

**Überwachung der Grundwasser-Qualität im Kanton Zug**

**Bestandaufnahme und Konzept für den Zeitraum  
2017-2026**

**Volker Lützenkirchen**  
**Projektleiter Grundwasser**  
**Amt für Umweltschutz des Kantons Zug**

**Zug, 21.12.2017**

## Inhalt

<b>1.</b>	<b>Ausgangslage und Rahmenbedingungen Grundwasserüberwachung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Heutige Grundwasserüberwachung im Kanton Zug</b>	<b>6</b>
2.1.	Bisherige Grundwasser-Überwachungsprogramme	6
2.2.	Heutige Grundwasserüberwachung durch AfU und AVS (Kanton)	6
2.3.	Ergebnisse der bisherigen Grundwasserüberwachung	9
2.4.	Vergleich mit Nachbarkantonen	12
2.5.	Fazit derzeitige Grundwasserüberwachung Kanton Zug	12
<b>3.</b>	<b>Ziele der zukünftigen Grundwasserüberwachung im Kanton Zug</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>Repräsentativität von Grundwasser-Messstellen</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>Ressourcen im AfU / Kanton ZG für zukünftige Grundwasser-Überwachung</b>	<b>14</b>
5.1.	Personal	14
5.2.	Kosten & Budget	14
<b>6.</b>	<b>Zukünftige Überwachung der Grundwasserqualität im Kanton Zug 2017 bis 2026</b>	<b>14</b>
6.1.	Grundsätze	15
6.2.	Erster Schritt: Target- und Suspect-Screening	15
6.3.	Weitere Schritte, Vorschläge für Stoffgruppen	16
6.4.	Praktische Leitlinien	17
6.5.	Überlegungen zu Kosten	18
<b>7.</b>	<b>Datenauswertung und Berichterstattung</b>	<b>18</b>
<b>8.</b>	<b>Nächste Schritte &amp; Zeitplan ab 2017</b>	<b>19</b>

## **Abbildungen**

Abbildung 1:	Grundwasserfassungen $\geq 100$ l/min und Quellen $\geq 60$ l/min öffentlicher Trinkwasserversorgungen im Kanton Zug; NAQUA-SPEZ-Messstellen und Messstellen im bisherigen GW-Überwachungsprogramm des AfU Zug.	8
Abbildung 2:	Verlauf der Nitrat-Konzentrationen an den vier GW-Messstellen im Überwachungsprogramm des AfU Zug und von zwei ausgewählten GW-Messstellen des Programms NAQUA-spez.	10
Abbildung 3:	Darstellung der häufigsten Spurenstoffe im Grundwasser in Europa [6].	18

## **Tabellen**

Tabelle 1:	Regelmässige Grundwasser-Analysen durch das AVS im Auftrag des AfU.	6
Tabelle 2:	Zusammenstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgungen im Kanton Zug.	7
Tabelle 3:	NAQUA-Stationen aus dem Modul SPEZ im Kanton Zug.	9
Tabelle 4:	Zusammenstellung der Spurenstoff-Nachweise an den NAQUA-SPEZ-Messstellen im Kanton Zug 2002 bis 2016 (Ergebnisse 2015 & 2016 noch nicht durch das BAFU validiert). Qualitätskriterien EQS gemäss Vorschlägen des Ökotoxizentrums für Oberflächengewässer.	11
Tabelle 5:	Vom AVS analysierte Mikroverunreinigungen für die Messkampagne in [E], 2015.	22

