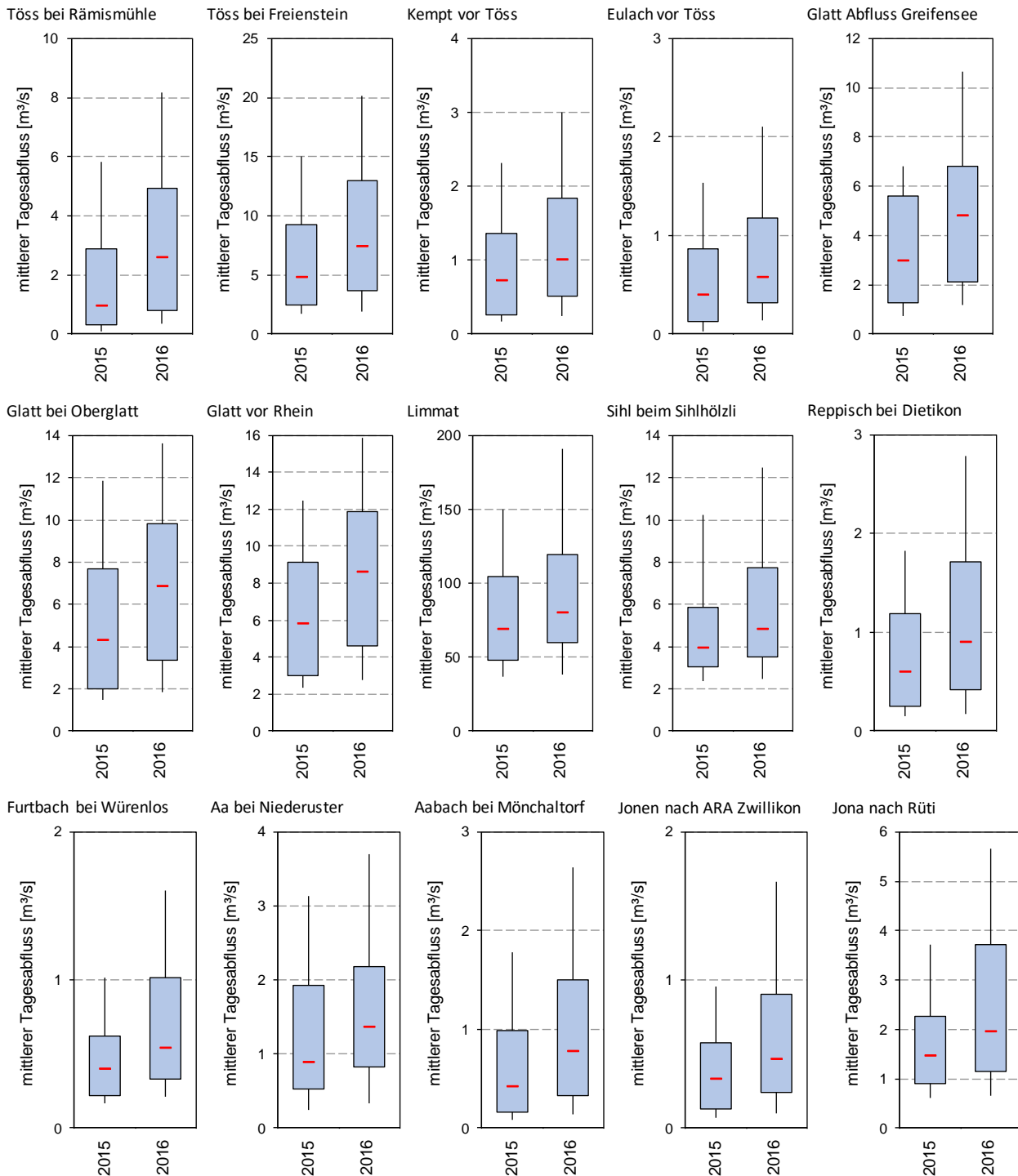


Literaturverzeichnis

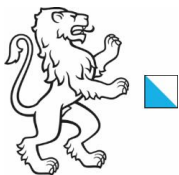
- [1] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2008): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach Würenlos und Glatt vor Rhein im Jahr 2007.*
- [2] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2009): *Pestiziduntersuchungen 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 (2011): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Töss bei Freienstein und Aabach bei Mönchaltorf im Jahr 2010 mit einem Vergleich zu den Resultaten der Untersuchungen 2007 bis 2009 bei den Hauptmessstellen an Furtbach, Glatt, Jonen und Reppisch.*
- [5] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2012): *Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach bei Würenlos und Aabach bei Mönchaltorf im Jahr 2011 mit einem Vergleich zu den Resultaten der früheren Untersuchungen an diesen Stellen.*
- [6] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (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.*
- [7] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2014): *Pestiziduntersuchungen bei der Hauptmessstelle Aabach bei Mönchaltorf in den Jahren 2010, 2011 und 2013.*
- [8] 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.*
- [9] 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.*
- [10] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL. Baudirektion Kanton Zürich (2016): *Einträge von organischen Mikroverunreinigungen über ARA in Oberflächengewässer. Untersuchungen von 2013-2015.*
- [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.



