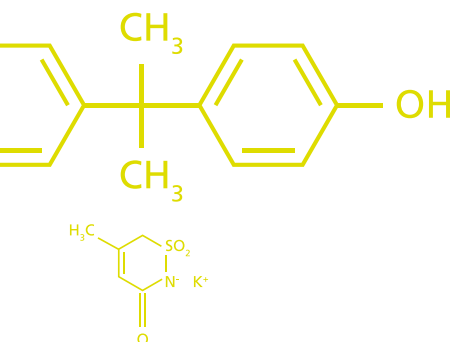


MIKROVERUNREINIGUNGEN IN DER GLATT UND IM GRUNDWASSER DES GLATTALS

Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2012/13

Dezember 2013



IMPRESSUM

Herausgeber:

Baudirektion Kanton Zürich
 AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
 Abteilung Gewässerschutz
www.gewaesserschutz.zh.ch

Autoren AWEL, Abteilung Gewässerschutz:

Christian Balsiger
 Dr. Werner Blüm
 Oliver Jäggi
 Dr. Pius Niederhauser
 Daniel Rensch

Autoren Kantonales Labor Zürich:

Andreas Peter
 René Schaubhut

Fachliche Beratung:

Dr. Eduard Hoehn
 Dr. Walter Labhart, Dr. Heinrich Jäckli AG

Grafik und Layout:

Roland Ryser, zeichenfabrik, Zürich

Bilder: ©AWEL, S. 3 ©Barbara Pheby und
 S. 6 ©Brian Jackson (beide Fotolia.com)

Zürich, Dezember 2013

©2013 AWEL Amt für Abfall, Wasser,
 Energie und Luft des Kantons Zürich,
 Nachdruck mit Angabe der Quelle gestattet.

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	4
1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	5
2 HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISS UND ARA-ABFLÜSSE IM UNTERSUCHUNGSZEITRAUM 2012/13	6
2.1 Niederschlag	6
2.2 Abfluss der Glatt	6
2.3 Grundwasser	7
2.4 Abflussmengen aus untersuchten ARA	8
3 GRUNDWASSERVERHÄLTNISS IM GLATTAL	9
3.1 Übersicht	9
3.2 Grundwasservorkommen von Dübendorf	9
3.3 Grundwasservorkommen im unteren Glattal	9
3.4 Grundwasserentnahmen	10
3.5 Grundwasserqualität	11
3.6 Grundwasserbilanz	11
3.7 Ergebnisse von früheren Untersuchungen im unteren Glattal	13
4 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM	14
4.1 Routineuntersuchungen	14
4.2 Probenahmestellen und Methodik der Probenahme	14
4.3 Untersuchte Parameter und Analytik	17
5 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGSKAMPAGNE 2012/13	18
5.1 Indikatorsubstanzen	18
5.2 Künstliche Süsstoffe	21
5.3 Pestizide und deren Metaboliten	22
5.4 Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel und hormonell wirksame Substanzen	23
5.5 Allgemeine chemisch-physikalische Parameter	26
5.6 Eignung der untersuchten Spurenstoffe als Tracer für gereinigtes ARA-Abwasser in der Glatt und im Grundwasser	26
5.7 Belastung der Glatt und des Grundwassers durch ARA-Abwässer	27
6 ÖKO- UND HUMANOTOXIKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN	30
6.1 Ökotoxikologische Bewertung (Schutzziel aquatische Umwelt)	30
6.2 Humantoxikologische Bewertung (Schutzziel Trinkwasser)	32
7 FAZIT UND AUSBLICK	33
8 ANHANG	
Tabellarische Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse	36
Literatur	38
Abbildungsverzeichnis	39

VORWORT

In den Jahren 2012 und 2013 hat das AWEL das Wasser der Glatt, das Grundwasser des Glattals sowie die Abläufe von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA), die in die Glatt entwässern, auf organische Mikroverunreinigungen hin untersucht. Zu diesen Problemstoffen zählen Medikamente, Kosmetika, Reinigungsmittel, Pflanzenschutzmittel und eine Vielzahl weiterer Umweltchemikalien, die in Haus und Garten, Industrie, Gewerbe sowie in der Landwirtschaft verwendet werden. Mikroverunreinigungen werden beim heutigen Stand der Technik auf den ARA nur teilweise oder gar nicht zurückgehalten. Sie gelangen mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer und können dort bereits in tiefen Konzentrationen die Lebewesen im Wasser und unser Trinkwasser gefährden. Mit der breit angelegten Messkampagne wurde ermittelt, welche Mikroverunreinigungen aus der ARA in die Glatt, von dort ins Grundwasser und damit letztendlich auch ins Trinkwasser gelangen können und welche Stoffe besonders problematisch sind.

Es muss damit gerechnet werden, dass die Belastung der Gewässer durch Mikroverunreinigungen künftig noch zunehmen wird. Einerseits dürften sowohl die Vielfalt der Chemikalien als auch der Produkte, die Chemikalien enthalten, grösser werden, andererseits steigen die Bevölkerungszahlen und mit ihr die Verkaufsmengen dieser Produkte stetig an. Der Eintrag dieser unerwünschten Stoffe in unsere Gewässer und das Trinkwasser muss deshalb reduziert werden. Im Rahmen der laufenden Revision des Gewässerschutzgesetzes hat der Bundesrat beschlossen, ausgewählte kommunale ARA mit zusätzlichen Reinigungsstufen aufzurüsten, um die Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Die Gesetzesänderung sieht unter anderem vor, ARA an Gewässern, die einen hohen Abwasseranteil aufweisen, auszubauen. Die Glatt hat einen durchschnittlichen Abwasseranteil bei Trockenwetter von einem Fünftel der gesamten Wassermenge. Dadurch werden auch ARA im Glattal eine zusätzliche Reinigungsstufe errichten.

Der vorliegende Bericht, der sich primär an Fachleute richtet, belegt für das Einzugsgebiet der Glatt die Notwendigkeit dieser Massnahmen. Denn in der Glatt und im flussnahen Grundwasser, das einen Grossteil der Bevölkerung des Glattals mit Trinkwasser versorgt, sind trotz ansonsten guter Wasserqualität Mikroverunreinigungen nachweisbar. Die nachgewiesenen Konzentrationen von Mikroverunreinigungen im Grundwasser des Glattals sind zwar nach heutigen Erkenntnissen für die menschliche Gesundheit unbedenklich. Trotzdem soll die Belastung von Trinkwasser-Ressourcen aus vorsorglichen Gründen möglichst vermieden werden. Mit dem Ausbau der ARA Dübendorf, Fällanden, Bassersdorf, Kloten-Opfikon, Niederglatt und Bülach kann der Eintrag von Mikroverunreinigungen in der Glatt wesentlich reduziert und damit ein wichtiger Beitrag zum Schutz des Grundwassers und des Trinkwassers geleistet werden.

Dr. Jürg Suter, Chef AWEL



ZUSAMMENFASSUNG



Das Einzugsgebiet der Glatt ist heute geprägt durch einen hohen Anteil an Siedlungsflächen und eine starke Zunahme der Bevölkerung. So hat sich als Folge der wirtschaftlichen Entwicklung im Grossraum Zürich die Bevölkerung im Glattal seit 1960 knapp verdreifacht. Dank dem hohen Ausbaustandard der Abwasserreinigung im Glattal und der Überleitung des Abwassers von Zürich Nord in die ARA Werdhölzli im Jahr 2001 hat sich die Wasserqualität der Glatt trotz zunehmender Bevölkerungsdichte deutlich verbessert. So werden heute in der Glatt die Qualitätsanforderungen an die klassischen Parameter wie Nährstoffe und organisch leicht abbaubare Stoffe erfüllt.

Mit der Aufhebung der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Zürich Glatt und Überleitung des Abwassers in die ARA Werdhölzli konnte auch der Anteil an gereinigtem Abwasser in der Glatt markant, nämlich um rund ein Drittel gesenkt werden. Bei Trockenwetter besteht der Abfluss der Glatt aber heute immer noch zu etwa einem Fünftel aus gereinigtem Abwasser der 9 kommunalen ARA im Einzugsgebiet der Glatt.

Bei solch ungünstigen Verdünnungsverhältnissen können sich organische Mikroverunreinigungen als problematisch erweisen. Dabei handelt es sich um eine Vielzahl künstlich hergestellter Stoffe wie Pestizide, Arzneimittel, Kosmetika oder Reinigungsmittel, welche in den ARA nicht oder nur ungenügend abgebaut werden. Diese Stoffe gelangen mit dem gereinigten Abwasser in die Oberflächengewässer, wo sie sich bereits in sehr tiefen Konzentrationen nachteilig auf Organismen auswirken können. Hinzu kommt, dass einzelne Mikroverunreinigungen über die Infiltration von Glattwasser auch in das Grundwasser eingetragen werden und eine potenzielle Gefährdung dieser wichtigen Trinkwasserressource darstellen.

Um die vorhandene Belastung durch Mikroverunreinigungen in den ARA-Abläufen, in der Glatt sowie im Grundwasser genauer abzuklären, hat das AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft zwischen März 2012 und Januar 2013 in vier Beprobungskampagnen umfangreiche Analysen an Wasserproben durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk galt dabei allfälligen Auswirkungen durch die aus ARA-Abläufen stammenden Mikroverunreinigungen auf die Grund- bzw. Trinkwasserqualität der Pumpwerke im unteren Glattal.

Von den insgesamt 140 analysierten Spurenstoffen waren im gereinigten Abwasser der ARA-Abläufe knapp die Hälfte nachweisbar. Die Substanzen lagen im Konzentrationsbereich von wenigen Nanogramm/Liter bei den Arzneimittelrückständen, Röntgenkontrastmitteln und hormonell wirksamen Substanzen, bis gegen hundert Mikrogramm/Liter beim künstlichen Süsstoff Acesulfam.

In der Glatt waren die meisten der im ARA-Ablauf gemessenen Spurenstoffe ebenfalls nachweisbar. Aufgrund der gemessenen Konzentrationen konnte für die Messkampagnen ein Anteil von gereinigtem Abwasser zwischen rund 10 % und maximal knapp 30 % in der Glatt abgeschätzt werden. Einzelne Mikroverunreinigungen wurden in Konzentrationen nachgewiesen, welche ein erhöhtes Risiko für Wasserorganismen darstellen und bei denen chronische Wirkungen auf die aquatische Umwelt zu befürchten sind.

Auch im Grundwasser sind einzelne Mikroverunreinigungen, insbesondere der Süsstoff Acesulfam, die Arzneimittel Carbamazepin und Sulfamethoxazol, das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure sowie das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol in Spuren nachweisbar.

Die Resultate zeigen auf, dass Acesulfam praktisch keinen Sorptions- und Abbauprozessen unterliegt und sich als idealer Tracer für das gereinigte Abwasser eignet. Aufgrund der im Grundwasser gemessenen Acesulfamgehalte kann ein Anteil von Glatt-Infiltrat in den untersuchten Trinkwasserfassungen des unteren Glattals abgeschätzt werden. Dieser liegt zwischen rund 50 und 65%. Trotz des hohen Anteils an Wasser, welches ursprünglich aus der Glatt stammt, konnten nur noch einzelne Mikroverunreinigungen nachgewiesen werden. Diese Stoffe liegen in so geringen Konzentrationen vor, dass aufgrund des heutigen Wissensstandes eine gesundheitliche Beeinträchtigung auch durch einen lebenslangen Konsum ausgeschlossen werden kann. Gleichwohl ist das Vorhandensein von Mikroverunreinigungen im Grundwasser unerwünscht.

Aus Sicht des vorsorglichen Gewässer- und Trinkwasserschutzes sind daher alle möglichen Anstrengungen zu unternehmen, die Einträge von anthropogenen Spurenstoffen in die Glatt und in das Grundwasser zu minimieren. Neben Massnahmen an der Quelle, z.B. durch Ersatz oder Anwendungsbeschränkungen von problematischen Substanzen, steht dabei der gezielte Ausbau der ARA Dübendorf, Fällanden, Bassersdorf, Kloten-Opfikon, Niederglatt und Bülach im Vordergrund. Mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe auf diesen Anlagen lassen sich Mikroverunreinigungen im gereinigten Abwasser weitgehend eliminieren, und die Einträge in die Glatt und somit auch in das Grundwasser können signifikant reduziert werden. Damit kann ein massgebender Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität der Glatt und zum Erhalt einer einwandfreien Trinkwasserqualität geleistet werden.

Der Erfolg der getroffenen Massnahmen sollte neben den laufenden Untersuchungs- und Überwachungsprogrammen in periodischen Zeitabständen durch koordinierte Messkampagnen der ARA-Abläufe, der Glatt und des Grundwassers geprüft werden.

1 EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Glatt weist einen hohen Anteil an gereinigtem Abwasser aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) auf. Über die ARA-Ausläufe gelangen organische Spurenstoffe in die Glatt und durch Flusswasser-Infiltration weiter in das Grundwasser. Um die vorhandene Belastung durch Mikroverunreinigungen im Glattal genauer abzuklären und um die Notwendigkeit von Massnahmen im Hinblick auf den vorsorglichen Gewässer- und Trinkwasserschutz beurteilen zu können, hat das AWEL eine umfangreiche Untersuchungskampagne durchgeführt.

Das Abwasser aus Haushalten und Industrie enthält zahlreiche organische Spurenstoffe, welche in den Abwasserreinigungsanlagen (ARA) – trotz hohem Ausbaustandard – nur zum Teil abgebaut werden und über das gereinigte Abwasser in unsere Oberflächengewässer gelangen. Obschon diese Stoffe nur in sehr geringen Konzentrationen (Nanogramm bis Mikrogramm pro Liter) auftreten, sind sie in Bächen und Seen unerwünscht und können sich nachteilig auf das aquatische System auswirken. Über die Infiltration aus Oberflächengewässern können diese abwasserbürtigen Spurenstoffe in das Grundwasser gelangen und somit eine potentielle Gefahr für unsere wichtigste Trinkwasserressource darstellen.

Bereits im Jahre 2005 hat das AWEL im Rahmen einer Pilotstudie die Ausbreitungspfade von Mikroverunreinigungen und deren Auftreten im gereinigten Abwasser der ARA Werdhölzli, in der Limmat und im flussnahen Grundwasser untersucht [1]. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass in den limmatnahen Grundwasserfassungen Spuren von Medikamenten und Röntgenkontrastmitteln nachgewiesen werden konnten. Die im Grundwasser gemessenen Konzentrationen waren allerdings so gering, dass negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nach heutigem Kenntnisstand ausgeschlossen werden konnten.

Im mittleren und unteren Glattal hat die Bevölkerung als Folge der wirtschaftlichen Entwicklung im Grossraum Zürich in den letzten Jahrzehnten markant zugenommen. Entsprechend sind auch die Abwassermengen aus der Siedlungsentwässerung stark angestiegen. Im Einzugsgebiet der

Glatt, zwischen dem Greifensee und der Mündung in den Rhein, wird das Abwasser aus der Siedlungsentwässerung heute in insgesamt 7 kommunalen ARA behandelt und als gereinigtes Abwasser in die Glatt oder in eines ihrer Nebengewässer geleitet. Zwar konnte durch die Überleitung des Abwassers aus der ARA Zürich-Glatt in die ARA Werdhölzli der Anteil an gereinigtem Abwasser in der Glatt seit 2001 um ein Drittel gesenkt werden. Er beträgt aber heute im Unterlauf der Glatt im Mittel noch ca. 1.0 m³/s und macht bei Niedrigwasserstand somit etwa ein Fünftel der Abflussmenge bei Rheinsfelden aus. Die Glatt zählt damit nach wie vor zu den am meisten mit gereinigtem Abwasser belasteten Oberflächengewässern im Kanton Zürich. Dank dem guten Ausbaustand der ARA im Glattal konnte die Belastung der Glatt mit Nährstoffen und organisch leicht abbaubaren Stoffen in den letzten Jahren dennoch stark reduziert werden, wodurch die Qualitätsziele für diese Parameter heute in der Regel erfüllt werden können. Leider fehlen aber dazu adäquate Grundlagen respektive Messungen zur Beurteilung der Bedeutung der Mikroverunreinigungen für die Glatt.

Diese Ausgangslage hat das AWEL veranlasst, die vorhandene Belastung durch Mikroverunreinigungen in den ARA-Abläufen, in der Glatt sowie im Grundwasser durch koordinierte Messungen und gestützt auf mehrere Beprobungskampagnen im Detail zu untersuchen. Vor dem Hintergrund der Nutzung des Grundwassers als Trinkwasser stand dabei vor allem auch die Frage des Eintrags von Mikroverunreinigungen in das Grundwasser und einer damit allenfalls verbundenen Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität im Vordergrund.



2

HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISS UND ARA-ABFLÜSSE IM UNTERSUCHUNGS- ZEITRAUM 2012/13

Die 1. Hälfte des Untersuchungszeitraums war vergleichsweise trocken. Von Juni bis Dezember 2012 fiel dann aber überdurchschnittlich viel Niederschlag. Dies führte tendenziell zu höheren Abflüssen in der Glatt sowie zu hohen Grundwasserständen im Winter 2012/13. Im Beobachtungsjahr 2012 betrug der Abfluss an gereinigtem Abwasser rund 155'000 m³ pro Tag, was einem Anteil am Glattabfluss bei Rheinsfelden von im Mittel knapp 20% entspricht.

2.1 NIEDERSCHLAG

Die jährliche Niederschlagsmenge im unteren Glattal beträgt im Mittel rund 1100 mm. Das Beobachtungsjahr 2012 war im langjährigen Vergleich überdurchschnittlich niederschlagsreich. An der SMA-Station Kloten erreichte der Jahresniederschlag einen Wert von 1380 mm. Dies entspricht 120% der Norm. In den Monaten Februar und März 2012 fiel zwar noch sehr wenig Niederschlag. Die Sommermonate und vor allem das 4. Quartal waren dann aber überdurchschnittlich nass. Im Dezember 2012 fiel im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa die doppelte Niederschlagsmenge.

2.2 ABFLUSS DER GLATT

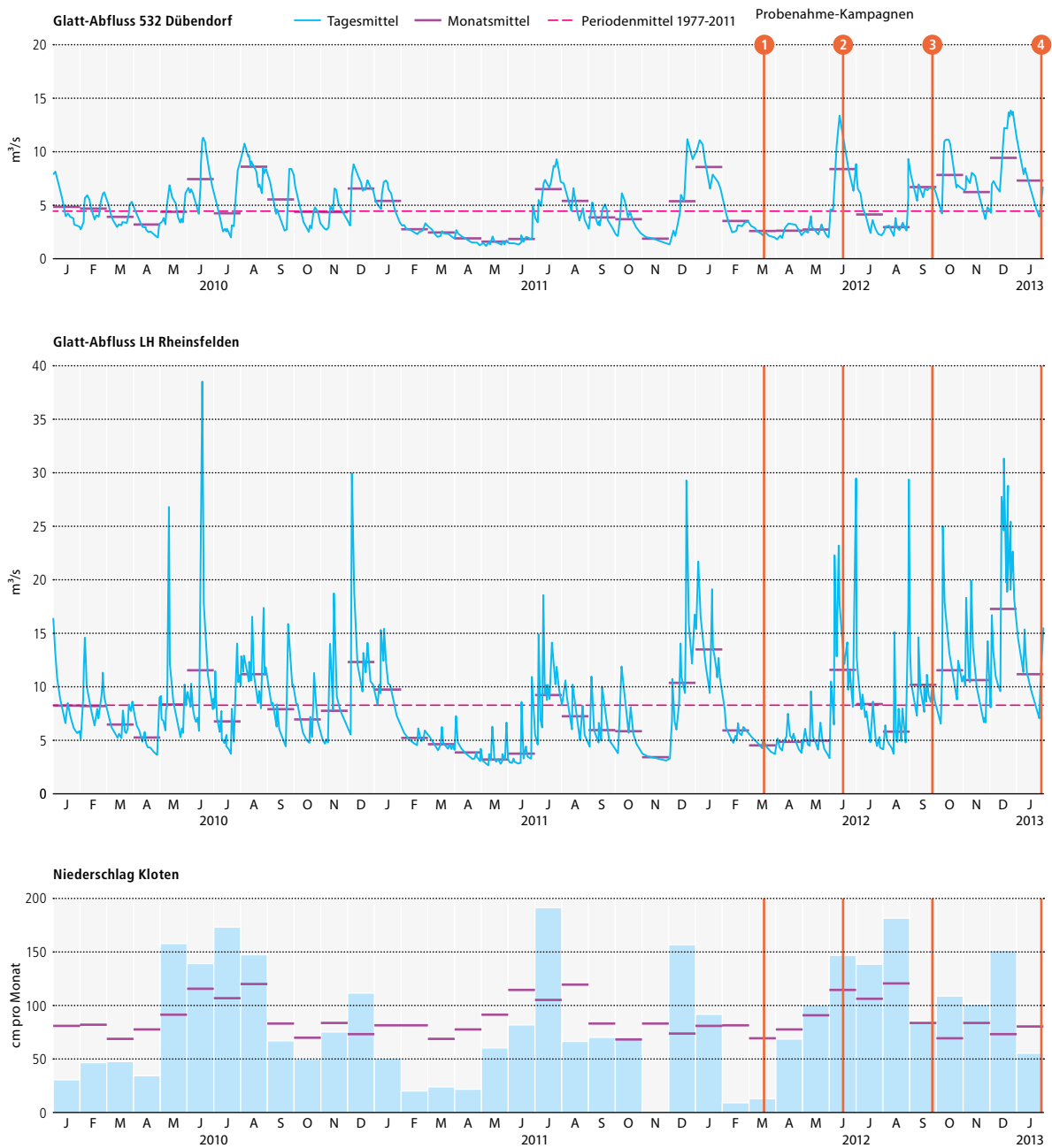
Beim Auslauf aus dem Greifensee beträgt der Abfluss der Glatt im langjährigen Periodenmittel 4.0 m³/s. Auf der 35 km langen Strecke bis zur Rheinmündung erhöht sich der Abfluss der Glatt auf mehr als die doppelte Menge. Bei der Messstation in Rheinsfelden fließen im langjährigen Mittel ca. 8.3 m³/s in den Rhein ab (Tabelle 1).