## **Anhang**

1. Grundwasser-Messstellen im Kanton Zug
2. Vom AVS analysierte Mikroverunreinigungen, 2015

## 1. Ausgangslage und Rahmenbedingungen Grundwasserüberwachung

Verschiedene Bundesgesetze und kantonale Gesetze regeln den Schutz des Grundwassers (z.B. Gewässerschutzgesetz GSchG Art. 43, Gewässerschutzverordnung GSchV Art. 29 ff.). Auf Bundesebene verpflichtet die Bundesverfassung den Bund resp. das Bundesamt für Umwelt BAFU, «die notwendigen statistischen Daten über den Zustand und die Entwicklung der Umwelt in der Schweiz zu erheben» (Art. 65 Abs. 1 BV) sowie «im Rahmen seiner Zuständigkeiten für die haushälterische Nutzung und den Schutz der Wasservorkommen sowie für die Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers» zu sorgen und Grundsätze über «die Erhaltung und Erschliessung der Wasservorkommen» aufzustellen (Art. 76 Abs. 1 und 2 BV). Des Weiteren ist der Bund beauftragt, «Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse» durchzuführen «über die Wasserqualität der ober- und unterirdischen Gewässer» (Art. 57 Abs. 1, GSchG) und die "Ergebnisse und die Auswertung der Erhebungen Interessierten zur Verfügung» (Art. 57 Abs. 3 GSchG) zu stellen.

Die Kantone sind durch das GSchG angehalten, weitere Erhebungen durchzuführen, die für den Vollzug notwendig sind. Sie informieren gemäss der Aarhus-Konvention (u.a. möglichst freien Zugang zu Umweltinformationen, Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren) über den Gewässerzustand, Gewässerschutz und allfällige Massnahmen.

### Gesetzliche Grundlagen

#### **Bund**

##### **GSchG, Art. 50 Information und Beratung, Abs. 1**

<sup>1</sup> *Bund und Kantone prüfen die Auswirkungen der Massnahmen dieses Gesetzes und informieren die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz und den Zustand der Gewässer;*

*insbesondere:*

*a. veröffentlichen sie die Erhebungen über den Erfolg der Massnahmen dieses Gesetzes*

##### **GSchG, Art. 58 Aufgaben der Kantone**

<sup>1</sup> *Die Kantone führen die weiteren Erhebungen durch, die für den Vollzug dieses Gesetzes erforderlich sind. Sie teilen die Ergebnisse den Bundesstellen mit.*

##### **GSchV Art 49 Abs. 2:**

<sup>2</sup> *Die Kantone informieren über den Zustand der Gewässer und den Gewässerschutz in ihrem Kanton; dabei informieren sie auch über die getroffenen Massnahmen und deren Wirksamkeit sowie über Badeplätze, bei [...].*

#### **Kanton**

##### **Gesetz über die Gewässer, GewG**

§ 67, Art. 1: Grundwassererforschung

<sup>1</sup> *Der Kanton erforscht die Grundwasservorkommen*

Der Schutz des Grundwassers als eine wichtige Ressource stellt eine essentielle Daseinsvorsorge dar. Die Kenntnis des Zustandes dieser Ressource ist eine Voraussetzung für ihre Nutzung: Dies betrifft sowohl die Quantität (ist genügend Grundwasser vorhanden? Wieviel kann genutzt werden? Steht diese Ressource in bestimmten Situationen unter Druck?) wie auch die Qualität (Welche nachteiligen Stoffe sind vorhanden und in welcher Konzentration? Müssen Massnahmen zu deren Begrenzung getroffen werden?).

Die zukünftige Überwachung der Grundwasserquantität und der Grundwassertemperaturen im Kanton Zug ist in einem separaten Konzept (Überwachung Grundwasser-Quantität und -Temperatur im Kanton Zug, 21.12.2017) dargelegt. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ziele, das weitere Vorgehen, der Umfang der Messungen und die Auswahl von Messstellen für die Überwachung der Grundwasserqualität dargestellt, begründet und diskutiert.

Die Überwachung der GW-Qualität wurde seit 2007 vom AfU Zug nur noch in geringem Umfang durchgeführt ([B]; siehe Abschnitt 2.1). Mit den gesetzlich vorgeschriebenen Rohwasseranalysen an Pumpwerken der öffentlichen Trinkwasserversorgungen kann die mikrobiologische und hydrochemische Qualität des Trinkwassers gewährleistet werden. Die Grundwasserbeobachtung im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) gewährleistet zudem eine gewisse Einschätzung der Grundwasserqualität hinsichtlich von Mikroverunreinigungen.