Anhang A: Mittlere Tagesabflüsse an den Hauptmessstellen



Legende: Das obere und das untere Quartil begrenzen die Box nach oben und unten. Die Box umfasst also den Bereich, in dem die Hälfte der Daten liegen. Die Länge der Box entspricht dem Interquartilsabstand und ist ein Mass der Streuung der Daten. Der Median ist als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet. Dieser Strich teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man einen Eindruck von der Schiefe der Verteilung der Daten. Die obere Linie, die das Rechteck verlängert, reicht bis zum 90-Quantil, die untere bis zum kleinsten Wert der Daten. Die Box inklusive Linien decken somit 90% der Spannweite der Daten ab. Der Höchstwert ist in den Abbildungen nicht aufgenommen.



Anhang B: Untersuchte Verbindungen

2014	2015		2016	
WMP (Veritas)	WMP (Veritas)	QWMP (AWEL)	WMP (Veritas)	QWMP (AWEL)
Benzotriazol (10)	Benzotriazol (10)	Acesulfam (50)	Amisulprid (10)	Acesulfam (20)
Carbamazepin (10)	Carbamazepin (10)	Acyclovir (100)	Acetylsulfamethoxazol (20)	Acyclovir (100)
Diclofenac (10)	Clarithromycin (10)	Amisulprid (50)	Benzotriazol (10)	Amisulprid (20)
Sulfamethoxazol (10)	Diclofenac (10)	Atenolol (50)	Candesartan (10)	Atenolol (50)
	Hydrochlorthiazid (10)	Benzotriazol (50)	Carbamazepin (10)	Benzotriazol (50)
	Metoprolol (10)	Candesartan (50)	Carbendazim (10)	Candesartan (50)
	Sulfamethoxazol (10)	Carbamazepin (20)	Citalopram (10)	Carbamazepin (20)
		Citalopram (20)	Clarithromycin (10)	Citalopram (20)
		Clarithromycin (50)	Diazinon (10)	Clarithromycin (20)
		Cyclamat (50)	Diclofenac (10)	Cyclamat (50)
		DEET (50)	Diuron (10)	DEET (50)
		Diclofenac (50)	Hydrochlorthiazid (10)	Diclofenac (50)
		Erythromycin (50)	Irbesartan (10)	Erythromycin (50)
		Gabapentin (50)	Isoproturon (10)	Gabapentin (50)
		Hydrochlorthiazid (50)	Mecoprop (10)	Hydrochlorthiazid (50)
		Iopromid (200)	Methylbenzotriazol (10)	Iopromid (200)
		Irbesartan (50)	Metolachlor (10)	Irbesartan (50)
		Lamotrigin (50)	Metoprolol (10)	Lamotrigin (50)
		Lidocain (50)	Sulfamethoxazol (10)	Lidocain (50)
		Metformin (50)	Venlafaxin (10)	Metformin (50)
		Methylbenzotriazol (50)		Methylbenzotriazol (50)
		Metoprolol (50)		Metoprolol (20)
		Naproxen (100)		Naproxen (100)
		Paracetamol (50)		Paracetamol (50)
		Phenazon (20)		Phenazon (20)
		Primidon (100)		Primidon (100)
		Saccharin (50)		Saccharin (50)
		Sitagliptin (100)		Sitagliptin (100)
		Sotalol (20)		Sotalol (20)
		Sucralose (200)		Sucralose (100)
		Sulfamethoxazol (50)		Sulfamethoxazol (20)
		Sulfapyridin (50)		Sulfapyridin (20)
		Tramadol (20)		Tramadol (20)
		Triclosan (100)		Triclosan (100)
		Trimethoprim (20)		Trimethoprim (20)
		Venlafaxin (20)		Venlafaxin (20)