Die 1. Probenahmekampagne im März 2012 erfolgte während einer länger dauernden Phase mit Niedrigwasser der Glatt. Bei der Beprobung im Juni 2012 führte die Glatt dann aber eine überdurchschnittliche Wassermenge, während anlässlich der 3. und 4. Probenahme die Abflüsse wenig über einer mittleren Wasserführung lagen (Figur 1).

Tabelle 1 **Abfluss-Messstationen an der Glatt und charakteristische Abflüsse**

Glatt-Messstation	Nr.	Kleinstes Jahresmittel [m ³ /s]	Grösstes Jahresmittel [m ³ /s]	Periodenmittel 1976–2011 [m ³ /s]
Abfluss Greifensee Wuhrbrücke, Fällanden	ZH 531	2.65 (1997)	5.56 (1999)	4.00
Dübendorf	ZH 533	2.97 (2003)	6.43 (1970)	4.38
Rümlang	ZH 534	4.01 (2003)	9.50 (1970)	6.45
Rheinsfelden	LH 2415	5.47 (2003)	11.4 (1999)	8.26

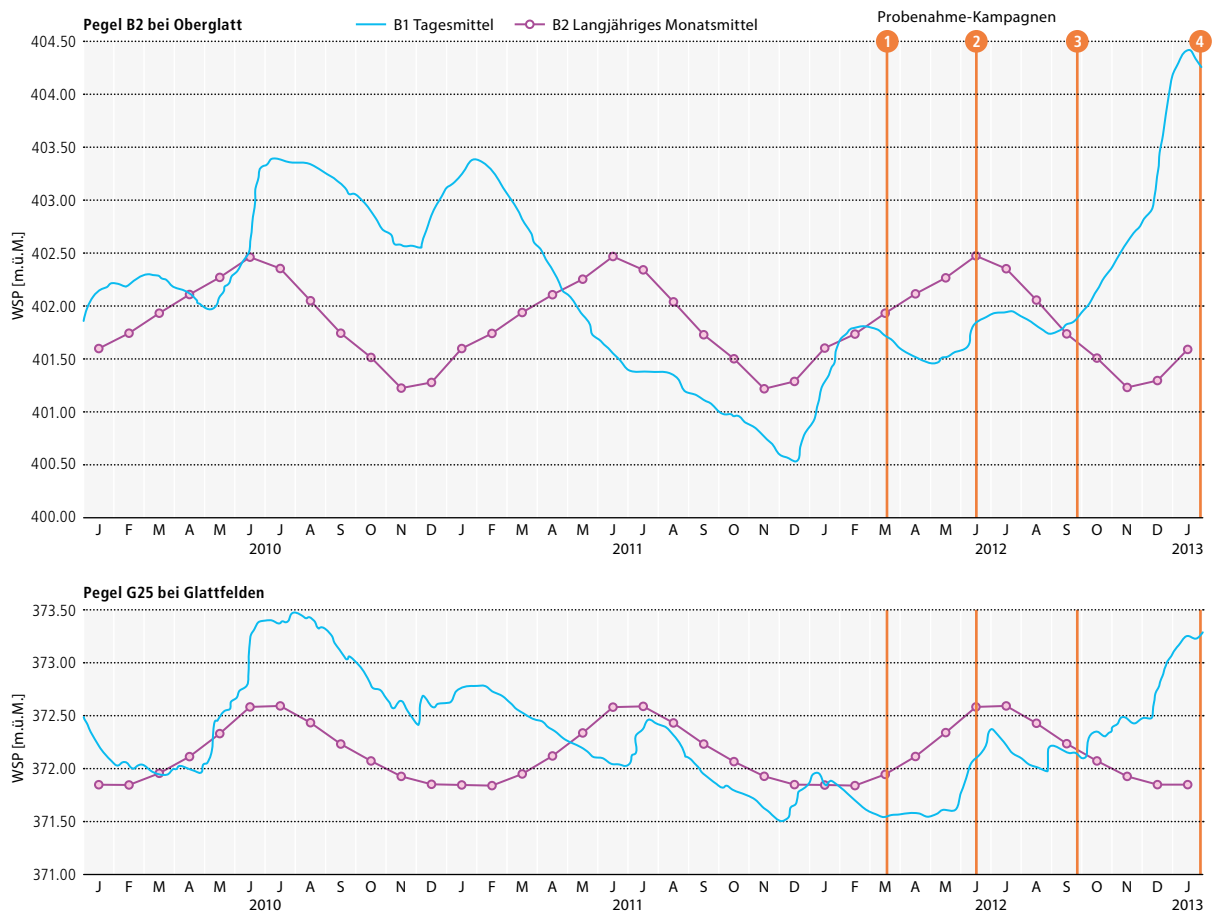
Figur 1 Glatt-Abfluss bei Dübendorf und bei Rheinsfelden sowie Niederschlag in Kloten im Zeitraum von Januar 2010 bis Januar 2013



2.3 GRUNDWASSER

Das Frühjahr 2011 war vergleichsweise trocken und die unterdurchschnittliche Grundwasserneubildung führte zu einem markanten Absinken der Grundwasserstände im unteren Glattal. Ende 2011 lagen die Grundwasserspiegel im Vergleich zum langjährigen Mittel auf einem niedrigen Niveau.

Die ergiebigen Niederschläge im Januar / Februar 2012 vermochten das vorhandene Grundwasserdefizit zwar teilweise zu beheben. Bis zur 3. Beprobungskampagne Ende September 2012 lagen die Grundwasserstände aber immer noch leicht unter dem langjährigen Mittel.

Figur 2 **Ganglinien des Grundwasserspiegels der kantonalen Pegel B2 bei Oberglatt und G25 bei Glattfelden von Januar 2010 bis Januar 2013**

2.4 ABFLUSSMENGEN AUS UNTERSUCHTEN ARA

Von den Kläranlagen liegen die Angaben zu den jährlichen Abflussmengen vor (Tabelle 2). Den kleinsten Abfluss weist die ARA Glattfelden mit durchschnittlich etwa 700–900 m³/Tag auf. Bei den grossen ARA Dübendorf, Kloten-Opfikon und Niederglatt betragen die Abflüsse zwischen minimal 14 000 und maximal knapp 24 000 m³/Tag.

Im Beobachtungsjahr 2012 leiteten die 7 ARA im Mittel rund 100 000 m³ gereinigte Abwässer pro Tag (11.2 m³/s) in die Glatt. Gemessen am Abfluss der Glatt bei Rheinsfelden von im Mittel 9.17 m³/s im Beobachtungsjahr 2012 entspricht dies einem Anteil von rund 13%. Hinzu kommt ein Abwasseranteil aus der im Einzugsgebiet des Greifensees liegenden ARA von etwa 55 000 m³/Tag. Das ergibt im Mittel einen Gesamtanteil von gereinigtem Abwasser im Unterlauf der Glatt von knapp 20%.

Tabelle 2 **Abflüsse der ARA im Glattal in den Jahren 2010–2012**

ARA	Nr.	2010 [m ³ /Tag]	2011 [m ³ /Tag]	2012 [m ³ /Tag]
Fällanden	193/01	14 334	12 465	15 506
Dübendorf	191/01	21 644	19 124	23 562
Bassersdorf	52/01	8255	6668	9238
Kloten-Opfikon	66/02	16 386	14 563	19 083
Niederglatt	89/01	20 083	16 702	21 459
Bülach	53/01	10 319	8720	10 838
Glattfelden	58/01	918	912	683
Total		91 939	79 154	100 369



Das ergiebige Grundwasservorkommen im unteren Glattal stellt eine wichtige und intensiv genutzte Trinkwasserressource dar. Pro Jahr werden in den vorhandenen 6 Fassungen mehr als 2 Mio. Kubikmeter Grund- respektive Trinkwasser gefördert. Neben dem versickernden Niederschlagsanteil und unterirdischen Randzuflüssen trägt die Infiltration aus der Glatt massgeblich zur Neubildung des Grundwassers bei.

3.1 ÜBERSICHT

Vom Auslauf beim Greifensee bis nach Oberglatt verläuft die Sohle der Glatt überwiegend in schlecht durchlässigen Schwemm- und Seeablagerungen und ausserhalb von nutzbaren Grundwassergebieten. Einzig im Siedlungsgebiet von Dübendorf quert die Glatt ein lokales Grundwasservorkommen.

Unterhalb des eiszeitlichen Moränenwalls bei Hofstetten beginnt der ergiebige Grundwasserstrom im Niederterrassen-Schotter des unteren Glattals. Ab dort verläuft die Glatt bis unterhalb von Glattfelden direkt über dem in verschiedenen Trinkwasserfassungen genutzten Grundwasserleiter.

3.2 GRUNDWASSERVORKOMMEN VON DÜBENDORF

Im Gebiet Dübendorf wirkt ein späteiszeitlicher Rückzugs-schotter von meist nur wenigen Metern Mächtigkeit als Grundwasserleiter für ein lokales Grundwasservorkommen. Die Speisung des Grundwassers erfolgt überwiegend durch den versickernden Niederschlagsanteil und durch Zusickerung von Hangwasser, sowie untergeordnet durch Infiltration aus der Glatt und dem Chriesbach.

Eine Entnahme zur Trinkwassergewinnung findet heute einzig noch in der Fassung Zelgli (GWR g 1-11) statt. Diese Fassung liegt am südlichen Rand des Siedlungsgebietes und abseits der Glatt. Das geförderte Grundwasser wird allein durch Niederschlag und unterirdische Hangwasserzuflüsse gespeist.

Im Einflussbereich der Glatt sind einzelne Brauchwasserfassungen vorhanden, u.a. jene der Firma Givaudan Schweiz AG (GWR g 1-3) und der EMPA (GWR g 1-16).

3.3 GRUNDWASSERVORKOMMEN IM UNTEREN GLATTAL

Von Gebiet Hofstetten bei Oberglatt bis zum Rhein ist ein lang gestrecktes Grundwasservorkommen vorhanden. Eine unterirdische Moräne im Raum Bülach – Hochfelden führt zu einer Zerteilung des recht ergiebigen Grundwasserstromes, ohne diesen jedoch in hydraulischer Hinsicht vollständig zu unterbrechen.

Grundwasserverhältnisse zwischen Oberglatt und Bülach – Hochfelden

Von seinem oberen Ende bei Hofstetten bis zur genannten unterirdischen Barriere im Raum Bülach – Hochfelden ist das Grundwasservorkommen mehrheitlich mit Moräne bedeckt. Dadurch ist auch die Möglichkeit zur Infiltration von Glattwasser ins Grundwasser eingeschränkt. Hinweise auf eine verstärkte Infiltration aus der Glatt gibt es im Gebiet von Niederglatt sowie nahe der unteren Grenze im Gebiet Hirslen, wo die Sohle der Glatt im Schotter verläuft.

Die Speisung des Grundwasservorkommens erfolgt nach bisherigen Kenntnissen überwiegend durch den versickernden Anteil der Niederschläge sowie durch randliche Zuflüsse. Diese Annahme wird durch die Grundwasserspiegelmessungen in Beobachtungsrohren in einiger Entfernung von der Glatt bestätigt. Die Ganglinien sind durch einen relativ ruhigen, zeitlich gegenüber dem Witterungsablauf etwas verzögerten Verlauf mit hohen Grundwasserständen im Frühjahr gekennzeichnet. Die langjährigen saisonalen Spiegelschwankungen sind vor allem im oberen Teil des Vorkommens sehr ausgeprägt. Das Spiegelgefälle der Grundwasseroberfläche ist vergleichsweise gering und beträgt meist unter 1 ‰.

Grundwasserverhältnisse zwischen Bülach – Hochfelden und dem Rhein

Im Raum Bülach – Hochfelden sind innerhalb des Schotter-Grundwasserleiters diverse Einschaltungen von eiszeitlichen Moränen vorhanden, welche lokal uneinheitliche Durchlässigkeits- und Grundwasserfliessverhältnisse, mit einem zum Teil sehr steilen Gefälle der Grundwasseroberfläche, zur Folge haben. Weiter talabwärts ist der Grundwasserleiter dann wesentlich einheitlicher aufgebaut. Der Niederterrassenschotter ist einzig noch im Bereich der Talflanken durch Moränen bedeckt und der Grundwasserspiegel im Schotter ist nirgends mehr gespannt.

Zwischen Hochfelden und dem Glattknie oberhalb Glattfelden liegt ein eigentlicher «Grundwassersee» mit nur bescheidenem Spiegelgefälle und ausgeprägten Spiegelschwankungen von bis zu 7 m vor. Weiter glattabwärts verteilt sich das Gefälle der Grundwasseroberfläche wieder deutlich und es zeichnet sich ein zunehmender Einfluss durch Infiltration aus der Glatt ab, welche im Gebiet Hundig oberhalb Glattfelden durch umfangreiche Untersuchungen der Eawag [2] nachgewiesen werden konnte.

Unterhalb von Glattfelden wird die Glatt zur Vorflut für das Grundwasser. Eine deutliche Exfiltration von Grundwasser findet im Gebiet Letten gegenüber der Einmündung des Grundwasserstroms aus dem Windlacherfeld statt. Danach verlässt die Glatt das Grundwassergebiet um nach einer epigenetisch gebildeten Talrinne bei Rheinsfelden den Rhein zu erreichen.

Der vereinigte Grundwasserstrom vom Glattal und vom Windlacherfeld strömt im alten, interglazialen Glattal weiter gegen NW und exfiltriert schliesslich in den Rhein.

3.4 GRUNDWASSERENTNAHMEN IM UNTEREN GLATTAL

Das Grundwasservorkommen im unteren Glattal wird heute in 6 Fassungen zur Trinkwasser- und Brauchwassergewinnung (TW/BW) genutzt (vgl. Tabelle 3). In den genannten Pumpwerken sind im Jahr 2012 total ca. 2.23 Mio. Kubikmeter Grund- resp. Trinkwasser gefördert worden. Dies entspricht einer durchschnittlichen Entnahme von ca. 6120 m³/Tag.

Neben den aufgelisteten Trinkwasserfassungen existieren Brunnen für die Notwasserversorgung (NWV) sowie einzelne Brauchwasserfassungen und Wärmenutzen (WE). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden zusätzlich folgende Grundwasserbrunnen beprobt (vgl. Tabelle 4)

Tabelle 3 Grund-/Trinkwasserfassungen im unteren Glattal

Grundwasserfassung	Nutzung	Grundwasserrecht GWR	Konzessionsmenge [l/min]	Entnahmemenge 2012 [m ³]
Hofstetten, Oberglatt	TW/BW	m 2–1	2240	245 000
Grafschaft, Niederglatt *	TW/BW	m 2–3	2500	435 000
Sali, Höri	TW/BW	l 2–5	4170	555 000
Herrenwiesen, Bülach	TW/BW	l 2–24	6000	762 000
Rüteli I, Glattfelden	TW/BW	l 2–15	1240	10 500
Rüteli II, Glattfelden	TW/BW	l 2–16	3000	226 000

* Aufhebung im Herbst 2013, Ersatz durch Erhöhung der Konzession resp. Förderung im PW Sali, Höri

Tabelle 4 Weitere Grundwasser-Beprobungsstellen im unteren Glattal

Grundwasserfassung	Nutzung	Grundwasserrecht GWR	Konzessionsmenge [l/min]	Entnahmemenge 2012 [m ³]
Hirslen II, Bülach	BW/NWV	l 2–12	1540	700
Brücke, Hochfelden	Messstelle	l 2–11	100	0
Givaudan, Dübendorf	BW	g 1–2	Konzession aufgehoben	0

3.5 GRUNDWASSERQUALITÄT IM UNTEREN GLATTAL

Alle für Trinkwasserzwecke genutzten Grundwasserfassungen werden regelmässig durch das Kantonale Labor untersucht. Für die genannten Fassungen zeigen die Ergebnisse der letzten fünf Jahre keine Überschreitung der gesetzlichen Anforderungen. Mikrobiologisch konnten nie Fäkalbakterien oder eine erhöhte Gesamtkeimzahl im Grundwasser festgestellt werden. Grundwasser kann deshalb in der Regel ohne weitere Aufbereitung gefördert und konsumiert werden. Die Nitratwerte lagen im Bereich von 12 bis 25 mg/l und damit deutlich unter dem lebensmittelrechtlichen Toleranzwert von 40 mg/l.

Generell liegt in den Grundwasserfassungen des unteren Glattales ein «ziemlich hartes» Wasser mit einer Gesamthärte zwischen ca. 27 und 32 °fH vor. Ein markanter Einfluss durch Infiltration von weicherem Glattwasser (Gesamthärte 21–24 °fH, Karbonathärte 20–23 °fH) ist bei keiner Grundwasserfassung feststellbar. Die Härte des geförderten Grundwassers ist aber teilweise etwas niedriger als jene von «echtem» Grundwasser und lässt zumindest bei einigen Fassungen einen gewissen Einfluss durch weicherer Glattwasser vermuten.

3.6 GRUNDWASSERBILANZ UNTERES GLATTAL

Begriffsdefinition «Glatt-Infiltrat»

Bei der Diskussion der Untersuchungsergebnisse wird im Folgenden verschiedentlich von einem Anteil Glattwasser oder von «Glatt-Infiltrat» im Grundwasser gesprochen. Der Begriff «Infiltrat» wird dabei nicht gemäss seiner klassischen Bedeutung verwendet, weshalb die im Rahmen dieser Studie verwendete Begriffsdefinition nachfolgend näher erläutert werden soll.

Eine nennenswerte Infiltration von Flusswasser macht sich im Grundwasser in der Regel durch eine erniedrigte Mineralisation, insbesondere durch eine geringere Gesamt- und Karbonathärte, sowie teilweise auch durch niedrige Sauerstoffgehalte bemerkbar. Im Nahbereich des Oberflächengewässers führt die Infiltration von Flusswasser zudem zu saisonalen Schwankungen der Wassertemperatur und

häufig auch zu erhöhten bakteriologischen Belastungen im Grundwasser. Diese Einflüsse klingen mit zunehmender Distanz und Verweilzeit im Untergrund sukzessive ab. Nach einer Fließzeit im Untergrund von in der Regel etwa 10–30 Tagen und auf einer Distanz von wenigen hundert Metern sind kaum mehr Unterschiede zu «echtem», durch die Niederschlagsversickerung neu gebildetem Grundwasser zu erkennen. Obschon die Herkunft des Grundwassers teils auf Flusswasser-Infiltration zurückzuführen ist, wird dieses Grundwasser weiter stromabwärts üblicherweise bereits wieder in seiner Gesamtheit als «echtes» Grundwasser bezeichnet, da der Anteil an Flusswasser-Infiltrat aufgrund der allgemeinen chemischen Wasserinhaltsstoffe nicht mehr erkennbar ist.