Das AfU Zug möchte die Überwachung der Grundwasserqualität ab 2017 wieder verstärkt wahrnehmen. Nach heutigem Kenntnisstand ist die Grundwasserqualität in den meisten Gebieten zwar vorwiegend gut bis sehr gut. Mit den bisherigen punktuellen Messungen der Mikroverunreinigungen im NAQUA-SPEZ-Programm des BAFU und Rohwasseranalysen wird jedoch nur ein begrenztes Spektrum an Stoffen abgedeckt. Mit der im vorliegenden Konzept skizzierten Überwachung der Grundwasserqualität soll im Laufe der nächsten Jahre eine umfassende und belastbare Einschätzung des qualitativen Zustands vor allem der für Trinkwasserzwecke genutzten Grundwasservorkommen im Kanton Zug ermöglicht werden. Dabei sollen auch Randbereiche der Grundwasservorkommen berücksichtigt werden, um mögliche Gefährdungen des genutzten Grundwassers frühzeitig erkennen und Eintragspfade für relevante Stoffe abgrenzen zu können.

Falls bei der Grundwasserqualität Defizite zum Vorschein kommen, sollen weitere gezielte Messungen Zusammenhänge und Ursachen aufzeigen, um auf dieser Basis allfällige Massnahmen zur Verbesserung des Zustandes festlegen zu können. Das Vorgehen wird mit dem für die Kontrolle der Trinkwasserqualität besorgten Amtes für Verbraucherschutz AVS abgestimmt, um das gemeinsame Ziel - die Sicherstellung einer einwandfreien Trinkwasserqualität - effizient erreichen zu können.

Die vorgeschlagene risikobasierte Grundwasser-Qualitätsüberwachung ist - im Gegensatz zu einer eigentlichen Überwachung mit regelmässigen Messungen an identischen Messstellen - insgesamt ein iterativer Prozess mit laufenden Anpassungen anhand neuer Erkenntnisse. Das bedeutet, dass im vorliegenden Dokument zwar das Vorgehen für die zukünftige Grundwas-

serüberwachung beschrieben wird und Problemfelder skizziert werden, nicht aber konkrete Probenahmeprogramme (risikobasierter Ansatz).

Im folgenden Kapitel 2 wird die derzeitige Überwachung der Grundwasserqualität im Kanton Zug vorgestellt und mit entsprechenden Aktivitäten in Nachbarkantonen verglichen. Anschliessend werden in Kapitel 3 grundsätzliche Ziele einer zukünftigen Qualitätsüberwachung dargestellt. Überlegungen zu Grundwassermessstellen finden sich in Kapitel 4. Auf der Basis der finanziellen und personellen Ressourcen im AfU Zug (Kapitel 5) wird ein Konzept der Grundwasserüberwachung in Kapitel 6 und die möglichen Produkte in Kapitel 7 dargestellt. Ein Ausblick mit Zeitplan ergänzt das für den Zeitraum 2017-2026 gültige Konzept für Grundwasserüberwachung im Kanton Zug (Kapitel 8).

## 2. Heutige Grundwasserüberwachung im Kanton Zug

### 2.1. Bisherige Grundwasser-Überwachungsprogramme

Verschiedene chemische und physikalische Parameter wurden durch das AfU bis 1996 an 64 Grundwasser-Messstellen erfasst, ein zusätzliches Überwachungsprogramm "Deponiemonitoring" umfasste 30 Messstationen. Die Messstellenanzahl wurde in den Folgejahren drastisch reduziert [B], ab 2007 wurde die GW-Qualität noch an 13 Probenahmenstellen 2 Mal jährlich analysiert.

### 2.2. Heutige Grundwasserüberwachung durch AfU und AVS (Kanton)

An vier Messstellen (Quellgruppe Rossberg, drei Piezometer, davon eines (6213) im NAQUA-SPEZ-Programm, siehe Tabelle 1 sowie Abbildung 1) werden zurzeit im Auftrag des AfU durch das AVS zweimal jährlich allgemeine Qualitätsparameter im Labor analysiert.