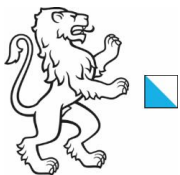


Qualitätskriterienvorschläge Oekotoxzentrum

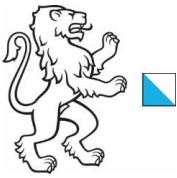
Für chemische Risikobewertungen werden Umweltkonzentrationen mit den dazugehörigen Qualitätskriterien verglichen. Ist die Umweltkonzentration grösser als das Qualitätskriterium, so kann ein Risiko für Wasserorganismen angenommen werden. Ein Vergleich der Umweltkonzentration mit dem akuten Qualitätskriterium (MAC-EQS = maximal zulässige Akutkonzentration) kann helfen, um abzuschätzen, ob eine Schädigung der Organismen innerhalb der nächsten 24-96 h nicht ausgeschlossen werden kann. Mit den chronischen Qualitätskriterien (AA-EQS = zulässige durchschnittliche Jahreskonzentration), die für ein Monitoring der Gewässerqualität empfohlen werden, können Belastungen über einen längeren Zeitraum beurteilt werden. Für kontinuierliche Einträge von Mikroverunreinigungen durch gereinigtes Abwasser ist besonders das chronische Qualitätskriterium relevant. So können die Organismen vor den Folgen von Langzeitbelastungen geschützt werden.

Der Grossteil der Qualitätskriterien wird bis Ende 2016 für die Aufnahme als numerische Anforderungen an die Wasserqualität in den Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung aktualisiert. Die aktualisierten Werte werden in der nachfolgenden Tabelle kontinuierlich ergänzt (a: Werte für Substanz wurden aktualisiert, za: Werte werden noch aktualisiert). Die Herleitung dieser Werte kann mit den zugehörigen Stoffdatenblättern nachvollzogen werden. Aktuelle Stoffdatenblätter können auf Anfrage beim Oekotoxzentrum bezogen werden.

Substanz	CAS Nummer	Akutes Qualitätskriterium (MAC-EQS) µg/l	Chronisches Qualitätskriterium (AA-EQS) µg/l
Arzneimittel und Steroidhormone			
17-alpha-Ethinylestradiol	57-63-6	nicht vorgeschlagen	3.7*10 ⁻⁵
17-beta-Estradiol	50-28-2	nicht vorgeschlagen	4.0*10 ⁻⁴
Atenolol ^a	29122-68-7	330	150
Azithromycin ^a	83905-01-5	0.18	0.019(*)
Bezafibrat ^a	41859-67-0	4000	2.3(*)
Carbamazepin ^a	298-46-4	2000	2
Ciprofloxacin	85721-33-1	0.363	0.089
Clarithromycin ^a	81103-11-9	0.19	0.12(*)
Diatrizoat (3,5-Diacetylamino-2,4,6-trijodbenzoesäure)	117-96-4	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
Diclofenac ^a	15307-86-5, (15307-79-6)	nicht vorgeschlagen	0.05(*)
Erythromycin	114-07-8	2.3	0.04
Estron	53-16-7	nicht vorgeschlagen	3.6*10 ⁻³
Ibuprofen ^a	15687-27-1, (31121-93-4)	1710	0.011(*)
lomeprol	78649-41-9	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
lopamidol	60166-93-0	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
lopromide	73334-07-3	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
Irbesartan	138402-11-6	19100	704
Mefenaminsäure ^a	61-68-7	aktuell nicht möglich	1(*)
Metformin ^a	657-24-9	640	156
Metoprolol ^a	37350-58-6	75	8.6
Naproxen ^a	22204-53-1; (26159-34-2)	860	1.7(*)
Propranolol	4199-09-1	12	0.16
Sotalol ^a	3930-20-9	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
Sulfamethazin ^a	57-68-1	30#	30#
Sulfamethoxazol ^a	723-46-6	2.7	0.6