Falls im Oberflächengewässer jedoch Stoffe auftreten, die ausschliesslich über das Flusswasser-Infiltrat in das Grundwasser gelangen und welche sich dort konservativ verhalten, d.h. welche keinen Abbau- oder Sorptionsprozessen unterliegen, so kann der Infiltrat-Anteil unabhängig von der Verweilzeit im Untergrund und von der zurückgelegten Fließdistanz bestimmt werden. Bisher waren solche Beobachtungen nur in Ausnahmefällen, wie etwa bei einem Zwischenfall mit Tritium (siehe Kap. 3.7), möglich. Gewisse der im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten Spurenstoffe stellen ebenfalls «Durchläufer» dar und ermöglichen es, den ursprünglichen Infiltrat-Anteil zu bestimmen. Wenn nachfolgend der Begriff «Glatt-Infiltrat» verwendet wird, so wird damit jeweils sämtliches aus der Glatt stammendes Wasser – unabhängig von der Verweilzeit im Untergrund – beschrieben.

Im Rahmen der bisherigen Grundwasseruntersuchungen sind die Zu- und Wegflüsse zum Grundwasserkörper des unteren Glattales nie genauer quantifiziert bzw. bilanziert worden. Da diese Frage für die Beurteilung der Eintrags- und Ausbreitungspfade von Mikroverunreinigungen im Grundwasser von zentraler Bedeutung ist, soll nachfolgend der Versuch einer einfachen Bilanzierung vorgenommen werden. In Figur 3 sind die massgebenden Bilanzierungsgrößen dargestellt.

Figur 3 Bilanzierung der Zu- und Abflüsse des Grundwasserkörpers im unteren Glattal

**Grundwasser-Zuflüsse ca.**

Q_{NS}	Niederschlagversickerung	14 000 m ³ /Tag
Q_{RZ}	Randzuflüsse	5 000 m ³ /Tag
Q_{INF}	Glatt-Infiltration	6 000–11 000 m ³ /Tag
Total		ca. 27 500 m ³ /Tag

Grundwasser-Abflüsse ca.

Q_{PW}	Entnahmen	5 500 m ³ /Tag
Q_{EXF}	Exfiltration in Glatt	1 000 m ³ /Tag

es resultiert:

Q_{OUT}	unterirdischer Wegfluss ca.	21 000 m ³ /Tag
-----------	-----------------------------	----------------------------

Grundwasser-Zufluss Q_{NS}

Die Grundwasserneubildung durch den versickernden Niederschlagsanteil wird durch die Niederschlagsmenge sowie die «Verluste» durch Evapotranspiration und oberflächlichen Abfluss bestimmt. Aufgrund der topographischen Verhältnisse und der Oberflächenbeschaffenheit dürfte die Netto-Sickerwassermenge rund 30% des Niederschlags ausmachen. Bei einer jährlichen Regenmenge von 1000–1100 mm versickern demzufolge etwa 300–330 l pro m². Über dem nutzbaren Grundwasserkommen mit einer Fläche von ca. 16,4 km² ist demzufolge mit einer Neubildung durch Niederschlag in der Grössenordnung von 14 000 m³/Tag auszugehen.

 Q_{RZ}

Die unterirdischen Randzuflüsse sind erfahrungsgemäss nur ungenau abschätzbar. Hinweise auf nennenswerte Randzuflüsse sind zwischen Hofstetten und Höri sowie im Raum Hochfelden - Bülach vorhanden. Berücksichtigt man die Randgebiete des Grundwasserkörpers mit geringer resp. fehlender Grundwassermächtigkeit sowie die unterirdischen Einzugsgebiete des Grundwasserkörpers, so kann der Randzufluss mit etwa 5 000 m³/Tag angegeben werden.

 Q_{INF}

Aufgrund von Abflussmessungen im Rahmen des Nationalen Forschungsprojekts (NFP 2) 1976 konnte die Infiltrationsleistung der Glatt zwischen Hochfelden und Glattfelden approximativ ermittelt werden. Es resultierte eine Infiltrationsmenge von 4 000 bis 9 000 m³/Tag. Für den oberen Abschnitt, zwischen Hofstetten und Hochfelden, ist aufgrund der dort vorherrschenden geologischen Randbedingungen

mit Sohle der Glatt in teils gering durchlässigen Schichten eine deutlich geringere Infiltration anzunehmen. Wir gehen in diesem Streckenabschnitt von einer Infiltrationsmenge von total rund 2 000 m³/Tag aus.

Gesamthaft dürfte die Infiltration aus der Glatt zwischen Hofstetten bis unterhalb Glattfelden demzufolge in der Grössenordnung von ca. 6 000–11 000 m³/Tag liegen.

Grundwasser-Abfluss Q_{PW}

Im Jahre 2012 ist in den vorhandenen Grund- resp. Trinkwasserfassungen eine Wassermenge von gesamthaft rund 2.2 Mio. m³ gefördert worden. Dies entspricht einer Durchschnittsentnahme von ca. 6 150 m³/Tag.

 Q_{EXF}

Übertritte von Grundwasser in die Glatt erfolgen nur unterhalb von Glattfelden. Die Exfiltrations-Verhältnisse sind im Detail nicht bekannt. Wir gehen davon aus, dass eine Grundwassermenge von schätzungsweise rund 1 000 m³/Tag in die Glatt übertritt.

Ausgehend von den oben genannten Zu- und Abflussmengen im Grundwasserkörper des unteren Glattales ergibt sich durch eine Differenzbetrachtung ein unterirdischer Grundwasserabfluss oberhalb der seitlichen Einmündung des Windlacher-Grundwasserstroms von ca. 21 000 m³/Tag.

3.7 ERGEBNISSE VON FRÜHEREN UNTERSUCHUNGEN IM UNTEREN GLATTAL

Aufgrund der hydrogeologischen Untersuchungen des AWEL (damals AGW) über das untere Glattal aus den 1970er Jahren richtete die Eawag im Gebiet Hundig oberhalb von Glattfelden ein Versuchsfeld ein. Mittels Bohrungen und eing Bohrter Piezometerrohre wurde dort die Infiltration der Glatt ins Grundwasser studiert. Das Interesse lag im Studium des Verhaltens und des Schicksals von organischen und anorganischen Stoffen im Nahbereich der Infiltration.

Während viele organischen Spurenstoffe im Flussbett und in den ersten Metern des Infiltrationsprozesses durch biogeochemisch medierte Sorptions- und biologische Abbau-Prozesse vom Transport ins Grundwasser zurückgehalten werden, erwiesen sich andere Stoffe wie z.B. aliphatische organische Verbindungen (z.B. Tetrachloräthylen [PER]) als ziemlich persistent und mobil. Zudem veränderten sich gewisse Stoffe als Folge der veränderten Redox-Bedingungen im Infiltrat. Mit «Durchläufern» wurde festgestellt, dass sich das frisch infiltrierte Wasser schlecht mit älterem darunter liegendem Grundwasser vermischt und über das ganze Jahr hinweg im oberen Teil des Grundwasserleiters verbleibt. Der untere Abschnitt des Grundwasserleiters wies keine abwaserbürtigen Schadstoffe auf.

Als Folge dieses Forschungsprojekts hat die EAWAG in diesem Versuchsfeld durch die Eawag eine Vielzahl an Schadstoff-Klassen untersucht, z.B. waschmittelbürtige Stoffe, Radionuklide (nach dem Chernobyl-Unfall von 1986), und perfluorierte Stoffe.

Im Verlauf dieser Untersuchungen wurde auch der Zwischenfall von 1983 mit Tritium verfolgt. Am 13. Dezember 1983 gelangten in Volketswil ca. $2 \cdot 10^{13}$ Bq Tritium in die Kläran-

lage und von dort in die Glatt. Infolge der Infiltration war anzunehmen, dass das Tritium auch ins Grundwasser und damit ins Trinkwasser gelangt. Tritiiertes Wasser ist eine geeignete Markiersubstanz (Tracer), weil es nicht durch Abbau eliminiert wird. Der Tracer wird wie gewöhnliches Wasser transportiert, weil er nicht durch Wechselwirkung mit Partikeln zurückgehalten wird.

Das im Wasser verfrachtete Tritium wurde von der Kläranlage durch die Glatt bis in den Rhein sowie über viele Monate hinweg im Grundwasser des unteren Glattals verfolgt [2][3]. Vom Ausfluss der Kläranlage bis nach Rheinsfelden benötigte das Tritium 8 bis 10 Stunden. Aus den Durchbruchkurven in den Grundwasserfassungen des unteren Glattals wurden mittlere Verweilzeiten aus der Glatt von 4.4 bis 15 Monaten festgestellt (Tabelle 5). Daraus ergeben sich Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers zwischen 1 und 4 m/Tag. Über die gesamte Zeit hindurch aufintegriert, wurden in den untersuchten Grundwasserfassungen etwa 0.5% des Tritiums wieder gefunden. Die Tritiummessungen lieferten prozentuale Anteile an Glatt-Infiltrat in den Grundwasserfassungen. Im Durchschnitt lag dieser Anteil bei $39 \pm 27\%$.

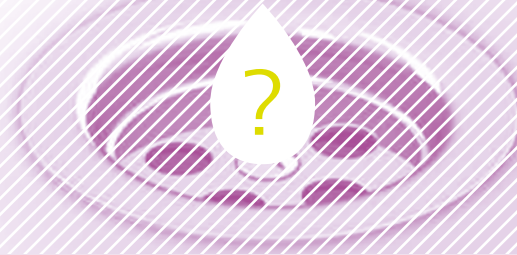
Die maximalen Tritium-Konzentrationen (Peak) beliefen sich auf 0.10 – 0.15 kBq/l für die Fassungen Hofstetten/Niederglatt, Sali/Höri, Herrenwiesen/Bülach, Hirslen/Bülach und Rüteli II/Glattfelden und 0.04 – 0.10 kBq/l für die übrigen untersuchten Fassungen (natürliche Basiskonzentration an Tritium im Wasser 3.7 – 7.4 Bq/l). Die Dosis an Radioaktivität für die betroffene Bevölkerung, welche aus diesen Tritium-Konzentrationen errechnet worden war, wurde durch die Behörden damals als vernachlässigbar klein befunden gegenüber der durch den natürlichen Strahlenpegel verursachten Dosis.

Tabelle 5 Hydrogeologische Daten zum Tritium-Durchbruch, Zwischenfall vom 13.12.1983 [3]

Grundwasserfassung	Mittlere Aufenthaltszeit [Tag]	Minimale Aufenthaltszeit [Tag]	%-Anteil «Glatt-Infiltrat» f ¹⁾	Tritiummenge in Fassung [Bq]	Fließdistanz zur Fassung [m]	Entnahmemenge Fassung [m ³ /Tg]
Hofstetten	278	25	10	$2 \cdot 10^9$	~350	354
Sali	461	170	80	$1.0 \cdot 10^{10}$	~1000	278
Hirslen II	240	40	50	$2 \cdot 10^9$	~200	799
Herrenwiesen	134	25	35	$3.9 \cdot 10^{10}$	450 (?)	2530
Rüteli II	158	25	20	$8.1 \cdot 10^9$	500	914

1) $f = [m/M / Q_e/Q_i]$ (M, Ausgelaufene Tritium-Menge: $\sim 2 \cdot 10^{13}$ Bq; Q_e , effektive gepumpte Grundwasser-Abflussmenge in der Messperiode; Q_i , Abfluss Glatt: ~ 8 m³/sec = ~ 700 000 m³/Tg)

4 UNTERSUCHUNGSPROGRAMM



Im Einzugsgebiet der Glatt wurden zwischen März 2012 und Januar 2013 in 4 Messkampagnen ARA-Ausläufe, Glatt- und Grundwasser beprobt und auf Mikroverunreinigungen untersucht.

4.1 ROUTINEUNTERSUCHUNGEN

In den Fachbereichen ARA, Oberflächengewässer und Grundwasser werden im Rahmen von Routineuntersuchungen laufend Probenahmen und Analysen durchgeführt. Die unten stehende Tabelle 6 zeigt den Umfang dieser Untersuchungen für das Jahr 2012/13.

4.2 PROBEHAHMESTELLEN UND METHODIK DER PROBEHAHME

Der Untersuchungsperimeter umfasst die im Einzugsgebiet der Glatt, vom Greifensee bis zur Mündung in den Rhein liegenden Abwasserreinigungsanlagen, die Glatt selbst sowie die mit der Glatt in Verbindung stehenden Grundwasservorkommen.

Die Beprobungen erfolgten an ARA-Ausläufen, in der Glatt sowie in Grundwasserfassungen (GWF) bzw. Kleinfilerrohren (KFR), bei denen aufgrund der hydrogeologischen Randbedingungen anzunehmen war, dass sie durch Glatt-Infiltrat beeinflusst sind. An folgenden Stellen sind im Rahmen der Studie Wasserproben zur Bestimmung von Mikroverunreinigungen entnommen worden (Standorte siehe Figur 4):

Tabelle 6 **Laufende Untersuchungen an ARA-Ausläufen, Glatt und Grundwasser**

	ARA	Glatt	Grundwasser
Bereits geplante Untersuchungen/ Aktivitäten im Glattal	Überwachung der ARA an der Glatt Projekt weitergehende Reinigung ARA Dübendorf 2013	Integrale umfassende Untersuchung des Einzugsgebietes Glatt/Greifensee 2012/13	Untersuchung ausgewählter GW-Pumpwerke (Naqua und Kt. ZH)
Probenahmen	Periodisch 24-h Mischproben zur Überwachung der ARA Messkampagnen im Rahmen des Projektes ARA Dübendorf	Monatliche Einzelproben und Wochenmischproben (MP) aus der Glatt	Einzelproben 1–4 mal jährlich für NAQUA und Kt. ZH
Untersuchungsparameter	Klassische Abwasserparameter und umfassende Untersuchungen im Rahmen des Projektes ARA Dübendorf	Siehe Untersuchungskonzept Oberflächengewässer	VOC Nitrat Pestizide Metaboliten Indikatorsubstanzen

Figur 4 Beprobungsstellen und Grundwasservorkommen im Glattal

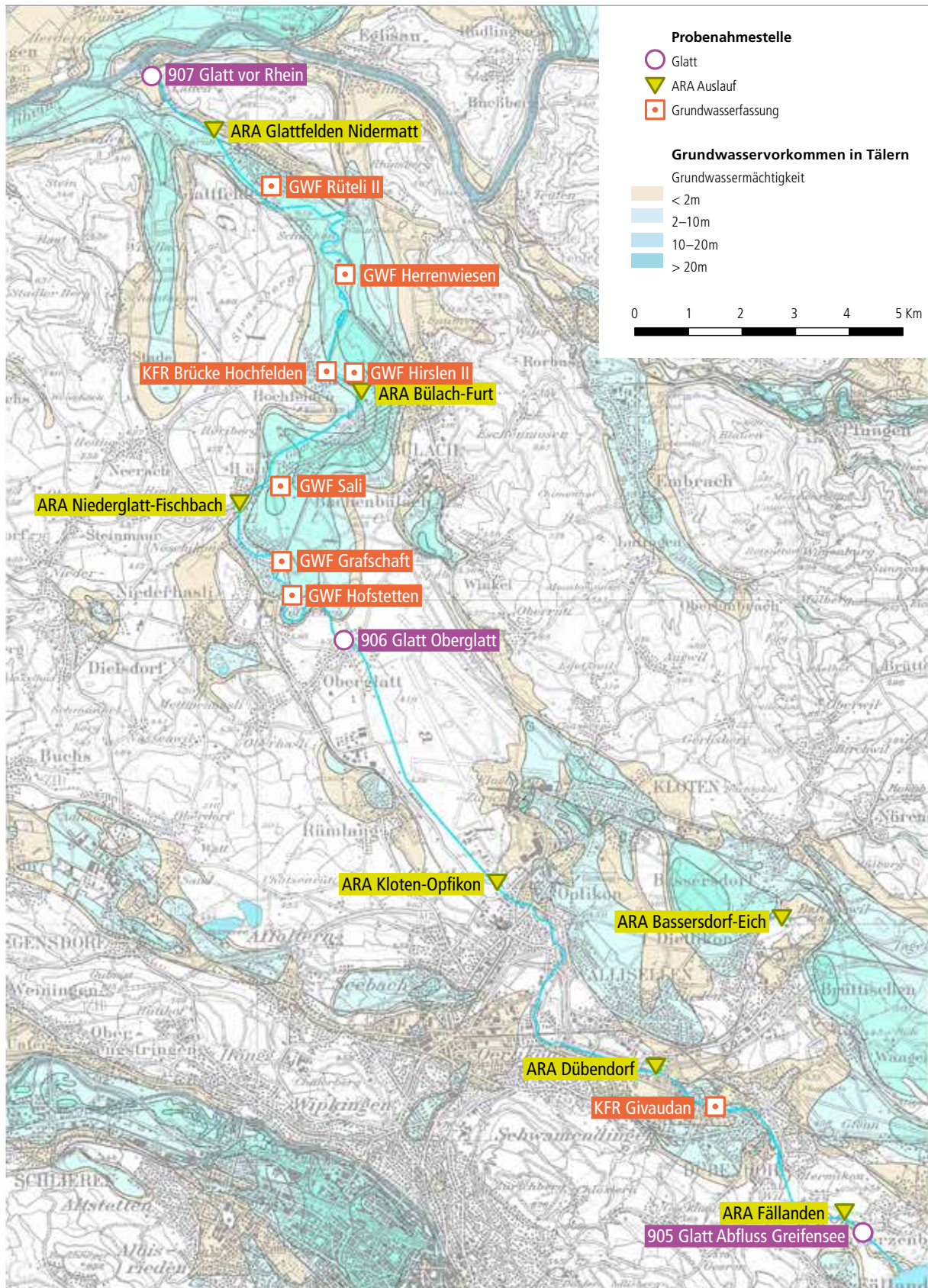


Tabelle 7 **Übersicht Beprobungsstellen****ARA Ausläufe**

- ARA Fällanden V5FM
- ARA Dübendorf
- ARA Bassersdorf
- ARA Kloten
- ARA Niederglatt
- ARA Bülach
- ARA Glattfelden

Abwasserreinigungsanlagen ARA

Bei den ARA wurden der Abfluss des Nachklärbeckens (NKB) bzw. des Filters beprobt.

Bei 4 ARA wurden die Abflussproben an 3 aufeinander folgenden Tagen entnommen um die Variabilität der Konzentrationen abschätzen zu können. Um die Reinigungsleistung für die untersuchten Mikroverunreinigungen zu beurteilen, wurden zusätzlich auch einzelne Zulaufproben und Ablauf Vorklärbecken (VKB) untersucht.

Glatt

- Glatt Abfluss Greifensee (Messstelle 905)
- Glatt bei Oberglatt (906)
- Glatt vor Rhein (907)

Glatt

Aus der Glatt wurden an 3 Stellen Wochenmischproben erhoben. Nur die unterste Probenahmestelle Glatt vor Rhein war mit Glasflaschen anstatt Kunststoffflaschen ausgerüstet. Aus diesem Grund erfolgte die Analyse der Pestizide nur in der Probe Glatt vor Rhein. Die Resultate der Wochenmischproben können mit den Messungen der Pestizide aus den monatlichen Stichproben des Fließgewässermonitorings verglichen werden.

Grundwasser

- KFR Givaudan Schweiz AG, Dübendorf
- GWF Hofstetten, Oberglatt
- GWF Grafschaft, Niederglatt
- GWF Sali, Höri*
- GWF Hirslen II, Bülach*
- KFR Glattbrücke, Hochfelden
- GWF Herrenwiesen, Bülach
- GWF Rüteli II, Glattfelden

* Beprobung ab 2. Quartal 2012

Grundwasser

Nach der 1. Messkampagne wurde die Anzahl der untersuchten Grundwasserfassungen von 6 auf 8 Stellen erhöht. Die Erhebung der Einzelproben erfolgte durch das Kantonale Labor Zürich und die Dr. von Moos AG.