**Tabelle 1: Regelmässige Grundwasser-Analysen durch das AVS im Auftrag des AfU.**

Nummer	Ort	Zu analysierende Parameter	Bemerkungen
1013 (P)	Baar - Sennweid, tieferes Grundwasser	pH-Wert, Gesamthärte, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, DOC	
3130 (P)	Hünenberg - Drälikon	pH-Wert, Gesamthärte, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, DOC	
6213 (P)	Cham - Kieswerk Risi	pH-Wert, Gesamthärte, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, DOC	NAQUA SPEZ
7006 (Q)	Unterägeri - Quellgruppe Rossberg (Hürital)	pH-Wert, Gesamthärte, Ammonium, Nitrit, Nitrat, Phosphat, Chlorid, DOC	

(P): Piezometer, (Q) Quelle

## Wasserversorgungen Kanton Zug

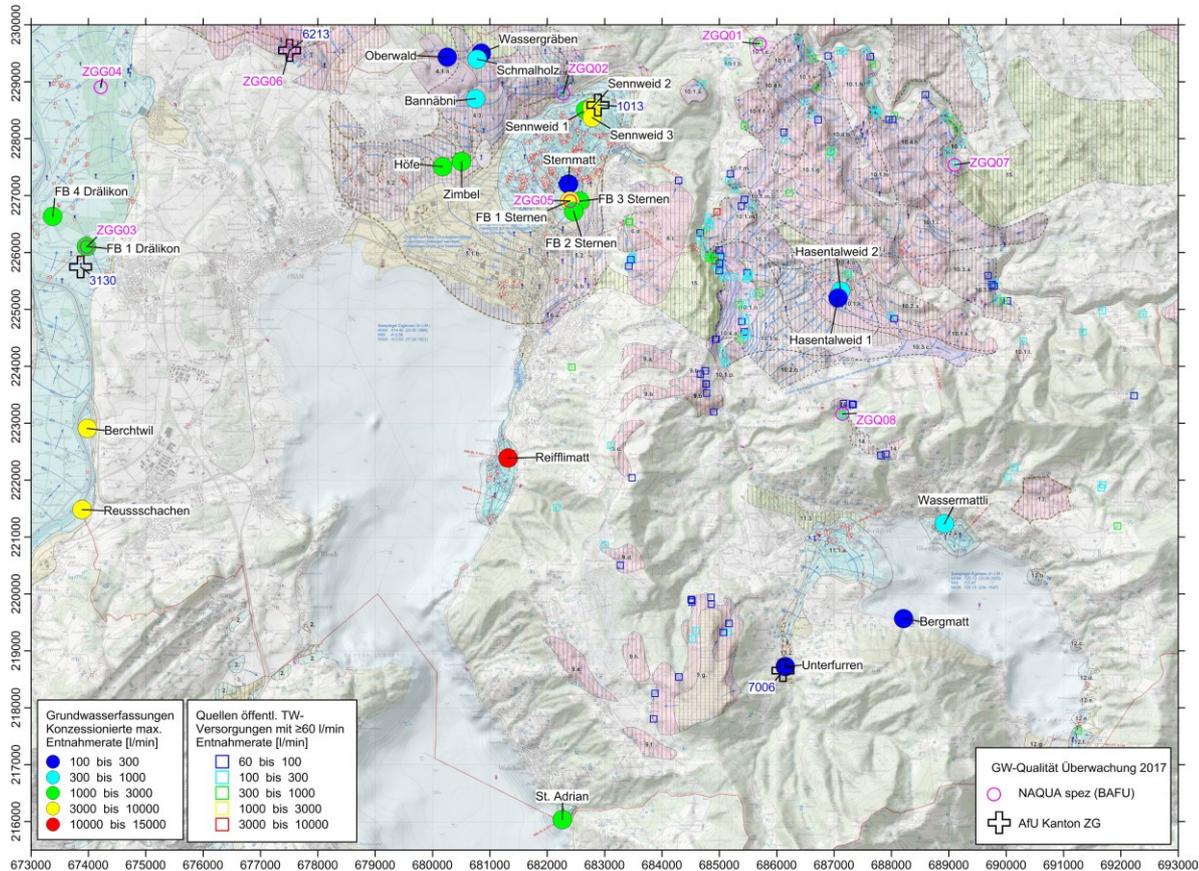
Das AVS nimmt die gesetzlich vorgeschriebene Überwachung und Kontrolle des Trinkwassers öffentlicher Trinkwasserversorgungen wahr (siehe Tabelle 2 und Abbildung 1). Dabei werden vor allem Nährstoffe und die Mikrobiologie untersucht. Einige Wasserversorgungen lassen zusätzliche Wasserproben analysieren. 2016 wurde vom AVS das Rohwasser verschiedener