Trimethoprim ^a	738-70-5	214	120
Valsartan	137862-53-4	9000	560
Arzneimittel- Transformationsprodukte			
10,11-Dihydro-10,11-Dihydroxy-Carbamazepin	58955-93-4	aktuell nicht möglich	100
Carbamazepin 10,11-Epoxid	36507-30-9	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
14-Hydroxy-Clarithromycin	110671-78-8	0.135	0.085
N-Desmethyl-Clarithromycin	101666-68-6	1.5	1.5
Guanylharstoff	141-83-3	aktuell nicht möglich	aktuell nicht möglich
Pestizide			
Azoxystrobin ^a	131860-33-8	0.55	0.2
Bentazon ^a	25057-89-0	470	270
Bentazon-N-Methyl	61592-45-8	860	23
Boscalid ^a	188425-85-6	11.6 [#]	11.6 [#]
Carbendazim ^a	10605-21-7	0.7	0.44
Chloridazon ^a	1698-60-8	190	10
Chlorpyrifos ^a	2921-88-2	0.016	4.6*10 ⁻⁴
Chlortoluron ^a	15545-48-9	2.4	0.6
Cypermethrin ^a	52315-07-8	4.4*10 ⁻⁴	3*10 ⁻⁵
Cyproconazol ^a	94361-06-5	1.25 [#]	1.25 [#]
Cyprodinil ^a	121552-61-2	3.3 [#]	0.33 [#]
2,4-D	94-75-7	1.3	0.2
Diethyltoluamid (DEET) ^a	134-62-3	410	88
Diazinon ^a	333-41-5	0.02 [#]	0.012 [#]
Dicamba ^a	1918-00-9	52	2.2
Dimethoat ^a	60-51-5	0.977	0.07
Diuron ^a	330-54-1	0.25	0.07
Epoxiconazol ^a	135319-73-2 (Stereoisomere: 106325-08-0)	0.24	0.2
Ethofumesat ^a	26225-79-6	260	3.1
Glyphosat ^a	1071-83-6	360	120
Imidacloprid ^a	138261-41-3	0.1	0.013
Iprovalicarb ^a	140923-17-7	190 [#]	190 [#]
Irgarol (Cybutryn)	28159-98-0	0.013	0.0023
Isoproturon ^a	34123-59-6	1.7	0.64
Linuron ^a	330-55-2	1.37	0.26
MCPA ^a	94-74-6	6.4	0.66
Mecoprop-P ^a	16484-77-8	187	3.6
Metalaxyl-M ^a	70630-17-0	98 [#]	98 [#]
Metamitron ^a	41394-05-2	39	4.0
Metazachlor ^a	67129-08-2	0.28	0.02
Methoxyfenozid ^a	161050-58-4	3.7	0.36
Metribuzin ^a	21087-64-9	0.87	0.058
Napropamid ^a	15299-99-7	6.8	5.1
Nicosulfuron ^a	111991-09-4	0.085	0.0087
Pirimicarb ^a	23103-98-2	1.8	0.09
Propamocarb ^a	25606-41-1	1030 [#]	1030 [#]
Pyrimethanil ^a	53112-28-0	32	1.5
S-Metolachlor ^a	87392-12-9 (S-Isomer)	3.3	0.69
Tebuconazol ^a	107534-96-3	1.4	0.24
Terbuthylazin ^a	5915-41-3	1.28	0.22
Terbutryn ^a	886-50-0	0.34	0.065
Thiacloprid ^a	111988-49-9	0.08	0.01
Thiametoxam ^a	153719-23-4	1.4	0.042
Triclosan ^{ca}	3380-34-5	0.02 [#]	0.02 [#]
Transformationsprodukte von Pestiziden			
AMPA	1066-51-9	1500 [#]	1500 [#]
Chloridazon-desphenyl ^a	6339-19-1	aktuell nicht möglich	250
Chloridazon-methyl-desphenyl	17254-80-7	3700	37
Industriechemikalien			



Benzothiazol	95-16-9	246	238
Benzotriazol ^a	95-14-7; (273-02-9)	158	19
Bisphenol A (BPA) ^a	80-05-7	53	0.24
Bromat	15541-45-4	50	50
Methylbenzotriazol ^{2a}	29878-31-7; 29385-43-1 (64665-57-2)	425	20
Nonylphenol ^a	25154-52-3; 84852-15-3	3.8	0.043
Perfluoroktansulfonat (PFOS)	1763-23-1	36	0.23(*) (basiert auf direkter aquatischer Langzeittoxizität) Biota-EQS = 9.1 µg/kg
Komplexbildner			
EDTA	60-00-4	12100	2200
NTA	139-13-9, (5064-31-3)	9800	190

*Für diese Substanzen könnte zusätzlich ein sekundäres Intoxikationsrisiko bestehen, welches numerisch noch nicht berücksichtigt wurde.

#Für einige Substanzen sind das chronische (AA-EQS) und das akute (MAC-EQS) Qualitätskriterium identisch. Dies kann der Fall sein, wenn die akute Toxizität und die chronische Toxizität nicht weit auseinanderliegen. Wenn dann für die Berechnung des MAC-EQS ein höherer Assessmentfaktor benutzt wird als für die Berechnung des AA-EQS (100 statt 10) wäre der MAC-EQS tiefer als der AA-EQS. In solchen Fällen wird gemäss der technischen Vorschrift für die Herleitung von EQS der MAC-EQS auf den AA-EQS angehoben.