Tabelle 8 **Häufigkeit und Methodik der Probenahme**

	ARA	Glatt	Grundwasser
Probenahmestellen (vgl. Figur 1)	7 ARA	3 Hauptmessstellen Glatt	8 GW-Fassungen
Probenahme	Quartalsweise 24 Std- Mischprobe (Routinemessung)	Quartalsweise Wochen-Mischproben aus der Glatt	Quartalsweise Einzelproben aus GW-Fassungen

Tabelle 9 **Durchgeführte Probenahmen und Analysen**

	ARA	Glatt	Grundwasser
1. Messkampagne: 19. – 25.03.2012 (Frühling)	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide
2. Messkampagne: 18. – 24.06.2012 (Sommer)	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe
3. Messkampagne: 24.9. – 02.10.2012 (Herbst)	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide
4. Messkampagne: 26.01. – 03.02.2013 (Winter)	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Glyphosat /AMPA Allgemeine Parameter Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe	Indikatorsubstanzen ARA Künstliche Süsstoffe Pestizide Allgemeine Parameter Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe

4.3 UNTERSUCHTE PARAMETER UND ANALYTIK

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden ARA-spezifische «Indikatorstoffe», künstliche Süsstoffe, Pestizide sowie an ausgewählten Proben zusätzlich auch Mikroverunreinigungen wie Arzneimittel, hormonaktive Stoffe und Röntgenkontrastmittel untersucht.

Indikatorsubstanzen ARA

Für die Beurteilung weitergehender Verfahren in der Abwasserreinigung wurden 5 Substanzen ausgewählt, welche in konventionellen Abwasserreinigungsanlagen nicht vollständig eliminiert werden und sich deshalb als Indikator für gereinigtes Abwasser eignen [4]. Die Bestimmung dieser Indikatorsubstanzen erfolgt im Gewässerschutzlabor mittels Flüssigchromatographie und gekoppelter Massenspektrometrie (LC-MS). Die Wasserproben werden über eine Online-Anreicherung aufkonzentriert und nach chromatographischer Auftrennung im Massenspektrometer detektiert. Neben den 5 Indikatorsubstanzen werden zusätzliche 11 ausgewählte Mikroverunreinigungen mit dieser Methode erfasst.

Künstliche Süsstoffe

Wegen ihrem weit verbreiteten Einsatz in Lebensmitteln und ihrer hohen Persistenz in der Umwelt eignen sich künstliche Süsstoffe sehr gut als Abwassertracer [5]. Die Analyse der künstlichen Süsstoffe Acesulfam, Cyclamat, Saccharin und Sucralose wird im Gewässerschutzlabor mittels Direktinjektion und Flüssigchromatographie mit gekoppelter hoch auflösender Massenspektrometrie LC-HRMS durchgeführt.

Pestizide

Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Pestizide bzw. deren Abbauprodukte kommen für die Analytik im Gewässerschutzlabor mehrere Verfahren zum Einsatz. Für die Probenaufbereitung wird Offline- und Online Festphasenanreicherung sowie Direktinjektion verwendet. Die Bestimmungen erfolgen mit Gaschromatographie bzw. Flüssigchromatographie und gekoppelter Massenspektrometrie (GC-MS/LC-MS). Die Glattproben wurden mit dem Untersuchungsprogramm für die Umweltbeobachtung von Fließgewässern analysiert. Die Bestimmung der Grundwasserproben erfolgte nach dem Untersuchungsprogramm für Grundwasserproben, welches zusätzliche wichtige grundwassergängige Abbauprodukte beinhaltet.

Glyphosat/AMPA

Das Herbizid Glyphosat ist mengenmässig das wichtigste Pflanzenschutzmittel in der Schweiz. Die Bestimmung von Glyphosat und dem Abbauprodukt AMPA erfordert eine aufwändige Spezialanalytik, welche von Agroscope Wädenswil durchgeführt wurde. Die Methode basiert auf der Derivatisierung mit FMOC und anschliessender LC-MS Analytik.

Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe

Das Technologiezentrum Wasser TZW Karlsruhe untersuchte die Wasserproben der 2. Messkampagne auf Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe. Insgesamt wurden Untersuchungsprogramme für 5 Gruppen von Arzneimitteln und eines für hormonell wirksame Stoffe in Auftrag gegeben. Zur Bestätigung der ersten Resultate wurden die Glattproben und die Grundwasserproben der 4. Messkampagne erneut auf hormonell wirksame Stoffe und Röntgenkontrastmittel untersucht.

Allgemeine chemisch-physikalische Parameter

Die Untersuchung auf die allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter erfolgte nach den «Standardmethoden» des Gewässerschutzlabors des Kantons Zürich für das Fließgewässer-Monitoring. Die zusätzlichen Untersuchungen der Wasserhärte wurden durch das Institut Bachema AG durchgeführt.

Tabelle 10 **Untersuchte Indikatorsubstanzen ARA**

Indikatorsubstanz	Stoffgruppe
Benzotriazol	Korrosionsinhibitor
Carbamazepin	Antiepileptika
Diclofenac	Analgetika
Mecoprop	Herbizid
Sulfamethoxazol	Antibiotika
ergänzende Substanzen	Stoffgruppe
Acetylsulfamethoxazol	Abbauprodukt Sulfamethoxazol
Atrazin	Herbizid
Carbendazim	Fungizid, Biozid
Clarithromycin	Antibiotika
Desethylatrazin	Abbauprodukt Atrazin
Diazinon	Insektizid
Diuron	Herbizid, Biozid
Isoproturon	Herbizid, Biozid
Methylbenzotriazol	Korrosionsinhibitor(Benzotriazol)
Metolachlor	Herbizid
Simazin	Herbizid



5 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGSKAMPAGNE 2012/13

Mikroverunreinigungen waren in den ARA-Abläufen, in der Glatt sowie teils auch im Grundwasser nachweisbar. In der Glatt beträgt der prozentuale Anteil von gereinigten ARA-Abwässern gestützt auf die Konzentrationsverteilung der Indikatorsubstanzen und des künstlichen Süsstoffes Acesulfam zwischen 10% und maximal 30%. Einzelne Mikroverunreinigungen liegen in deutlich erhöhten, für die aquatische Umwelt kritischen Konzentrationen vor. Im Grundwasser konnten trotz eines vergleichsweise hohen Anteils an Wasser aus der Glatt von rund 50–65% neben Acesulfam nur noch einzelne Mikroverunreinigungen in Spurenkonzentrationen nachgewiesen werden.

5.1 INDIKATORSUBSTANZEN

ARA-Abflüsse

In den ARA-Abflüssen konnten erwartungsgemäss alle Indikatorsubstanzen nachgewiesen werden. Dabei zeigten die gemessenen Konzentrationen zwischen den einzelnen Beprobungskampagnen geringe Unterschiede. In den Grafiken der Figur 5 sind die Messwerte der Indikatorsubstanzen in den Abflüssen der ARA Fällanden, Dübendorf, Kloten und Bülach dargestellt.

Im Abfluss der ARA Fällanden werden im Vergleich mit den anderen Kläranlagen die höchsten Benzotriazol-Konzentrationen gemessen. Diese schwanken zwischen 6 und 15 µg/l. Die Abflüsse der ARA Kloten und ARA Bülach weisen demgegenüber Gehalte zwischen 4 und 8 µg/l auf. Im Abfluss der ARA Dübendorf liegt Benzotriazol in einer Konzentration von 3–4 µg/l vor.

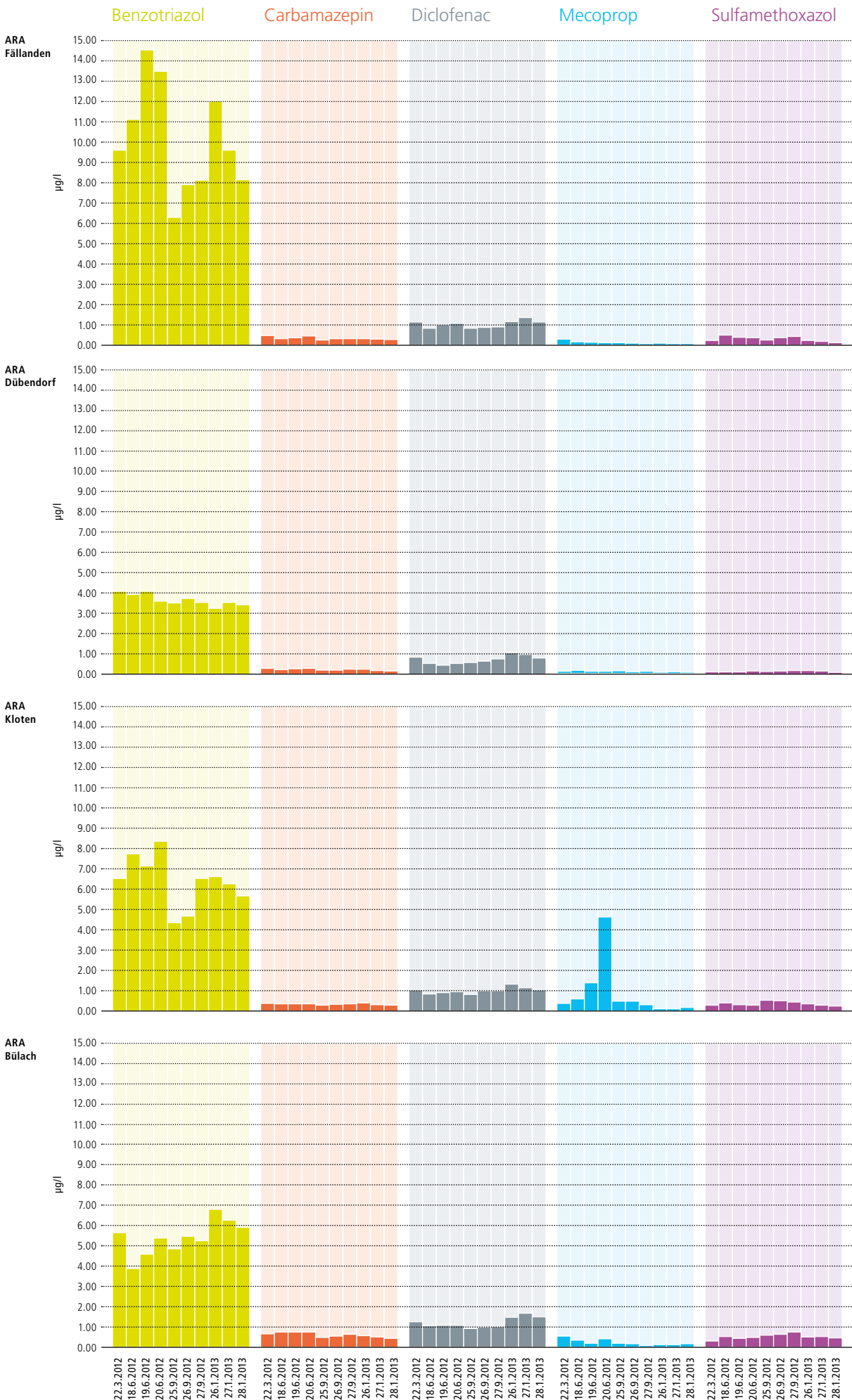
Der Wirkstoff Carbamazepin ist in allen ARA-Abflüssen nachweisbar. Die gemessenen Konzentrationen zeigen nur geringe Schwankungen und liegen zumeist unter 1 µg/l. Einzig bei der Beprobung vom Januar 2013 lag im Abfluss der ARA Niederglatt eine deutlich erhöhte Carbamazepin-Konzentration von 1.5 µg/l vor. Über alle Messkampagnen betrachtet, weisen die ARA Bülach und die ARA Glattfelden im Vergleich etwas höhere Carbamazepin-Konzentrationen auf.

Auch das entzündungshemmende Arzneimittel Diclofenac tritt in allen ARA-Abflüssen in vergleichbarer Konzentration auf. Die Gehalte liegen in der Regel knapp unter 1 µg/l.

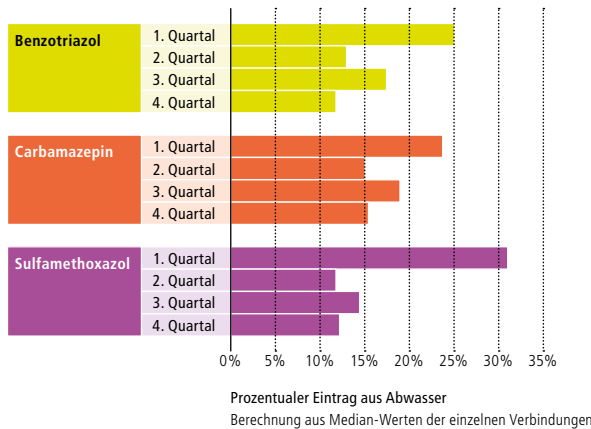
Das Pflanzenschutzmittel Mecoprop tritt in den ARA-Abflüssen meist in Konzentrationen von 0.1–0.5 µg/l auf. Auffallend sind die deutlich erhöhten Konzentrationen im Abfluss der ARA Kloten während der Beprobung im Juni 2012. Die Mecoprop-Konzentration erreichte dort einen Wert von 4.6 µg/l.

Das Antibiotikum Sulfamethoxazol ist im Abfluss der ARA Dübendorf in Konzentrationen von 0.1–0.2 µg/l messbar. Die Abflüsse der ARA Fällanden und Kloten weisen demgegenüber etwas höhere Konzentrationswerte auf. Diese liegen dort zwischen 0.2 und 0.5 µg/l. Im Abfluss der ARA Bülach schwanken die Sulfamethoxazol-Gehalte zwischen 0.4 und 0.6 µg/l.

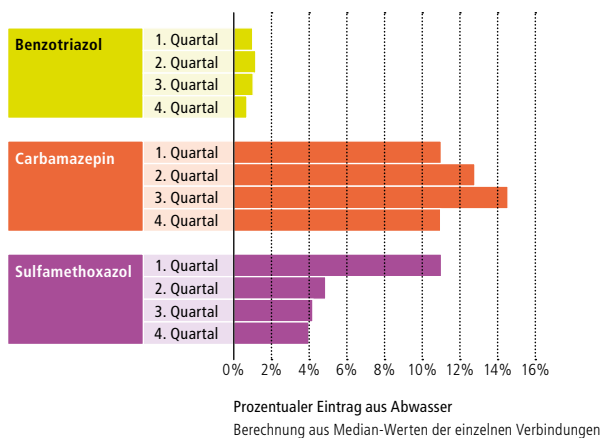
Figur 5 Indikatorsubstanzen im ARA-Abfluss



Figur 6 **Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in die Glatt bzgl. der Indikatorsubstanzen Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol**



Figur 7 **Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in das Grundwasser bzgl. der Indikatorsubstanzen Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol**



Glatt

In der Glatt sind die abwasserbürtigen Indikatorsubstanzen entsprechend ihrer Verdünnung in deutlich niedrigeren Konzentrationen nachweisbar.

Aus der in der Glatt gemessenen Konzentration der Substanzen Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol können die prozentualen Anteile von gereinigtem Abwasser näherungsweise abgeschätzt werden. Für die genannten Substanzen ergeben sich aus den Mittelwertbetrachtungen der Probenahmestellen Glatt Oberglatt und Glatt Rheinsfelden die in Figur 6 dargestellten Mischungsanteile.

Die Beprobung im 1. Quartal bzw. im März 2012 zeigt – entsprechend dem Niedrigabfluss der Glatt zum Zeitpunkt der Probenahme – erwartungsgemäss die höchsten Abwasseranteile. Die Werte liegen zwischen knapp 25 und rund 30%. Für die übrigen Beprobungskampagnen resultiert bei einem durchschnittlichen bis leicht erhöhten Glatt-Abfluss ein prozentualer Anteil von ARA-Abwasser in der Grössenordnung von ca. 12 bis 19%. Die Resultate deuten auch darauf hin, dass die Indikatorstoffe in der Glatt nicht oder nur gering abgebaut werden.

Grundwasser

Von den in ARA-Ausläufen und in der Glatt nachgewiesenen Indikatorstoffen sind die folgenden Substanzen auch im Grundwasser in messbaren Konzentrationen vorhanden:

- Benzotriazol / Methylbenzotriazol
- Carbamazepin
- Sulfamethoxazol

Die genannten Substanzen liegen allerdings durchwegs in Konzentrationen von meist deutlich $<0.1 \mu\text{g/l}$ vor. Diclofenac und Mecoprop sind im Grundwasser hingegen nicht mehr nachweisbar.

Ein Vergleich der im Grundwasser gemessenen Konzentrationen mit denjenigen der ARA-Abflüsse führt zu stark unterschiedlichen Ergebnissen (Figur 7). Die Abschätzungen ergeben für Carbamazepin relativ hohe prozentuale und nur wenig schwankende Anteile aus gereinigtem Abwasser in der Grössenordnung von 10–15%. Für Sulfamethoxazol ergibt sich für die Beprobung 1. Quartal (Januar 2012), bei Niedrigabfluss, ein ähnlich hoher Anteil von 11%. Bei den weiteren Beprobungen resultiert dann aber ein deutlich geringerer Anteil von 4–5%. Bei Benzotriazol ergeben sich schliesslich nur geringe Anteile von rund 1%. Dieser Stoff verhält sich demzufolge beim Infiltrationsvorgang und beim Transport im Untergrund nicht konservativ und dürfte durch Adsorption am Korngerüst zurückgehalten sowie durch Umwandlungsprozesse abgebaut werden (mündliche Mitteilung von Frau Dr. Ch. McArdell, Eawag, Juni 2013; siehe auch [6][7])

5.2 KÜNSTLICHE SÜSSSTOFFE

ARA-Abflüsse

Von den gemessenen Süsstoffen konnten in den ARA-Ausläufen die Stoffe Acesulfam und Sucralose in praktisch allen Wasserproben nachgewiesen werden. Acesulfam lag dabei in deutlich höherer, teilweise allerdings stark schwankender Konzentration von 10–50 µg/l vor. Die Sucralose-Gehalte bewegten sich um Werte von rund 5 µg/l. Die Gehalte an Cyclamat und Sacharin waren im ARA-Abfluss durchwegs vergleichsweise gering (< 1 µg/l) und lagen teilweise sogar unter der Bestimmungsgrenze.

Glatt

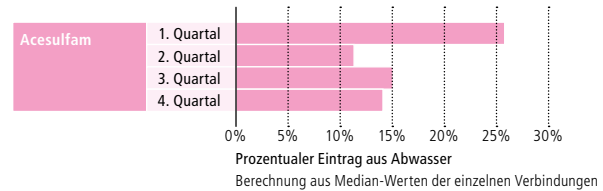
In der Glatt konnten Acesulfam-Konzentrationen zwischen minimal 2.5 und maximal 9.2 µg/l gemessen werden (vgl. Figur 9 und 10). Hohe Konzentrationen waren bei Niedrigabfluss im mittleren und unteren Abschnitt der Glatt zu beobachten, wohingegen der Auslauf beim Greifensee auch bei geringer Abflussmenge nur leicht erhöhte Acesulfam-Gehalte aufwies. Sucralose war jeweils noch knapp nachweisbar. Die übrigen Süsstoffe liegen in der Glatt in Konzentrationen unter der Bestimmungsgrenze vor. Die Acesulfam-Gehalte in der Glatt bei Oberglatt und Rheinsfelden erlauben eine grobe Abschätzung des prozentualen Anteils ARA-Abwasser zum Zeitpunkt der Probenahme. Eine Auswertung für die Messungen im 1. Quartal 2012 ergibt – bei geringem Glatt-Abfluss und entsprechend geringer Verdünnung – einen hohen Anteil von 25%. Für die Beprobung im 2.–4. Quartal resultieren Anteile von gereinigtem Abwasser in der Glatt von 12 bis 15% (Figur 8).

Bei der Beprobungsstelle Abfluss Greifensee in Schwerzenbach zeigte die Glatt in den vier untersuchten «Wochen-Mischproben» Acesulfam-Gehalte zwischen 2.5 und 3.5 µg/l. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Glatt-Abflussmenge beträgt die resultierende Acesulfam-Fracht zwischen minimal 4 und maximal knapp 18 kg/5 Tage (Figur 9). Bereits beim Auslauf aus dem Greifensee, noch vor der Einleitung der gereinigten Abwässer aus der ARA Fällanden, ist das Glattwasser demzufolge bereits recht deutlich mit Acesulfam belastet.