Trinkwasserversorgungen auf Mikroverunreinigungen analysiert, darunter vor allem Abwassertracer (Industriechemikalien, Medikamente und deren Metaboliten, Lebensmittelzusatzstoffe) sowie einige Pflanzenschutzmittel.

Daten zur Trinkwasserqualität der Wasserversorgungen im Kanton Zug (Tabelle 2) werden jeweils im SVGW ([www.trinkwasser.ch](http://www.trinkwasser.ch)) publiziert. Es finden sich dort Analysendaten mit recht unterschiedlicher Anzahl pro Jahr (4 bis >100), Daten zu Mikroverunreinigungen sind dabei nicht erhältlich.

**Tabelle 2: Zusammenstellung der öffentlichen Trinkwasserversorgungen im Kanton Zug.**

Name	Versorgungsgebiet, Gemeinde (Anzahl versorgter Einwohner)	Aufbereitung
WV-Genossenschaft Allenwinden	Baar, Allenwinden, (1550 Einwohner)	UV
Wasserversorgung Arbach AG	Arbach, Baar (700)	k.A.
Korporation Baar-Dorf	Baar, Teile von Inwil, (17'800 Einwohner)	k.A.
Wassergenossenschaft Finstersee	Finstersee, (235 Einwohner)	UV-Entkeimungsanlage
Dorfgenossenschaft Menzingen	Menzingen (3500 Einwohner)	teilw. Sandfilter
Wasserversorgung Neuheim	Neuheim	UV
WV Oberägeri	Oberägeri, (4'800 Einwohner)	Chlordioxid/UV
Wassergenossenschaft Rotkreuz und Umgebung	Rotkreuz, Risch, Buonas (10'000)	GW: Chlordioxid, QW: UV
Wasser- und Elektrizitätswerk Steinhausen	Gemeinde Steinhausen, Cham: Bibersee und Grindel, Knonau: Baareggstrasse 51-57, Baar: Schönau	nein
Korporation Unterägeri	Unterägeri	UV
Walchwil	Walchwil	UV
WWZ Netze AG, WWZ Hochdorf AG	Zug, Zugerberg, Cham, Hünenberg, Teile von Baar (Walterswil Sihlbrugg) und Hochdorf	Chlordioxid/UV



**Abbildung 1: Grundwasserfassungen  $\geq 100$  l/min und Quellen  $\geq 60$  l/min öffentlicher Trinkwasserversorgungen im Kanton Zug; NAQUA-SPEZ-Messstellen und Messstellen im bisherigen GW-Überwachungsprogramm des AfU Zug.**

### BAFU

Eine regelmässige Qualitätsüberwachung mit dem Schwerpunkt Mikroverunreinigungen wurde seit 2002 durch die Grundwasseranalysen an acht Messstellen (vgl. Abbildung 1 und Tabelle 3; vier Quellen, zwei Grundwasserfassungen und zwei Piezometer) im Rahmen des Überwachungsprogramms des BAUFU (NAQUA, Modul SPEZ, meist 2 bis 4x pro Jahr) gewährleistet.

**Tabelle 3: NAQUA-Stationen aus dem Modul SPEZ im Kanton Zug.**

Bezeichnung	Region	Lokalname	Gemeinde	Eigentümer	Koordinaten		Kote m ü.M.	Bodennutzung	Geologie Hydrogeologie	Schüttung l/min	Bemerkungen
					W-E	N-S					
ZGQ01	M	Utigerhof	Baar	WV Zürich	685'700	229'665	554	AB	FLS	600-800	Aufstoss? Geologie: Schotter mit Moränenbedeckung.
ZGQ02	M	Jöchler	Baar	WV Blickensdorf	682'280	228'795	470	GS	FLS	120-150	Bodennutzung: Siedlungsraum mit Schmutzwasserleitungen. Einzugsgebiet AG/GV. Geol.: Schotter mit Moränendecke.
ZGG03	M	Drällikon, VFB1	Hünenberg	WWZ AG	673'970	226'100	398	AB	RFS	2'500	Infiltration Reuss. Bodennutzung: zusätzlich Kantonsstrasse und Hofdüngeranlagen.
ZGG04	M	PM Nr. 3421	Hünenberg	AfU ZG	674'216	228'906	394	WA	RFS	-	Piezometer (-6.6 m). Bodennutzung: Zuflussbereich untergeordnet auch AB. Wunsch AfU ZG.
ZGG05	M	Sternen, VFB1	Baar	WWZ AG	682'400	226'905	435	AB	SUB	3'300	Bodennutzung: untergeordnet Obstbau. Im Abstrombereich einer grossen Siedlung (Baar).
ZGG06	M	PM Nr. 6213	Cham	AfU ZG	677'505	229'549	447	AG/GV	FLS	-	Piezometer (-13.6 m). Bodennutzung: Kiesabbau, Zuflussbereich AG/GV.
ZGQ07	VA	Schwand 1	Menzingen	WV Zürich	689'100	227'540	603	AB	MOR	100-400	Bodennutzung: Ackerbau im Zuströmbereich, evtl. Versickerungsanlagen.
ZGQ08	VA	Stollenquelle	Menzingen	Dorfgenoss. Menzigen	687'147	223'163	890	AG/GV	MOL	400-700	Infiltration Bach