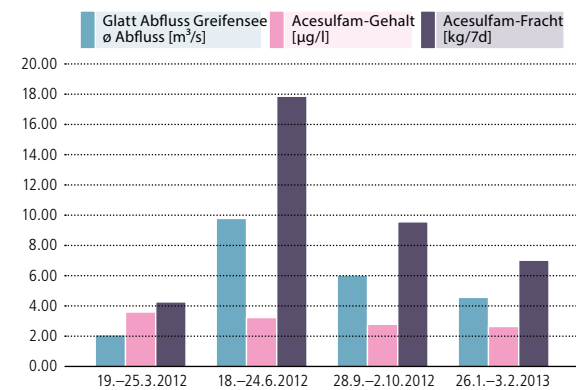
Am unteren Ende bei Rheinsfelden, vor der Mündung in den Rhein, sind in der Glatt Acesulfam-Konzentrationen zwischen minimal 3.6 und maximal 8.8 µg/l gemessen worden. Zusammen mit der rund doppelt so hohen Abflussmenge resultieren Acesulfam-Frachten zwischen 18 und 35 kg / 5 Tage (Figur 10).

Gestützt auf die im ARA-Abfluss gemessenen Acesulfam-Konzentrationen und den Angaben zur durchschnittlichen Abflussmenge (Tabelle 10) kann die über die ARA gesamthaft in die Glatt eingeleitete Acesulfam-Fracht mit durchschnittlich ca. 20 kg / 5 Tage angegeben werden. Trotz der vergleichsweise grossen Variabilität einzelner Parameter

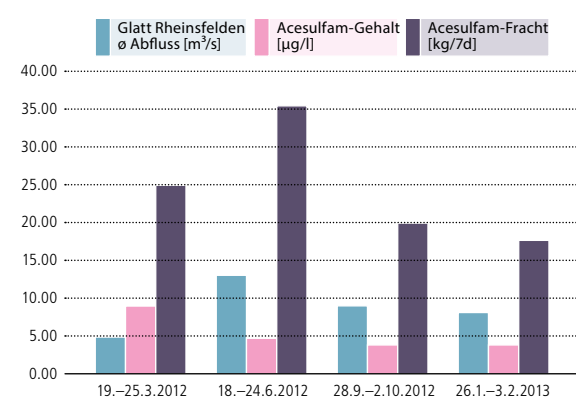
Figur 8 Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in die Glatt bzgl. dem künstlichen Süsstoff Acesulfam



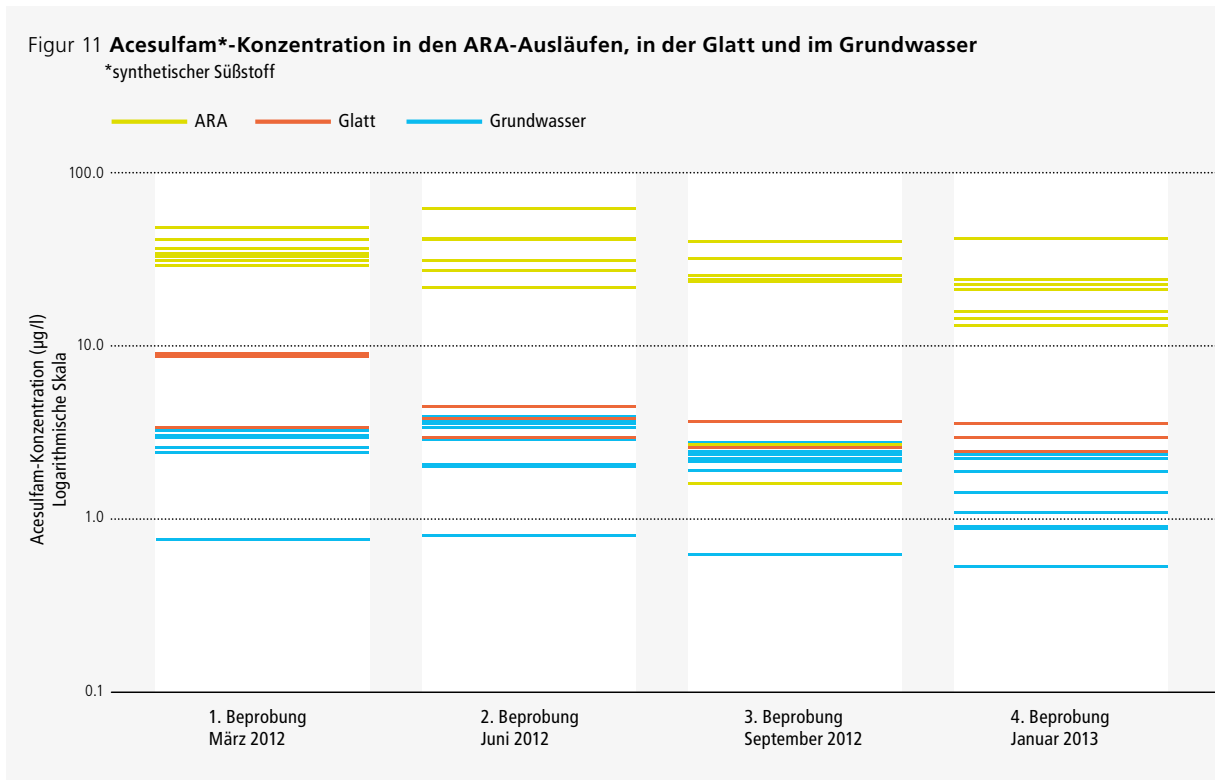
Figur 9 Glatt-Abfluss und Acesulfam-Gehalt und -Fracht bei Schwerzenbach (Abfluss Greifensee)



Figur 10 Glatt-Abfluss und Acesulfam-Gehalt und -Fracht bei Rheinsfelden (Mündung in den Rhein)



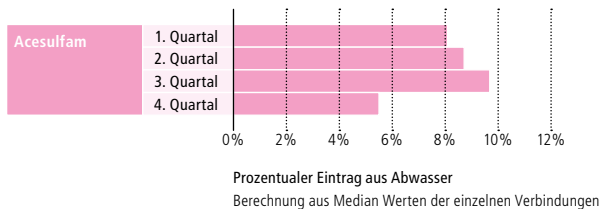
passt dieser Wert recht gut mit obiger Frachtabschätzung zusammen und zeigt, dass die Zunahme der Acesulfam-Fracht in der Glatt zwischen Greifensee und dem Rhein praktisch ausschliesslich auf die Einleitung von gereinigtem Abwasser der 9 ARA zurückzuführen sein dürfte.



Grundwasser

In den untersuchten Grundwasserproben schwankten die Acesulfam-Gehalte zwischen minimal 0.5 und maximal 4.0 µg/l. In einigen Fassungen waren die Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Beprobungen vergleichsweise ausgeprägt, so z.B. in den Fassungen Hofstetten / Oberglatt, Grafenschaft / Niederglatt und Herrenwiesen / Bülach, andere wiederum zeigten nur geringe Konzentrationsunterschiede, wie z.B. die Pumpwerke Sali / Höri oder Hirslen II / Bülach. Die Grafik in Figur 11 verdeutlicht die im Vergleich zur Glatt recht hohen Acesulfam-Konzentrationen im Grundwasser. Eine Mittelwertbetrachtung der in den ARA-Ausläufen und im Grundwasser gemessenen Acesulfam-Konzentration führt zu den in Figur 12 für die einzelnen Beprobungen dargestellten prozentualen Einträgen von gereinigtem ARA-Abwasser ins Grundwasser. Demzufolge liegt dieser Anteil zwischen rund 6 und 10 %.

Figur 12 Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in das Grundwasser bzgl. dem künstlichen Süßstoff Acesulfam



5.3 PESTIZIDE UND DEREN METABOLITEN

Pestizide und deren Metaboliten stehen nicht im Fokus der vorliegenden Untersuchungen und werden in separaten aufwändigen Messprogrammen im Rahmen der Umweltbeobachtung der Gewässer erfasst. Im Rahmen dieser Pestiziduntersuchungen wurde 2012/13 auch die Glatt und deren Einzugsgebiet umfassend auf Pestizide untersucht. Im vorliegenden Projekt wurde Mecoprop als Vertreter der

Pestizide in der Palette der Indikatorsubstanzen mit gemessen. Das Herbizid Mecoprop ist häufig in Fließgewässern in Konzentrationen > 0.1 µg/l nachweisbar und wird neben den Direkteinträgen zu einem grossen Teil auch über die ARA in die Oberflächengewässer eingetragen. Neben den Indikatorsubstanzen wurden einzelne Proben aus der Glatt und sämtliche Grundwasserproben auf weitere 58 Pestizide und ausgewählte Metaboliten untersucht. Die Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die Erkenntnisse der bisherigen umfassenderen Pestiziduntersuchungen [8][9][10].

ARA-Abflüsse

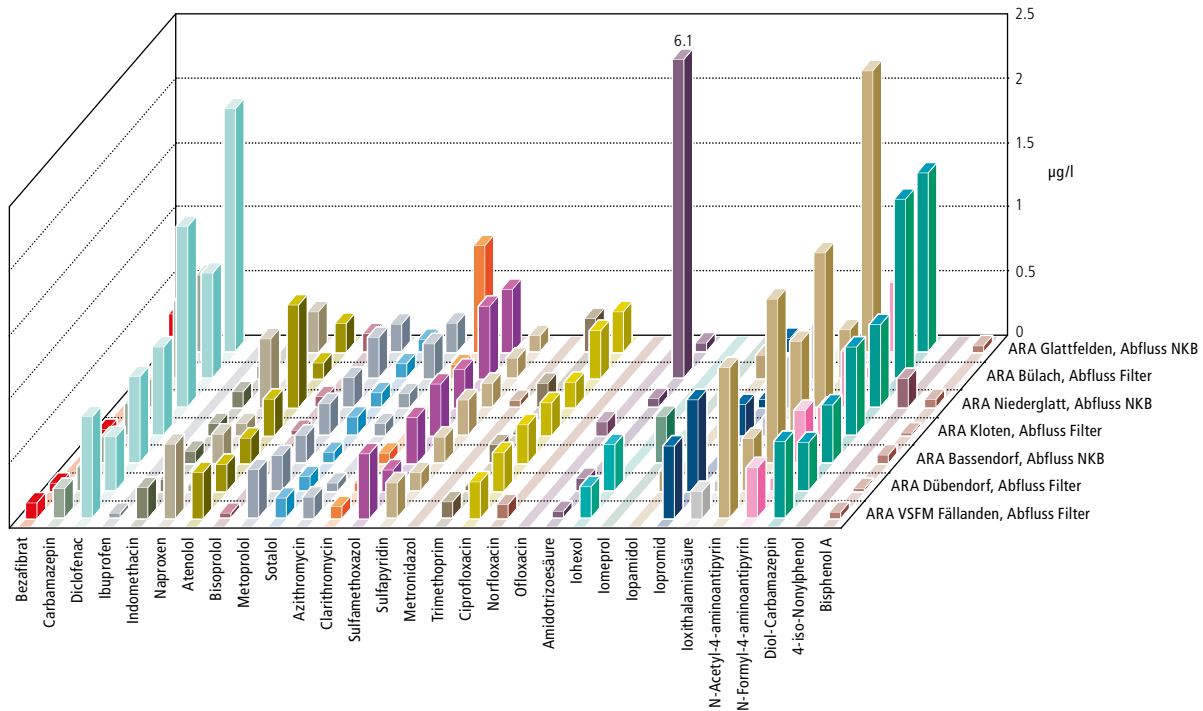
Wie am Beispiel Mecoprop aufgezeigt werden kann, gelangt ein beachtlicher Teil einzelner Pestizide aus deren Anwendung als Pflanzenschutzmittel und Biozidprodukte über die ARA in die Glatt. Entsprechend dem Eintragspfad unterliegen diese Einträge grösseren Schwankungen und Belastungsspitzen, wie sie im Juni im Ablauf der ARA Kloten mit 4.6 µg/l Mecoprop auch festgestellt wurden. Die erweiterte Untersuchung der ARA-Proben der 2. Messkampagne auf Pestizidwirkstoffe bestätigt diesen Befund. So war im Abfluss der ARA Glattfelden eine Diazinon-Konzentration von 6.4 µg/l feststellbar. Weitere Pestizide, die im Ablauf der ARA in Konzentrationen über 0.5 µg/l nachgewiesen wurden, sind DEET, Irgarol, Isoproturon, Penconazol und Pirimicarb.

Glatt

Die Ergebnisse des vorliegenden Projekts bestätigen, dass Mecoprop von allen untersuchten Pestiziden am häufigsten in der Glatt nachgewiesen wird. Die höchste Konzentration von Mecoprop wurde mit 0.2 µg/l in der Messkampagne im Juni 2012 gemessen. Neben Mecoprop lag auch die DEET Kon-

Figur 13 **Arzneimittelrückstände, hormonell wirksame und andere Substanzen in den ARA Abflüssen: Ergebnisse der Messkampagne im 2. Quartal 2012**

Leerstellen = Konzentrationen unter der Nachweisgrenze



zentration bei einer Messkampagne knapp über 0.1 µg/l. Die Konzentrationen der weiteren nachgewiesenen Pestizide lagen unter 0.1 µg/l.

Grundwasser

Erwartungsgemäss sind in den untersuchten Grundwasserproben keine erhöhten Gehalte an Pestizidwirkstoffen nachweisbar. In sämtlichen Grundwasserproben werden die massgeblichen Anforderungen der GSchV von 0.1 µg/l für einzelne Pestizide eingehalten. Wie in anderen Grundwasseruntersuchungen festgestellt [11], sind auch im Grundwasser des Glattals jedoch einzelne Metaboliten von Pestiziden in leicht erhöhten Konzentrationen von > 0.1 µg/l nachweisbar. So lagen die Konzentrationen von Desphenylchloridazon (Metabolit des Herbizides Chloridazon) bei bis zu 0.26 µg/l und von Metolachlor ESA (Metabolit von Herbizid Metolachlor) bei bis zu 0.19 µg/l. Im Vergleich zu Grundwasserpumpwerken in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten (Zuckerrübenanbau), in denen die Grundwasserbelastung von Metaboliten deutlich über 1 µg/l liegen kann, sind die Metabolitenkonzentrationen im Grundwasser der Glatt als nur leicht erhöht zu bewerten.

5.4 ARZNEIMITTLRÜCKSTÄNDE, RÖNTGENKONTRASTMITTEL UND HORMONELL WIRKSAME SUBSTANZEN

ARA-Abflüsse

Im Rahmen der 2. Untersuchungskampagne sind ergänzende Untersuchungen auf 90 Substanzen (Arzneimittel, endokrine resp. hormonell wirksame Substanzen und Röntgenkontrastmittel) durchgeführt worden. Von den untersuchten Einzel-

stoffen wurden 30 in mindestens einer der 7 beprobten ARA nachgewiesen (siehe Figur 13).

Folgende Stoffe konnten in mindestens 6 von 7 Abflüssen nachgewiesen werden: Carbamazepin, Diclofenac, Indomethacin, Naproxen, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Sulfamethoxazol, Sulfapyridin, Trimethoprim, Ciprofloxacin, Iopromid, N-Acetyl-4-aminoantipyrin, N-Formyl-4-aminoantipyrin, Diol-Carbamazepin und Bisphenol A.

Durchwegs im Bereich von >0.05 µg/l lagen die Konzentrationen der Indikatorstoffe Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol, von Röntgenkontrastmitteln, aber auch von Antipyrenen.

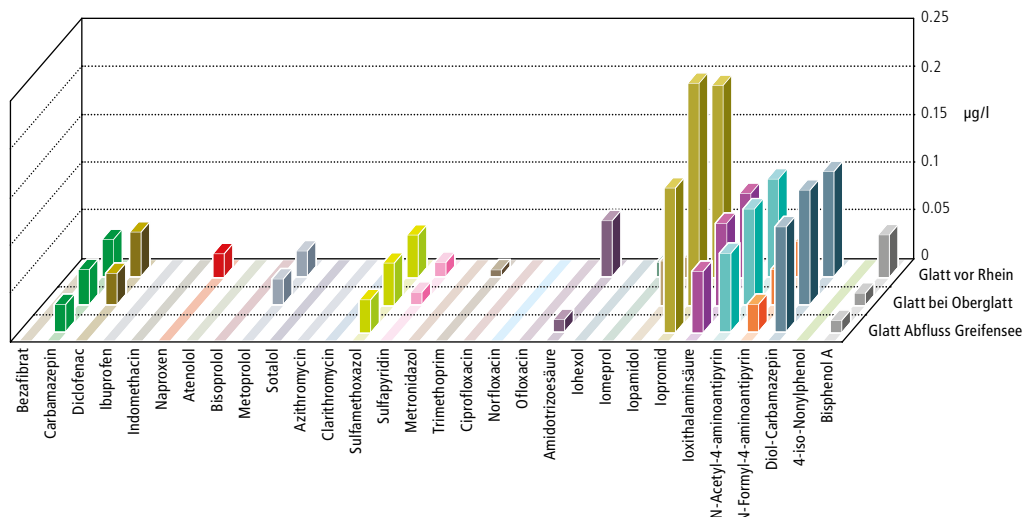
Glatt

Von den im 2. Quartal zusätzlich untersuchten 90 Einzelstoffen wurden gegenüber den Proben aus den ARA im Wesentlichen nur noch die erwähnten Indikatorstoffe, Röntgenkontrastmittel, Aminoantipyrine und Metoprolol an mind. zwei Messstellen in Konzentrationen von über ca. 0.02 µg/l angetroffen (siehe Figur 14). Werte über 0.1 µg/l wurden nur für Iopromid und 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin (Metabolit von Carbamazepin) festgestellt.

Im 4. Quartal wurden nur noch 8 ausgewählte Röntgenkontrastmittel und 11 hormonaktive Stoffe gemessen. Von den Röntgenkontrastmitteln wurden 6 in mindestens einer der Messstellen angetroffen, allerdings z.T. in Konzentrationen deutlich unter 0.05 µg/l. Werte über 0.1 µg/l wurden nur für Iopromid, Iohexol, Ioxithalaminsäure festgestellt. Von den hormonaktiven Stoffen wurde nur Bisphenol A in Konzentrationen von 0.02 bis 0.07 µg/l nachgewiesen (Figur 15).

Figur 14 **Arzneimittelrückstände, hormonell wirksame und andere Substanzen in der Glatt: Ergebnisse der Messkampagne im 2. Quartal 2012**

Flächen ohne Volumen = Konzentrationen unter der Nachweisgrenze



Grundwasser

Von den in den ARA und in der Glatt vorgefundenen Arzneimitteln, hormonaktiven Stoffen und Röntgenkontrastmitteln wurden nur mehr wenige auch im Grundwasser der 8 Grundwasserfassungen vorgefunden (Tabelle 11, Figur 16). Es handelt sich um die beiden Vertreter der «Indikatorstoffe» Carbamazepin und Sulfamethoxazol (siehe Kap. 5.1).

Die Fassung Givaudan als Brauchwasserfassung eines Betriebs der chemischen Industrie und mitten in Dübendorf gelegen, nimmt eine Sonderstellung ein und ist nur bedingt repräsentativ für die vorliegende Untersuchung. Hier konnten sechs der untersuchten Stoffe nachgewiesen werden.

In der Fassung Niederglatt konnten demgegenüber nur vier, und in den übrigen Fassungen im unteren Glattal höchstens drei Stoffe nachgewiesen werden. Als einziger Stoff erreichte

das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure Werte über 0.1 µg/l, und zwar in den Pumpwerken Herrenwiesen/Bülach und Rüteli II/Glattfelden grundwasserstromabwärts von Bülach. In den beiden Fassungen Hirslen II/Bülach und Sali/Höri wurde kein Sulfamethoxazol und in letzterer auch keine Amidotrizoesäure festgestellt.

Von den untersuchten hormonaktiven Stoffen konnte nur Bisphenol A in der Brauchwasserfassung Givaudan im Spurenbereich nachgewiesen werden. Der Befund von Bisphenol A im untersten Spurenbereich in der Grundwasserfassung Sali Höri wurde bei der Beprobung in der 4. Messkampagne nicht bestätigt (Figur 17). Auch die weiteren untersuchten Steroidhormone und Xeno-Östrogene wurden in keiner Grundwasserprobe nachgewiesen.

Tabelle 11 **In Grundwasserproben der 2. Messkampagne nachgewiesene Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel und hormonaktive Stoffe (µg/l)**

Messstelle	Givaudan Nord, Dübendorf	GWF Hofstetten, Oberglatt	GWF Grafschaft, Niederglatt	Glattbrücke, Hochfelden	GWF Herrenwiesen, Bülach	GWF Rüteli II, Glattfelden	GWF Sali, Höri	GWF Hirslen 2, Bülach
Carbamazepin	0.036	0.037	0.036	<0.01	0.04	0.032	0.017	0.024
Sulfamethoxazol	0.034	0.029	0.021	<0.01	0.016	0.022	<0.01	<0.01
Amidotrizoesäure	0.021	0.018	0.027	0.012	0.13	0.13	<0.01	0.046
Iopamidol	0.026	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Diol-Carbamazepin	0.074	<0.01	0.024	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bisphenol A	0.0096	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.0064	<0.005

5.5 ALLGEMEINE CHEMISCH-PHYSIKALISCHE PARAMETER

Im Rahmen der Beprobung im 4. Quartal (Januar 2013) sind zusätzlich die allgemeinen chemischen Parameter in der Glatt und im Grundwasser untersucht worden. Diese Untersuchungen zeigten folgende Ergebnisse:

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit nahm in der Glatt von 506 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Glatt Abfluss Greifensee) auf 606 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Rheinsfelden) zu. Die Leitfähigkeitswerte in der Glatt sind erwartungsgemäss etwas tiefer als im Grundwasser (ca. 600–730 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Die Karbonathärten lagen mit Werten zwischen 20.6 und 23.0 °fH ebenfalls etwas tiefer als jene im Grundwasser (25.2–34.8 °fH). Vergleichsweise niedrige Karbonathärten liegen in den Fassungen Givaudan und Herrenwiesen vor. Erniedrigte Karbonathärten sind ein Hinweis auf eine nennenswerte Infiltration von Glattwasser ins Grundwasser in nicht allzu grosser Entfernung von den Brunnen.

Die Werte der übrigen untersuchten Messgrössen waren unauffällig und einander ähnlich. Der DOC nimmt erwartungsgemäss im Grundwasser gegenüber jenem der Glatt stark ab. Einzig in den Fassungen Givaudan und Hirslen sind die Konzentrationen erhöht, was aber kaum auf den Einfluss von Flusswasserinfiltrat zurückgeführt werden kann.

5.6 EIGNUNG DER UNTERSUCHTEN SPURENSTOFFE ALS TRACER FÜR GEREINIGTES ARA-ABWASSER IN DER GLATT UND IM GRUNDWASSER

Die AWEL-Untersuchung zeigt, dass vor allem die Stoffe Benzotriazol, Carbamazepin, Sulfamethoxazol und Acesulfam bis ins Grundwasser durchbrechen. Im Hinblick auf Frachtab-schätzungen und Wasserbilanzen im Grundwasser stellt sich die Frage, welcher dieser Stoffe sich am besten eignet als Tracer für die Infiltration von Flusswasser, das mit Abwasser aus ARA belastet ist. Hierfür wird auf die Figuren 6–8 und Figur 12 verwiesen. Die senkrechte Achse dieser Figuren zeigt den «prozentualen Anteil (der gemessenen Konzentrationen) aus Abwasser». Für die vorliegende Fragestellung wurden die prozentualen Anteile der Stoffe zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in ein Verhältnis zueinander gesetzt. Dabei wurden die vier Quartals-Messwerte zu einem Durchschnittswert für das ganze Jahr zusammengefasst.

Als Tracer für die Infiltration von Flusswasser, das mit Abwasser aus ARA belastet ist, eignet sich jene der untersuchten Substanzen am besten, die das höchste Verhältnis der gemessenen Konzentrationen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser aufweist. Bei den übrigen Stoffen nehmen

die Konzentrationen im Flussbett und im Untergrund gegenüber dem «Spitzenreiter» ab, z.B. infolge von Abbau und/oder mikrobiell mediierter Sorption (Anlagerung) an feste Oberflächen (organisches Material, Tonminerale, Eisen- und Mangan-Oxide/Hydroxide). Gesucht ist grundsätzlich ein «konservativer» Tracer, nämlich ein Stoff, der sich im Untergrund nicht verändert. Mit dem Tritium aus dem Zwischenfall von 1983 wurde ein solcher Tracer identifiziert.

Aus der Untersuchung des Tritium-Unfalls von 1983 ist bekannt, dass die Verweilzeiten des Tritiums im Untergrund von der Glatt bis zum Eintreffen in den untersuchten Grundwasserfassungen zwischen wenigen Wochen und einigen Monaten betragen, mit mittleren Aufenthaltszeiten zwischen 25 und 170 Tagen. Für Untersuchungen zur Infiltration von Glattwasser ins Grundwasser können deshalb die Konzentrationen der vier Quartalswerte zusammengefasst werden, weil sich die Perioden der Gültigkeit der Messwerte überlagern.

Aus den Konzentrationen der zu Diskussion stehenden Spurenstoffe in der Glatt und im Grundwasser können die Infiltratanteile im Grundwasser abgeschätzt werden (Figur 8 und 12, Tabelle 12).

In Tabelle 12 sind diese Verhältniszahlen als Mittelwerte mit Standardabweichung der 4 Quartalswerte zusammengestellt, « $x \pm s$ ». Die höchsten Werte dürften am ehesten den tatsächlichen Infiltratanteil repräsentieren, während tiefere Werte auf eine gewisse Elimination des Stoffs zwischen ARA und Grundwasser hinweisen.

Gemäss obiger Auswertung am besten geeignet wäre Carbamazepin, weil sein Wert für den Infiltrationsanteil am höchsten ist, gefolgt von Acesulfam. Der Wert für Sulfamethoxazol und insbesondere jener für Benzotriazol deutet auf Wechselwirkungen des Stoffes mit dem geologischen Material hin (siehe Kap. 5.1). Diese Stoffe stellen daher keine konservativen Tracer für die abwasserbürtigen Stoffe dar.

Die absoluten Konzentrationen von Carbamazepin liegen allerdings in einem sehr tiefen Bereich zwischen 0.01 und 1.0 $\mu\text{g}/\text{l}$, während Acesulfam in deutlich höheren Konzentrationen zwischen 1 und 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ nachweisbar ist. Trotz der gegenüber Carbamazepin etwas höheren Standardabweichung (s) gehen wir davon aus, dass die aus den Acesulfam-Messwerten ermittelten Infiltratanteile zuverlässiger sind. Wir nehmen zudem an, dass sich die beiden Stoffe in ihrem Transportverhalten im Untergrund ähnlich sind, und wählen deshalb für die nachfolgenden Abschätzungen Acesulfam als Tracer.

Tabelle 12 Berechneter Anteil an Glatt-Infiltrat im Grundwasser aufgrund der Gehalte ausgewählter Spurenstoffe (Mittelwertbetrachtung)

Beprobungskampagne	Benzotriazol	Carbamazepin	Sulfamethoxazol	Acesulfam
1. Beprobung (März 2012)	4	46	35	32
2. Beprobung (Juni 2012)	8	87	42	75
3. Beprobung (September 2012)	6	74	27	67
4. Beprobung (Januar 2013)	8	73	31	43
$\bar{x} \pm s$ [%]	6 ± 2	70 ± 17	34 ± 6	54 ± 20

5.7 BELASTUNG DER GLATT UND DES GRUNDWASSERS DURCH ARA-ABWÄSSER

Der künstliche Süsstoff Acesulfam eignet sich nicht nur aufgrund der in Kap. 5.6 angestellten Betrachtungen, sondern auch wegen des eng begrenzten Einsatzspektrums sehr gut als Abwasserindikator. Als Quelle für Acesulfam im Grundwasser kommt praktisch ausschliesslich der Austrag in gereinigtem Abwasser in Frage. Zudem tritt dieser Süsstoff verbreitet und – wie die Untersuchungen gezeigt haben – in vergleichsweise hohen Konzentrationen auf. Er unterliegt kaum einem Abbauprozess.

Mittels Mischungsrechnungen anhand von Acesulfam als Tracer wurde daher geprüft, ob die im Grundwasser des unteren Glattals angetroffenen Mikroverunreinigungen ausschliesslich aus gereinigtem Abwasser der ARA stammen und über die Glatt ins Grundwasser infiltrieren. Für Mischungsrechnungen werden die beiden Mischungsgleichungen wie folgt angewendet:

$$Q_1 + Q_2 = Q_{\text{tot}}$$

$$C_1 Q_1 + C_2 Q_2 = C_{\text{mix}} Q_{\text{tot}}$$

- Q_1 , Infiltrationsleistung Glatt (Annahme: \pm bekannt) [m³/tg]
- Q_2 , Durchfluss Anteil «echtes» Grundwasser (unbekannt) [m³/tg]
- Q_{tot} , Gesamtdurchfluss Grundwasser (Annahme: \pm bekannt) [m³/tg]
- C_1 , Konzentration Glatt (Analyse bekannt) [g/m³]
- C_2 , Konzentration im «echten» Grundwasser (unbekannt) [g/m³]
- C_{mix} , Konzentration Mischgrundwasser (Analyse bekannt) [g/m³]

Für die Abschätzungen werden die Abflüsse der Glatt in Oberglatt und Rheinsfelden sowie die Grundwasserabflüsse durch zwei hydrogeologische Querprofile, bei Endhöri und bei Glattfelden, verwendet.

Abschätzungen für das hydrogeologische Querprofil «Glattfelden»

In den Erläuterungen zur Grundwasserkarte des Kantons Zürich [12] ist ein hydrogeologisches Querprofil durch das Untere Glattal bei Glattfelden dokumentiert. Dieses weist eine Fläche mit wassergesättigtem kiesig-sandigem Schotter von ca. 20 000 m² auf. Ausgehend von einem geschätzten unterirdischen Grundwasserabfluss bei Glattfelden von etwa 21 000 m³/Tag (gemäss Grundwasser-Bilanz in Kap. 3.5) und einem Grundwassergefälle von ca. 8 ‰ ergibt sich durch

Rückrechnung über das Gesetz von Darcy ein Durchlässigkeitsbeiwert K (K -Wert) von $1.5 \cdot 10^{-3}$ m/s. Dieser Wert stimmt gut mit den aus Pumpversuchen ermittelten Durchlässigkeiten im Bereich von $K = 1-3 \times 10^{-3}$ m/s überein [13]. Aufgrund von zwei Abflussmessungen mit der Flügelsonde in der Glatt bei Hochfelden und bei Glattfelden trägt die Glatt in diesem Streckenabschnitt mit einer Infiltrationsleistung von mutmasslich $Q_1 = 4000$ bis 9000 m³/Tag, d.h. mit ca. 20–40 % zum Gesamtdurchfluss des Grundwassers auf Höhe Glattfelden bei [2].

Die Belastung des Grundwassers mit gereinigtem Abwasser aus ARA-Abflüssen wurde aufgrund der folgenden gemessenen Acesulfam-Gehalte abgeschätzt:

C_{mix} Grundwasser Pumpwerk Rüteli II	= 2.5 µg/l
C_1 Glatt Station Oberglatt	= 4.7 µg/l

Mit diesen Zahlenwerten wurde die 2. Mischungsgleichung nach dem unbekanntem Term $C_2 Q_2$ aufgelöst. Dieser Term entspricht der Fracht an Acesulfam im Anteil an «echtem», d.h. von Glattwasser-Infiltrat unbeeinflusstem Grundwasser. Die Acesulfam-Fracht $C_2 Q_2$ würde, derart abgeschätzt, 10 – 34 g/Tag betragen. Eigentlich wird aber erwartet, dass das «echte» Grundwasser keine oder doch nur sehr geringe Acesulfam-Konzentrationen aus diffusen Schadstoffherden (z.B. undichten Kanalisationen) enthält. Im Idealfall müsste der Term $C_2 Q_2 =$ «Null» betragen.

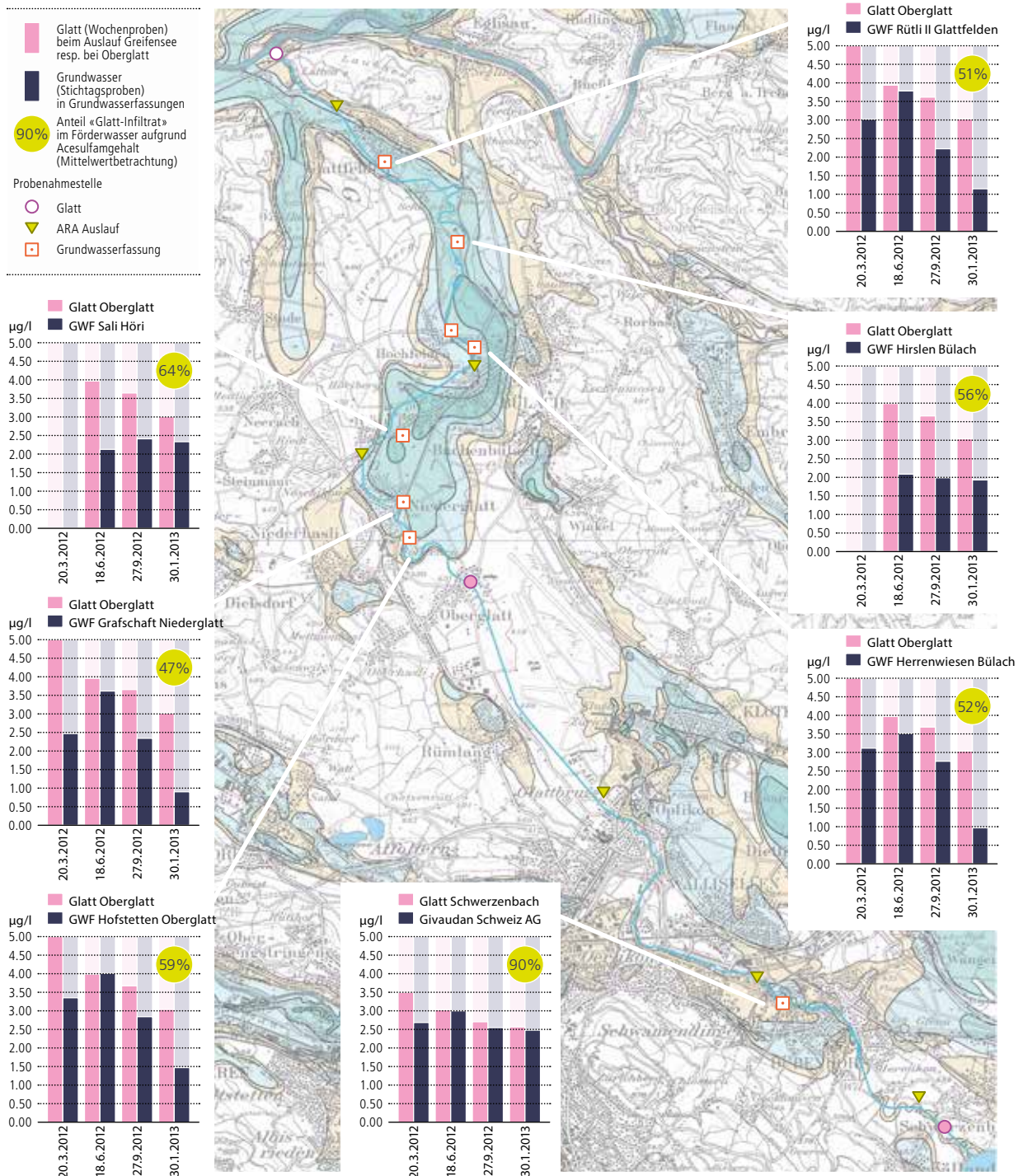
Deshalb stellt sich die Frage, unter welchen Randbedingungen die Acesulfam-Fracht im Anteil an «echtem» Grundwasser unter Berücksichtigung der obigen Acesulfam-Konzentrationen und Abflusswerten in den Mischungsgleichungen minimal wird. Ein solches Minimum ergibt sich bei einem maximalen Anteil an Glattinfiltrat von $Q_1(\text{max}) = 9000$ m³/Tag (43 % Infiltratanteil), und, entsprechend, einem Q_2 von 12 000 m³/Tag. Mit diesen Werten würde in der 2. Mischungsgleichung ein minimaler Wert für die Acesulfam-Fracht $C_2 Q_2$ von 10 g/Tag resultieren. Diese minimale Fracht entspricht einer Acesulfam-Konzentration im «echten» Grundwasser von $C_2 = 8 \cdot 10^{-4}$ g/m³ (10 g/Tag / 12 000 m³/Tag).

Weiter stellt sich die Frage, unter welchen Abflussbedingungen die Fracht in der 2. Mischungsgleichung zu $C_2 Q_2 =$ «Null» angesetzt werden kann. Zu diesem Resultat kommt man, wenn die Infiltrationsleistung der Glatt Q_1 zu 12 000 m³/Tag (53 % Infiltrationsanteil) angesetzt wird. Eine derart hohe Infiltrationsleistung ist nicht auszuschliessen.

Eine minimale Infiltrationsleistung der Glatt von 4000 m³/Tag (19 % Infiltratanteil), also ein Durchfluss des «echten» Grundwassers von 17 000 m³/Tag und eine Fracht von 18.7 g/Tag würden zu einer unrealistisch hohen Acesulfam-Konzentration im «echten» Grundwasser von 2·10⁻³ g/m³ führen.

Auf der Übersichtskarte in Figur 18 sind die prozentualen Anteile an «Glatt-Infiltrat» in den Grundwasserfassungen dargestellt, welche alleine über die Konzentration von Acesulfam abgeschätzt wurden. Für die Fassungen Rüteli/Glattfelden und Herrenwiesen/Bülach betragen die Anteile 51 und 56 % und liegen damit im Bereich der obigen, mit Hilfe der Frachten abgeschätzten Werte.

Figur 18 Acesulfam-Konzentration in der Glatt und im Grundwasser mit Abschätzung des Anteils «Glatt-Infiltrat» im Grundwasser



Abschätzungen für das hydrogeologische Querprofil «Endhöri»

Wie oben gezeigt, sind für das hydrogeologische Querprofil von Glattfelden die Abschätzungen über die Acesulfam-Frachten in der Glatt und im Grundwasser und die spezifischen Infiltrationsraten recht gut abgestützt. Es lag nahe, dieselben Abschätzungen zu Vergleichszwecken auch für ein weiter grundwasserstromaufwärts gelegenes hydrogeologisches Querprofil durchzuführen. Um schematisch den Grundwasserdurchfluss in einem Querprofil «Endhöri» abzuschätzen, wurden die Kenntnisse aus früheren Untersuchungen gemäss der kantonalen Grundwasserkarte 1:25 000 sowie die Ergebnisse der im Jahr 2012 ausgeführten «Grundwasserstudie Bülach-Hochfelden» [14] verwendet. Das Profil in Figur 19 ist als grobe Interpolation der bisherigen Datenlage zu verstehen. In diesem Profil wurden die im Bereich Bülach – Hochfelden komplizierten hydrogeologischen Verhältnisse nur randlich miteinbezogen. Diese dürften daher keinen Einfluss auf die mutmasslichen Grundwasserdurchflüsse im obersten Grundwasserleiter haben.

Das hydrogeologische Profil «Endhöri» liegt etwa 1.1 km grundwasserstromabwärts der Grundwasserfassung Sali/Höri, in einem Bereich von etwa 300 m mit einer Grundwassermächtigkeit (Mittelwasserstand) von über 20 m. Das Profil beginnt bei Koo. 681'62/262'54 und verläuft etwa 1.7 km in SE Richtung mit Az. 152° (bis ins Gebiet Höhragen).

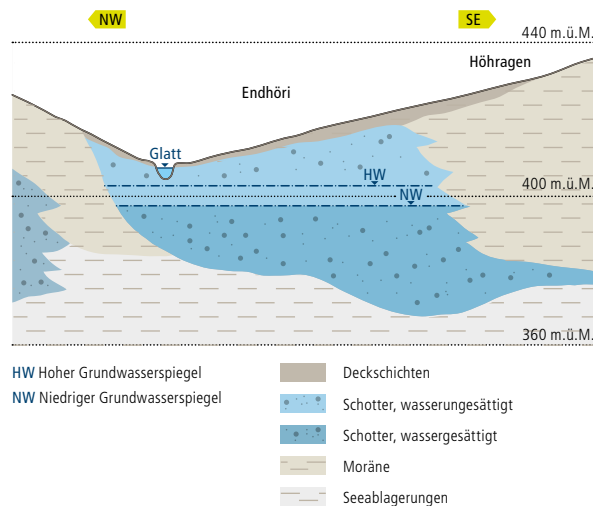
Eine Wasserbilanz über die Fläche des Grundwassergebiets von Hofstetten bis zum Profil «Endhöri» ergibt folgende geschätzten Werte [in m³/Tag]:

+ Versickerung durch Niederschlag, ca.	2000
+ Unterirdischer Zufluss von den Talrändern, ca.	2000
+ Glatt-Infiltration, geschätzt ca.	2000
– Grundwasserentnahmen aus Pumpwerken, ca.	3000
– Verbleibender Grundwasserabfluss ca. mind.	3000

Die Bilanz muss berücksichtigen, dass das Grundwassergebiet grösstenteils bedeckt ist und die Speisung nur beschränkt durch Infiltration aus der Glatt erfolgen kann [12]. Eine Exfiltration von Grundwasser in die Glatt ist in diesem Streckenabschnitt nicht anzunehmen, da die Grundwasserspiegel überall tiefer liegen als der Wasserspiegel in der Glatt.

Das Profil «Endhöri» weist eine Querschnittfläche aus wassergesättigtem kiesig-sandigem Schotter von ca. 20 000 m² auf. Zusammen mit einem Grundwassergefälle von 1.2 % und dem aus dem Profil «Glattfelden» übernommenen Durchlässigkeitsbeiwert (K-Wert) von $1.4 \cdot 10^{-3}$ m/s (ca. 120 m/Tag) resultiert ein mit obigem Schätzwert vergleichbarer Gesamtdurchfluss durch dieses Profil von 2900 m³/Tag.

Figur 19 Hydrogeologisches Querprofil «Endhöri» (10fach überhöht)



Die Konzentrationswerte für Acesulfam liegen wie folgt vor:

C_{mix}	Grundwasser Pumpwerk Sali/Höri	= 2.3 µg/l
C_1	Glatt Station Oberglatt	= 4.7 µg/l

Für eine Acesulfam-Bilanz muss die Infiltrationsleistung der Glatt, Q_1 , bekannt sein. Unter Annahme einer Acesulfam-Fracht im «echten» Grundwasser von $C_2 \times Q_2 = \text{«Null»}$ (kein Acesulfam im «echten» Grundwasser) verbleibt in der 2. Mischungsgleichung Q_1 als einzige Unbekannte und erreicht einen Wert von ca. 1500 m³/Tag (52 % Infiltratanteil; $Q_1 = Q_{tot} \times C_{mix}/C_1$). Damit wird der Schätzwert für Q_1 aus der Wasserbilanz von 2000 m³/Tag durch die Abschätzungen über das Acesulfam noch etwas unterschritten.

Die Abschätzung der Infiltrationsanteile in den Grundwasserfassungen allein über die Konzentration von Acesulfam (siehe Karte Figur 18) ergibt für die Fassungen Hofstetten/Oberglatt, Graftschaft/Niederglatt und Sali/Höri Werte von 59, 47 bzw. 64 %. Die geschätzten Anteile an «Glatt-Infiltrat» stimmen somit gut mit dem aus obigen Frachtab-schätzungen abgeleiteten Wert überein.



6 ÖKO- UND HUMANTOXIKOLOGISCHE AUSWIRKUNGEN

Die in der Glatt gemessenen Konzentrationen einzelner Mikroverunreinigungen stellen ein erhöhtes Risiko für Wasserorganismen dar. Im Grundwasser liegen Mikroverunreinigungen hingegen in sehr niedrigen Konzentrationen vor. Dieses kann daher ohne Bedenken als einwandfreies Trinkwasser verwendet werden. Arzneimittelrückstände und andere Mikroverunreinigungen sind im Grundwasser aber grundsätzlich unerwünscht. Mit gezielten Massnahmen zur Minimierung der Einträge in das aquatische System kann ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität der Oberflächengewässer und zum Erhalt einer einwandfreien Trinkwasserqualität geleistet werden.

6.1 ÖKOTOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG (SCHUTZZIEL AQUATISCHE UMWELT)

Für die chemischen Risikobewertung werden die in der Glatt gemessenen Konzentrationen mit den dazugehörigen Qualitätskriterien verglichen, welche vom Oekotoxzentrum der Eawag/EPFL, dem Zentrum für angewandte Ökotoxikologie in der Schweiz, vorgeschlagen werden und in der laufenden Revision der GSchV aufgenommen werden sollen.

Ist die gemessene Umweltkonzentration grösser als das Qualitätskriterium, so muss ein Risiko für Wasserorganismen angenommen werden. Mit den chronischen Qualitätskriterien können Belastungen über einen längeren Zeitraum beurteilt werden, was besonders für kontinuierliche Einträge von Mikroverunreinigungen durch gereinigtes Abwasser relevant ist. Nachstehende Tabelle 13 zeigt einen Vergleich der ermittelten Konzentrationen in der Glatt bei Rheinsfelden (Mittel- und Maximalwert $\mu\text{g/l}$) mit den vorgeschlagenen chronischen Qualitätskriterien.

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, resultiert von den Indikatorstoffen einzig für Diclofenac ein erhöhtes Risikopotential für die aquatische Umwelt. Bereits anlässlich einer umfangreichen Messkampagne zwischen 2004 und 2006 [15] wurde für diese Substanz bei ungünstigen Verdünnungsverhältnissen zwischen ARA und Vorfluter ein erhöhtes Risiko ermittelt.

Auch in der Grundlagenstudie des BAFU zum geplanten Ausbau der ARA zur Entfernung der Spurenstoffe [16] basierten die Modellrechnungen zur Abschätzung des Risikos für die aquatische Umwelt auf dem Eintrag von Diclofenac, einem Analgetika, das als besonders kritisch beurteilt wird.

Wie aus der Figur 20 zu entnehmen ist, liegen die Konzentrationen an Diclofenac bei der Probenahmestelle Oberglatt und Rheinsfelden über dem Qualitätsziel von $0.05 \mu\text{g/l}$. Diese Einträge stammen von den im Einzugsgebiet untersuchten ARA. In der Vergleichsprobe aus der Glatt bei Schwerzenbach nach dem Abfluss aus dem Greifensee ist Diclofenac – wenn überhaupt – nur in geringsten Spuren von $\leq 0.01 \mu\text{g/l}$ feststellbar.

Da auch im Greifensee von einem Anteil von knapp 10 % gereinigtem Abwasser auszugehen ist, darf angenommen werden, dass sich Diclofenac im See zum Teil abbaut.

Weitere Substanzen mit einem möglichen Risikopotential für die aquatische Umwelt sind die Pestizidwirkstoffe Diazinon, Diuron und Irgarol. Die Konzentrationen dieser Verbindungen in der Glatt bei Rheinsfelden liegen teilweise im Bereich der chronischen Qualitätsziele. Das Insektizid Diazinon wurde in den Gewässerberichten des AWEL bereits als problematische Verbindung erkannt.

Tabelle 13 Befunde Mikroverunreinigungen in der Glatt und Qualitätskriterien

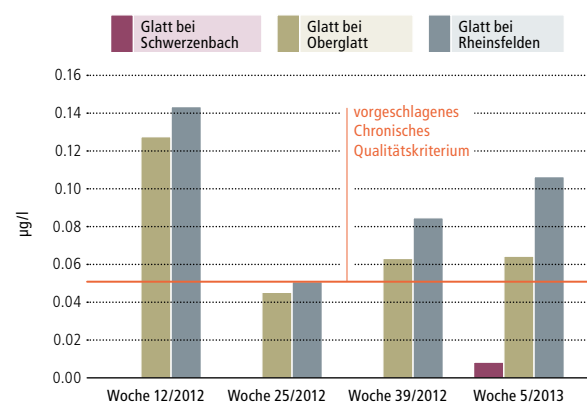
Mikroverunreinigung	Substanzklasse	Qualitätskriterium (µg/l)	Glatt Rheinsfelden (Mittelwert µg/l)	Glatt Rheinsfelden (Maximalwert µg/l)	Bemerkungen
Benzotriazol	Korrosionsschutz	30	0.95	1.33	Indikatorsubstanz
Carbamazepin	Antiepileptika	0.5	0.07	0.09	Indikatorsubstanz
Clarithromycin	Antibiotika	0.06	0.02	0.04	Erhöhter Wert in Glatt bei Oberglatt
Diclofenac	Analgetika	0.05	0.10*	0.14	Indikatorsubstanz
Mecoprop	Herbizid	50	0.15	0.32	Indikatorsubstanz
Sulfamethoxazol	Antibiotika	0.6	0.05	0.06	Indikatorsubstanz
DEET	Repellent	41	0.06	0.11	
Isoproturon	Herbizid	0.32	0.03	0.08	
Terbuthylazin	Herbizid	0.22	0.03	0.07	
MCPA	Herbizid	1.34	0.02	0.03	
Diuron	Herbizid	0.02	0.02*	0.02	
Terbutryn	Herbizid	0.065	0.02	0.02	
Carbendazim	Fungizid	0.34	0.01	0.02	
Diazinon	Insektizid	0.015	0.006	0.014	
Irgarol	Fungizid	0.0023	<0.01	0.012	Einzelnachweis
Metoprolol	Betablocker	64	0.03	0.03	1 Messkampagne
Bisphenol A	Xenoöstrogen	1.5	0.06	0.07	2 Messkampagne

* Qualitätskriterium für chronische Toxizität (Vorschlag Oekotoxzentrum EAWAG) erreicht oder überschritten

Inzwischen ist der Einsatz von Diazinon als Pflanzenschutzmittel nicht mehr erlaubt. Auch über das Herbizid Diuron, das sowohl als PSM und als Biozidprodukt angewendet wird, gibt es bereits umfassende Beurteilungen in den Pestizidberichten [17]. Irgarol, das ausschliesslich als Biozidprodukt z.B. in Baumaterialien verwendet wird (Eintrag aus Siedlungen), ist in diesen Arbeiten ebenfalls als kritisch beurteilt worden.

Die Werte für Clarithromycin in der Glatt bei Rheinsfelden lagen im Bereich des chronischen Qualitätsziels. In der 1. Messkampagne betrug die Konzentration in der Glatt bei Oberglatt 0.54 µg/l und lag über dem akuten Qualitätskriterium von 0.11 µg/l.

Figur 20 Diclofenac-Konzentration in der Glatt anlässlich der Probenahmekampagnen 2012/13



6.2 HUMANTOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG (SCHUTZZIEL TRINKWASSER)

Von vielen chemischen Stoffen insbesondere von Arzneimitteln liegen Daten zu humantoxikologischen Wirkungen vor. Dabei geht es jedoch vorwiegend um die Beurteilung der akuten Toxizität, also um die Frage, welche Auswirkungen die Exposition grösserer Mengen solcher Stoffe auf den menschlichen Organismus haben. Im Gegensatz dazu ist über die Auswirkungen einer geringen, jedoch permanenten Exposition gegenüber chemischen Stoffen noch relativ wenig bekannt.

Durch die Fortschritte in der analytischen Messtechnik können heute Stoffe in sehr tiefen Konzentrationen (Mikro- / Nanogramm pro Liter) nachgewiesen werden. Die Frage nach möglichen Auswirkungen wird deshalb zunehmend in der wissenschaftlichen Forschung bearbeitet. In der Schweiz beschäftigen sich beispielsweise das Bundesamt für Gesundheit (BAG) oder das Schweizerische Zentrum für angewandte Humantoxikologie (SCAHT) mit diesen Fragen, in Deutschland das Bundesinstitut (BfR) für Risikobewertung und auf europäischer Ebene die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA). Mittels Instrumenten der Risikobewertung wird ein mögliches gesundheitliches Risiko für die Konsumenten beurteilt [18]. Solche Bewertungen sind auf einen lebenslang unbedenklichen Konsum von zwei Liter Trinkwasser pro Tag ausgelegt. Für untersuchte Stoffe finden sie als Toleranz- oder Grenzwerte Eingang in die Gesetzgebung.

Die Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) regelt die zulässigen Gehalte von problematischen Stoffen im Trinkwasser. Aufgrund der Vielzahl von eingesetzten chemischen Verbindungen und den in der Umwelt entstehenden Transforma-

tionsprodukten ist jedoch eine Beurteilung für jeden Einzelstoff nicht möglich. Werden nicht geregelte Fremdstoffe im Trinkwasser festgestellt, so muss eine Risikobewertung aus gesundheitlicher Sicht durchgeführt werden [18].

In der vorliegenden Studie wurden aus der Stoffgruppe der Arzneimittel und Diagnostika Spuren von Carbamazepin, Sulfamethoxazol und Amidotrizoesäure im Grundwasser gefunden. Zudem konnten zwei technische Chemikalien, Benzotriazol und Bisphenol A, nachgewiesen werden. Die Konzentrationen liegen in einem tiefen Bereich von kleiner als 0.1 µg/l. In Tabelle 14 sind den im Grundwasser gefundenen Gehalten Beurteilungswerte aus toxikologischen Risikobewertungen gegenübergestellt.

Der Vergleich zeigt, dass die Beurteilungswerte nur zu geringen Teilen ausgeschöpft sind. Aufgrund des aktuellen Wissenstandes kann deshalb eine gesundheitliche Beeinträchtigung durch den lebenslangen Konsum dieses Grundwassers ausgeschlossen werden.

Diese Folgerung wird durch die Einschätzung verschiedener Fachgremien gestützt. Bezüglich pharmazeutischer Stoffe ist die World Health Organisation (WHO) der Ansicht, dass zwischen den gemessenen tiefen Konzentrationen und einer minimalen therapeutischen Dosis ein sehr grosser Sicherheitsabstand gegeben ist und damit ein sehr kleines Risiko für die menschliche Gesundheit besteht. Die Erarbeitung von gesundheitlich basierten Richtwerten für Pharmazeutika in den WHO «Guidelines for drinking-water quality» wird deshalb als nicht notwendig angesehen [19].

Tabelle 14 Vergleich Grundwassergehalte mit Daten aus Risikobewertungen

Stoff	Höchste gemessene Konzentration	*Beurteilungswert	Ausschöpfung Beurteilungswert	Quelle Beurteilungswert
Carbamazepin	0.07 µg/l	1 µg/l	7 %	[18]
Sulfamethoxazol	0.03 µg/l	35 µg/l	0.09 %	[18]
Amidotrizoesäure	0.13 µg/l	4.5 µg/l	2.9 %	[18]
Benzotriazol	0.07 µg/l	4.5 µg/l	1.6 %	[18]
Bisphenol A	0.006 µg/l	**50 µg/kg KG	***0.00034 %	[18]

* Liegt die gemessene Konzentration im Grundwasser unterhalb des Beurteilungswertes, ist keine gesundheitliche Beeinträchtigung bei lebenslangem Konsum des Wassers zu erwarten.

** Der TDI bezieht sich auf eine täglich tolerierbare Stoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht.

*** Berechnet für eine Person mit 70 kg Körpergewicht.



Im Rahmen der vorliegenden Studie sind anlässlich von 4 Probenahmekampagnen umfangreiche Messungen von Mikroverunreinigungen in ARA-Ausläufen, in der Glatt und im Grundwasser des Glattals durchgeführt worden.

EINTRAG VON MIKROVERUNREINIGUNGEN ÜBER DAS GEREINIGTE ARA-ABWASSER IN DIE GLATT

Im gereinigten Abwasser der 7 kommunalen ARA konnten trotz hohem Ausbaustandard der Anlagen 62 der insgesamt 140 untersuchten Spurenstoffe nachgewiesen werden. Sowohl die vom BAFU vorgeschlagenen Indikatorsubstanzen zur Beurteilung der Mikroverunreinigungen, wie auch künstliche Süsstoffe, zusätzlich untersuchte Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel und hormonell wirksame Substanzen lagen im erwarteten Konzentrationsbereich von wenigen ng/l (Hormone) bis gegen hundert µg/l (Acesulfam). Insgesamt sind die Konzentrationsverhältnisse der einzelnen Messkampagnen untereinander gut vergleichbar und ermöglichen eine repräsentative Beurteilung des Eintrages von Mikroverunreinigungen über die ARA.

Die Resultate der durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die im häuslichen und industriellen Abwasser vorhandenen Mikroverunreinigungen in den ARA nicht oder nur ungenügend abgebaut bzw. eliminiert werden und mit dem gereinigten Abwasser in die Oberflächengewässer eingetragen werden.

Entsprechend den Verdünnungsverhältnissen sind die Mikroverunreinigungen, von wenigen Ausnahmen (sehr niedriger Konzentrationsbereich) abgesehen, auch in der Glatt nachweisbar. Aufgrund der in der Glatt gemessenen Konzentrationen an Mikroverunreinigungen lag der prozentuale Anteil von gereinigtem Abwasser in der ersten Messkampagne bei Niedrigabfluss in der Glatt zwischen 25–30 % und in den übrigen Messkampagnen, bei durchschnittlichen bis leicht erhöhten Abflussmengen, bei 12 bis 19 %.

BESTEHENDE BELASTUNG MIT MIKROVERUNREINIGUNGEN IM GRUNDWASSER

Über die Infiltration von Glattwasser gelangt ein Teil der Mikroverunreinigungen auch in das Grundwasser des unteren Glattals. Das ergiebige Grundwasservorkommen wird zwischen Oberglatt und Glattfelden in zahlreichen flussnahen Fassungen zur Trinkwassergewinnung genutzt. Die Untersuchungen zeigen, dass der künstliche Süsstoff Acesulfam weder in der Glatt, noch im Grundwasser signifikant abgebaut wird. Anhand der Acesulfam-Gehalte im Grundwasser kann der Anteil an Glatt-Infiltrat im Förderwasser dieser Pumpwerke abgeschätzt werden. Die auf dieser Basis ermittelten Anteile zeigen erstaunlich geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Fassungen und betragen rund 50–65%. Dies bedeutet, dass ein hoher Anteil des als Trinkwasser genutzten Grundwassers seinen Ursprung im Glattwasser hat.

In den untersuchten Grundwasserproben konnten zudem Spuren der Arzneimittel Carbamazepin und Sulfamethoxazol, des Röntgenkontrastmittels Amidotrizoesäure sowie der technischen Chemikalie Benzotriazol nachgewiesen werden. Die Substanzen liegen in nur sehr geringen Konzentrationen von meist deutlich <0.1 µg/l vor. Höhere Konzentrationen von Benzotriazol sowie Spuren der Röntgenkontrastmittel Iopamidol bzw. Iopromid und der technischen Chemikalie Bisphenol A konnten nur in einer Brauchwasserfassung gefunden werden.

ÖKO- UND HUMANTOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG

Die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe in der Glatt liegen generell in einem sehr niedrigen Wertebereich. Bei einzelnen Mikroverunreinigungen sind chronische Wirkungen auf die aquatische Umwelt jedoch wahrscheinlich. So wurde Diclofenac regelmässig in Konzentrationen gemessen,

die über dem vom Oekotoxzentrum der Eawag/EPFL vorgeschlagenen Qualitätskriterium für chronische Toxizität liegen, was auf ein erhöhtes Risiko für Wasserorganismen hinweist. Die Belastung mit Diclofenac stammt praktisch ausschliesslich aus Einträgen der 9 ARA im Einzugsgebiet der Glatt.

Über die Infiltration von Glattwasser gelangen einzelne Mikroverunreinigungen auch in das Grundwasser und stellen damit letztlich eine Gefährdung dieser wichtigen Trinkwasserressource dar. Die in den untersuchten Grund- resp. Trinkwasserproben im unteren Glattal nachgewiesenen Spurenstoffe liegen allerdings in sehr niedrigen Konzentrationen vor. Selbst bei einem lebenslangen Konsum des Grundwassers als Trinkwasser sind daher gesundheitliche Beeinträchtigungen durch diese Substanzen – nach derzeitigem Wissensstand – auszuschliessen. Gleichwohl sind solche Mikroverunreinigungen im Trinkwasser unerwünscht.

MASSNAHMEN ZUR REDUKTION DES EINTRAGS

Im Sinne eines vorsorglichen Gewässer- und Trinkwasserschutzes sollten alle möglichen Anstrengungen zur Minimierung der Einträge von anthropogenen Spurenstoffen unternommen werden. Die Massnahmen sollten primär an der Quelle ansetzen, so z. B. beim Verbrauch sowie durch Ersatz oder Anwendungsbeschränkungen von problematischen Substanzen. Diese Vorschriften, die vor allem im Chemikalienrecht geregelt sind, müssen in Zukunft noch konsequenter umgesetzt werden. Für die meisten Mikroverunreinigungen fehlen heute noch die Beurteilungskriterien und numerischen Anforderungen. Diese werden zurzeit durch das BAFU im Rahmen der Änderung der Gewässerschutzverordnung erarbeitet.

Aufgrund der Vielfalt an Substanzen und deren Anwendung werden obige Massnahmen alleine jedoch kaum ausreichend sein, den Eintrag von Mikroverunreinigungen im gewünschten Masse zu vermindern. Mit einem gezielten Ausbau von ARA können die Einträge von Mikroverunreinigungen in die Glatt und somit auch in das Grundwasser signifikant reduziert werden. Damit kann ein massgebender Beitrag zum langfristigen Schutz unserer Wasserressourcen und zum Erhalt einer einwandfreien Oberflächengewässer- und Trinkwasserqualität geleistet werden. Zurzeit wird die ARA Dübendorf mit einer Ozonung zur Entfernung von Mikroverunreinigungen ausgebaut. Diese Massnahmen sollte zu einer Reduktion der Schadstofffracht in der Mündung der Glatt, und damit auch mittelfristig zu tieferen Konzentrationen in den Grundwasserproben führen. Im Rahmen des Erneuerungszyklus, jedoch spätestens bis 2035 nach dem jetzigen Stand der Gesetzesgrundlagen, werden auch die ARA Fällanden, Bassersdorf, Kloten-Opfikon, Niederglatt und Bülach mit einer Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen ausgerüstet.

WIEDERHERSTELLUNG DER ÖKOLOGISCHEN FUNKTIONSFÄHIGKEIT DER GLATT

Der hohe Ausbaustand der ARA im Glattal und die Überleitung des Abwassers von Zürich Nord in die ARA Werdhölzli seit dem Jahr 2001 haben bewirkt, dass die Glatt bezüglich Nährstoffen und organisch leicht abbaubaren Stoffen wieder eine gute Wasserqualität aufweist. Die konsequente Fortsetzung der Massnahmen in den Bereichen Siedlungsentwässerung und Abwasserreinigung sowie die Umsetzung und Kontrollen der Vorschriften bei der Landwirtschaft, Gewerbe- und Industriebetrieben sind zusammen mit Massnahmen bei Strassenentwässerungen und der Behandlung der Enteiserabwässer auf dem Flughafenareal Voraussetzung für eine weitere Verbesserung der Wasserqualität. Damit die Glatt künftig alle Anforderungen an die Wasserqualität erfüllen kann, müssen aber auch die bereits erwähnten Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen umgesetzt werden.

Zur Erfüllung ihrer vielfältigen ökologischen Funktionen benötigt die Glatt aber mehr als nur sauberes Wasser. Die Organismen im und am Wasser und insbesondere die Fische brauchen auch einen natürlich strukturierten Lebensraum. Die Sicherung des Gewässerraums sowie Projekte zur Revitalisierung der heute begradigten, stark verbauten und in einem künstlichen Trapezprofil verlaufenden Glatt und ihrer Seitenbäche sind daher nicht nur für den Hochwasserschutz erforderlich, sondern auch aus Sicht des Natur- und Artenschutzes sowie für den Landschaftsschutz von zentraler Bedeutung. Auch als Erholungsraum für die Bevölkerung bieten Revitalisierungsprojekte neue Möglichkeiten. Aus diesen Überlegungen wurde die Glatt zwischen dem Abfluss aus dem Greifensee und Oberglatt im Antrag des Regierungsrats vom 28. März 2012 zur Gesamtüberprüfung des kantonalen Richtplans den Gewässern zugewiesen, welche zu revitalisieren sind.

In revitalisierten Gewässerabschnitten wird der Austausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser noch verstärkt. Dadurch gewinnen die Massnahmen zur Reduktion der Mikroverunreinigungen auch in Bezug auf den Grundwasserschutz künftig noch mehr an Bedeutung.

MONITORING

Erstmals wurden im Einzugsgebiet des Glattals die ARA, die Glatt und das Grundwasser umfassend auf den Eintrag von Mikroverunreinigungen untersucht. In Ergänzung zu den laufenden separaten Untersuchungsprogrammen zur Überwachung der ARA, der Glatt und des Grundwassers empfiehlt es sich, die koordinierte Wasseruntersuchung im Glattal in regelmässigen Abständen, spätestens aber nach dem Ausbau einer ARA zu wiederholen. Das Konzept der vierteljährlichen, d.h. jahreszeitlichen Messkampagnen hat sich bewährt. Der Umfang, der zu untersuchenden Substanzen, kann sukzessive den Resultaten angepasst werden, sollte aber mindestens die ARA - Indikatormoleküle sowie die künstlichen Süsstoffe mit dem Tracer Acesulfam beinhalten.

8

ANHANG

Tabellarische Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse
Literaturverzeichnis
Abbildungsverzeichnis

TABELLARISCHE ZUSAMMENSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSRISULTATE

Mittelwert und Maximalwert der nachgewiesenen Mikroverunreinigungen,
berechnet für die jeweiligen Probenahmestellen und 4 Messkampagnen in µg/l

Probenahmestellen	ARA-Abflüsse		Glatt Abfluss Greifensee		Glatt Oberglatt / Rheinsfelden		Grundwasser	
	Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert

Indikatorstoffe ARA

Stoffgruppe	7	1	2	8					
Benzotriazol	Korrosionsinhibitor	6.22	14.6	0.43	0.52	0.92	1.47	0.06	0.29
Carbamazepin	Antiepileptika	0.39	1.51	0.04	0.05	0.06	0.09	0.03	0.07
Diclofenac	Analgetika	1.03	2.29	<0.01	0.01	0.09	0.14	<0.01	<0.01
Mecoprop	Herbizid	0.27	4.59	0.02	0.03	0.17	0.52	<0.01	<0.01
Methylbenzotriazol	Korrosionsinhibitor	2.03	3.53	0.25	0.27	0.46	0.52	0.05	0.23
Sulfamethoxazol	Antibiotika	0.32	0.81	0.03	0.03	0.05	0.06	0.02	0.03

Künstliche Süßstoffe

Acesulfam	Süßstoff	28.7	62.4	2.92	3.46	5.03	9.18	2.24	3.97
Cyclamat	Süßstoff	0.11	0.62	0.13	0.17	0.17	0.25	<0.02	0.07
Sacharin	Süßstoff	0.47	4.19	0.10	0.15	0.16	0.36	<0.02	0.08
Sucralose	Süßstoff	5.04	9.16	0.41	0.48	0.72	1.27	0.11	0.39

Pestizide und Abbauprodukte

Atrazin	Herbizid	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04
Azoxystrobin	Fungizid					<0.01	0.01		
Bentazon	Herbizid					<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Carbendazim	Fungizid	0.03	0.10	<0.01	0.01	0.01	0.02	<0.01	0.01
Chloridazon	Herbizid					0.01	0.02	<0.01	<0.01
Chlortoluron	Herbizid					<0.01	0.01	<0.01	<0.01
DEET	Repellent	0.21	0.59			0.06	0.11	<0.01	<0.01
Desethylatrazin	Abbauprodukt	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
Desethylterbuthylazin	Abbauprodukt	<0.01	<0.01			0.01	0.03	<0.01	0.01
Desphenylchloridazon	Abbauprodukt							0.15	0.26
Diazinon	Insektizid	0.16	6.42	0.01	0.02	0.01	0.03	<0.01	<0.01
Dichlobenil	Herbizid	0.01	0.02			0.01	0.01	<0.01	<0.01
Diuron	Herbizid	0.06	0.29	0.01	0.01	0.02	0.03	<0.01	0.01
Irgarol 1051	Biozid	0.08	0.56			<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Isoproturon	Herbizid	0.09	3.46	<0.01	0.01	0.02	0.08	<0.01	<0.01
Linuron	Herbizid					<0.01	0.02	<0.01	<0.01
MCPA	Herbizid					0.02	0.03	<0.01	<0.01
Metazachlor ESA	Abbauprodukt							0.02	0.06
Metazachlor OXA	Abbauprodukt							<0.01	0.03
Methyl-desphenylchloridazon	Abbauprodukt							0.02	0.06
Metolachlor	Herbizid	0.01	0.08	0.02	0.04	0.02	0.04	<0.01	0.02
Metolachlor ESA	Abbauprodukt							0.09	0.19
Metolachlor OXA	Abbauprodukt							0.01	0.03
Metsulfuron-methyl	Herbizid					<0.01	0.02		
Penconazol	Fungizid	0.10	0.73			<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pirimicarb	Insektizid	0.10	0.67			<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Propachlor	Herbizid	<0.01	<0.01			0.01	0.02	<0.01	<0.01

		ARA-Abflüsse		Glatt Abfluss Greifensee		Glatt Oberglatt / Rheinsfelden		Grundwasser	
Probenahmestellen		7		1		2		8	
Stoffgruppe		Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert	Mittelwert	Maximalwert
Pestizide und Abbauprodukte (Fortsetzung)									
Propachlor ESA	Abbauprodukt							<0.01	0.04
Propiconazol	Fungizid	0.01	0.06			<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Simazin	Herbizid	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Terbuthylazin	Herbizid	0.03	0.06			0.03	0.07	0.01	0.03
Terbutryn	Biozid	0.05	0.21			0.02	0.02	<0.02	0.02
Triclopyr	Herbizid					0.01	0.01		
2,4-D	Herbizid					0.01	0.01	<0.01	<0.01
2,6-Dichlorbenzamid	Abbauprodukt	0.08	0.15			0.05	0.07	0.01	0.05

Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel und hormonaktive Substanzen

Acetylsulfamethoxazol	Abbauprodukt	0.02	0.13	0.01	0.03	0.01	0.02	<0.01	<0.01
Amidotrizoesäure	Diagnostika	0.92	6.10	0.01	0.01	0.02	0.06	0.04	0.13
Atenolol	Betablocker	0.31	0.79	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Azithromycin	Antibiotika	0.14	0.28	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bezafibrat	Lipidsenker	0.04	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bisoprolol	Betablocker	0.04	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Bisphenol A	Xeno-Östrogen	0.04	0.06	0.02	0.02	0.04	0.07	<0.01	0.01
Ciprofloxacin	Antibiotika	0.29	0.37	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Clarithromycin	Antibiotika	0.26	0.76	0.01	0.01	0.08	0.54	<0.01	<0.01
Ibuprofen	Analgetika	0.01	0.06	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Indomethacin	Analgetika	0.11	0.25	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Iohexol	Diagnostika	0.09	0.37	0.01	0.01	0.05	0.12	<0.01	<0.01
Iomeprol	Diagnostika	0.05	0.37	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01
Iopamidol	Diagnostika	0.06	0.18	0.01	0.02	0.03	0.05	<0.01	0.03
Iopromid	Diagnostika	0.27	0.73	0.16	0.17	0.25	0.32	<0.01	0.02
Ioxithalaminsäure	Diagnostika	0.18	0.41	0.07	0.07	0.09	0.11	<0.01	<0.01
Metoprolol	Betablocker	0.27	0.39	<0.01	<0.01	0.03	0.03	<0.01	<0.01
Metronidazol	Antibiotika	0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
N-Acetyl-4-aminoantipyrin	Analgetika	1.06	2.20	0.08	0.08	0.10	0.10	<0.01	<0.01
Naproxen	Analgetika	0.26	0.59	<0.01	<0.01	0.01	0.02	<0.01	<0.01
N-Formyl-4-aminoantipyrin	Analgetika	0.32	0.55	0.03	0.03	0.04	0.04	<0.01	<0.01
Norfloxacin	Antibiotika	0.02	0.12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Ofloxacin	Antibiotika	0.02	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sotalol	Betablocker	0.12	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Sulfapyridin	Antibiotika	0.20	0.29	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01
Trimethoprim	Antibiotika	0.11	0.25	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin	Abbauprodukt	0.80	1.40	0.11	0.11	0.12	0.12	0.01	0.07
4-iso-Nonylphenol	Xeno-Östrogen	0.03	0.21	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4-tert.-Oktylphenol	Xeno-Östrogen	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

LITERATUR

- [1] Baudirektion des Kantons Zürich, AWEL (Juni 2005): Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattals – Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2004, 37 S., mit Anhang.
- [2] Hoehn, E., J. Zobrist, und R.P. Schwarzenbach (1983): Infiltration von Flusswasser ins Grundwasser – Hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen im Glattal, Gas-Wasser-Abwasser 63(8), 401–410.
- [3] Santschi, P.H., E. Hoehn, A. Lück, and K. Farrenkothen (1987): Tritium as a tracer for the movement of surface water and groundwater in the Glatt valley, Switzerland, Environ. Sci. Technol. 21(9), 909–916.
- [4] Götz, C.W, Kase, R. und Hollender, J. (2011): Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU. Eawag, Dübendorf.
- [5] Bürge, I., Buser, H.R., Kahle, M., Müller, D., Poiger, Th. (2009): Ubiquitous Occurrence of the Artificial Sweetener Acesulfame in the Aquatic Environment: An Ideal Chemical Marker of Domestic Waste-water in Groundwater, Environmental Science & Technology, Vol. 43, 2009, 4381–4385
- [6] Spahr, St., S. Huntscha, J. Bolotin, M.P. Maier, M. Elsner, J. Hollender & Th.B. Hofstetter (2013): Compound-specific isotope analysis of benzotriazole and its derivatives, Anal. Bioanal. Chem. 405, 2843–2856, DOI 10.1007/s00216-012-6526-1.
- [7] Huntscha, S., H.P. Singer, Ch.S. McArdell, C.E. Frank, & J. Hollender (2012): Multiresidue analysis of 88 polar organic micropollutants in ground. Surface and wastewater using online mixed-bed multilayer solid-phase extraction coupled to high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, J. Chromatogr. A 1268, 74–83.
- [8] AWEL (2012): Pestiziduntersuchungen bei der Hauptmessstelle Glatt vor Rhein im Jahr 2012. 37 S.
- [9] Baudirektion Kanton Zürich, AWEL (2006): Wasserqualität der Seen, Fließgewässer und des Grundwassers im Kanton Zürich. Statusbericht 2006. 107 S.
- [10] Balsiger Ch., Niederhauser P., Jäggi O. und Meier W. (2007): Gewässerbelastung durch Pestizide. Gas-Wasser-Abwasser 3/2007 S. 177–185
- [11] Hanke I., Singer H., McArdell-Bürgisser C.S., Brennwald M., Traber D., Muralt R., Herold T., Oechslin R. und Kipfer R. 2007: Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. Gas-Wasser-Abwasser 3/2007: S. 187–196.
- [12] Kempf, Th. et al. (1986): Die Grundwasservorkommen im Kanton Zürich.
- [13] Freimoser, M., & Th. Locher (1980): Gedanken zur pleistozänen Landschaftsgeschichte im nördlichen Teil des Kantons Zürich aufgrund hydrogeologischer Untersuchungen, Eclogae Geologicae Helvetiae 73(1), 251–270.
Persistenter Link: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-164953>
- [14] Dr. von Moos AG (2012): Grundwasserstudie Bülach - Hochfelden, AWEL, Abteilung Gewässerschutz.
- [15] AWEL (2007): Risikobeurteilung von Arzneimitteln und endokrin wirksamen Substanzen in Oberflächengewässern des Kantons Zürich. Praktikumsbericht von Andreas Keller. 2. überarbeitete Version. 71 S.
- [16] Abegglen C. & Sigrist H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. BAFU. Umwelt-Wissen Nr.1214.
- [17] AWEL (2010): Pestiziduntersuchungen bei den Hauptmessstellen Furtbach bei Würenlos, Glatt vor Rhein, Jonen nach ARA Zwillikon, Reppisch bei Dietikon in den Jahren 2007 bis 2009. 135 S.
- [18] Bundesamt für Gesundheit, Umgang mit nicht geregelten Fremdstoffen im Trinkwasser, Leitfaden des BAG erstellt in Zusammenarbeit mit dem BAFU, 16. Januar 2012
- [19] WHO, http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/info_sheet_pharmaceuticals/en/index.html (2013)

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLEN	Seite
Tabelle 1: Abfluss-Messstationen an der Glatt und charakteristische Abflüsse	6
Tabelle 2: Abflüsse der ARA im Glattal in den Jahren 2010–2012	8
Tabelle 3: Grund-/Trinkwasserfassungen im unteren Glattal	10
Tabelle 4: Weitere Grundwasser-Beprobungsstellen im unteren Glattal	10
Tabelle 5: Hydrogeologische Daten zum Tritium-Durchbruch, Zwischenfall vom 13.12.1983 [4]	13
Tabelle 6: Laufende Untersuchungen an ARA-Ausläufen, Glatt und Grundwasser	14
Tabelle 7: Übersicht Beprobungsstellen	16
Tabelle 8: Häufigkeit und Methodik der Probenahme	16
Tabelle 9: Durchgeführte Probenahmen und Analysen	16
Tabelle 10: Untersuchte Indikatorsubstanzen ARA	17
Tabelle 11: In Grundwasserproben der 2. Messkampagne nachgewiesene Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel und hormonaktive Stoffe (µg/l)	24
Tabelle 12: Berechneter Anteil an Glatt-Infiltrat im Grundwasser aufgrund der Gehalte ausgewählter Spurenstoffe (Mittelwertbetrachtung)	27
Tabelle 13: Befunde Mikroverunreinigungen in der Glatt und Qualitätskriterien	31
Tabelle 14: Vergleich Grundwassergehalte mit Daten aus Risikobewertungen	32
FIGUREN	
Figur 1: Glatt-Abfluss bei Dübendorf und bei Rheinsfelden sowie Niederschlag in Kloten im Zeitraum von Januar 2010 bis Januar 2013	7
Figur 2: Ganglinien des Grundwasserspiegels der Kantonalen Pegel B2 bei Oberglatt und G25 bei Glattfelden von Januar 2010 bis Januar 2013	8
Figur 3: Bilanzierung der Zu- und Abflüsse des Grundwasserkörpers im unteren Glattal	12
Figur 4: Beprobungsstellen und Grundwasservorkommen im Glattal	15
Figur 5: Indikatorsubstanzen im ARA-Abfluss	19
Figur 6: Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in die Glatt bzgl. der Indikatorsubstanzen Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol	20
Figur 7: Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in das Grundwasser bzgl. der Indikatorsubstanzen Benzotriazol, Carbamazepin und Sulfamethoxazol	20
Figur 8: Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in die Glatt bzgl. dem künstlichen Süsstoff Acesulfam	21
Figur 9: Glatt-Abfluss und Acesulfam-Gehalt und -Fracht bei Schwerzenbach (Abfluss Greifensee)	21
Figur 10: Glatt-Abfluss und Acesulfam-Gehalt und -Fracht bei Rheinsfelden (Mündung in den Rhein)	21
Figur 11: Acesulfam-Konzentration in den ARA-Ausläufen, in der Glatt und im Grundwasser	22
Figur 12: Prozentualer Eintrag der ARA-Abflüsse in das Grundwasser bzgl. dem künstlichen Süsstoff Acesulfam	22
Figur 13: Arzneimittelrückstände, hormonell wirksame und andere Substanzen in den ARA-Abflüssen: Ergebnisse der Beprobung im 2. Quartal 2012	23
Figur 14: Arzneimittelrückstände, hormonell wirksame und andere Substanzen in der Glatt: Ergebnisse der Beprobung im 2. Quartal 2012	24
Figur 15: Röntgenkontrastmittel und Bisphenol A in der Glatt: Ergebnisse der Beprobung im 4. Quartal 2012	25
Figur 16: Arzneimittelrückstände, hormonell wirksame und andere Substanzen im Grundwasser: Ergebnisse der Beprobung im 2. Quartal 2012	25
Figur 17: Röntgenkontrastmittel im Grundwasser: Ergebnisse der Beprobung im 4. Quartal 2012 (Beprobung Januar 2013)	25
Figur 18: Acesulfam-Konzentration in der Glatt und im Grundwasser mit Abschätzung des Anteils «Glatt-Infiltrat» im Grundwasser	28
Figur 19: Hydrogeologisches Querprofil «Endhöri» (10fach überhöht)	29
Figur 20: Diclofenac-Konzentration in der Glatt anlässlich der Probenahmekampagnen 2012/13	31