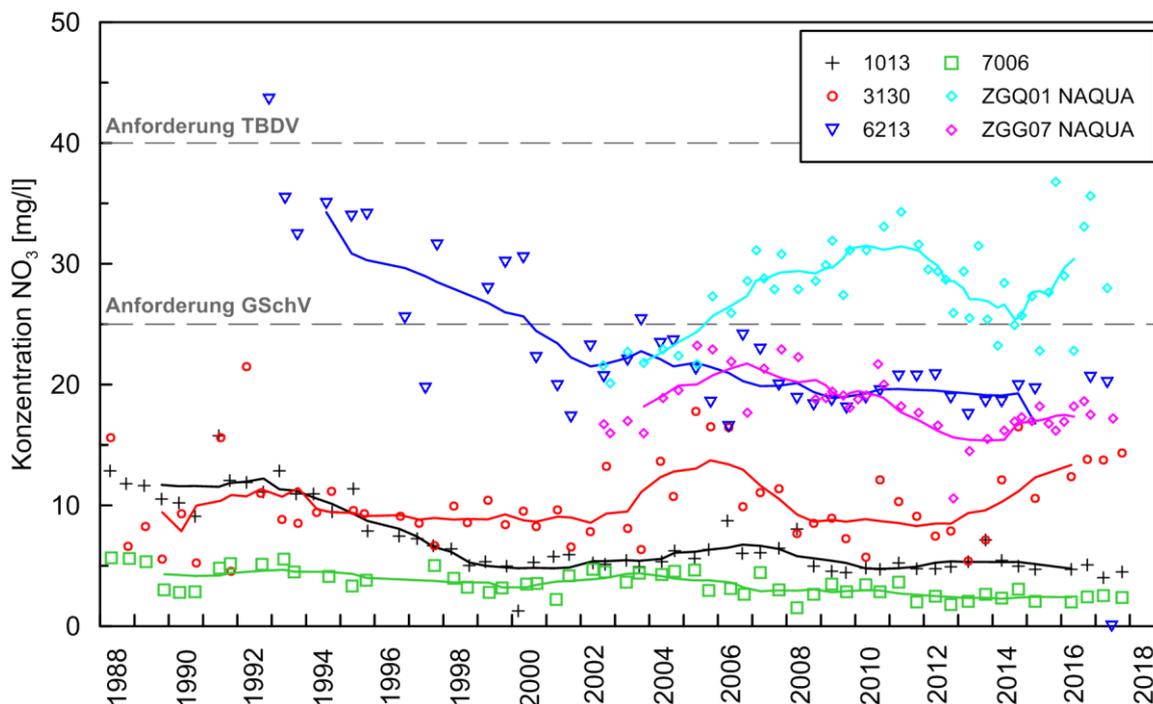
  

Bodennutzung		Bodennutzung		Geologie	
AB	Ackerbau	AJ	Alp- und Juraweiden	RFS	Rezente Flussschotter
AG/GV	Futterbau	UP	Unproduktive Gebiete	FLS	Fluvioglaziale Ablagerungen
RE	Rebland, Obstbau	GS	Siedlungen	MOR	Moränen
SR	Streue / Übrige	VW	Verkehrswege	SUB	Schuttfächer
WA	Bestockte Flächen			MOL	Klastische Gesteine (vorw. Molasse)

### 2.3. Ergebnisse der bisherigen Grundwasserüberwachung

Qualitätsdaten wurden seitens des AfU seit längerem nicht mehr veröffentlicht; die gesetzlich vorgeschriebenen Qualitätsdaten (im Wesentlichen Nährstoffe und Mikrobiologie) aller Trinkwasserversorgungen sind über [trinkwasser.ch](http://trinkwasser.ch) öffentlich zugänglich. Diese beziehen sich meist auf das Rohwasser.

Die Nitratgehalte im Grundwasser an den vier noch regelmässig untersuchten Messstellen des Kantons sowie an den NAQUA spez-Messstellen sind überwiegend mässig hoch bis gering, zudem zeigt sich eine gleichbleibende oder abnehmende Tendenz (Abbildung 2). Es bestehen vereinzelt aber auch Ausnahmen, wie über der Anforderung an Grundwasser von 25 mg/l (GSchV) liegenden Konzentrationen oder in den letzten Jahren steigenden Nitratwerten. Ein systematischer Überblick bezüglich der Nährstoffe fehlt jedoch bisher.



**Abbildung 2: Verlauf der Nitrat-Konzentrationen an den vier GW-Messstellen im Überwachungsprogramm des AfU Zug und bei zwei ausgewählten GW-Messstellen des Programms NAQUA-spez.**

Das BAFU publiziert im Abstand von mehreren Jahren die Ergebnisse des NAQUA-Überwachungsprogramms [C]. Darin finden sich in den entsprechenden Berichten aber nur klassierte Angaben von Spurenstoffkonzentrationen an den jeweiligen Messstellen und Aussagen schweizweiten zu Trends und Besonderheiten. Die Analysenergebnisse der Zuger NAQUA spez-Messstellen werden dem AfU jeweils zugestellt und können frei verwendet werden. Sie bilden neben den bisher nicht veröffentlichten Analysenergebnissen des AVS von Rohwasser von Trinkwasserversorgungen die zurzeit einzige Grundlage zur Beurteilung der Grundwasserqualität bezüglich der Spurenstoffe im Kanton Zug.

**Tabelle 4: Zusammenstellung der Spurenstoff-Nachweise an den NAQUA-SPEZ-Messstellen im Kanton Zug 2002 bis 2016 (Ergebnisse 2015 & 2016 noch nicht durch das BAFU validiert). Qualitätskriterien EQS gemäss Vorschlägen des Ökotoxizentrums für Oberflächengewässer [D].**

Stoff	Baar - Utigerhof		Baar - Jochler		Hünenberg - Drällikon VFB1		Hünenberg - PM 3421		Baar - Stern VFB1		Cham - PM 6213		Menzingen - Schwand 1		Menzingen - Stollenquelle		Akutes Qualitätskriterium (MAC-EQS)	Chronisches Qualitätskriterium (AA-EQS)	
	ZG01	ZG02	ZG03	ZG04	ZG05	ZG06	ZG07	ZG08	[µg/l]	[µg/l]									
<b>PSM</b>																			
2,6-Dichlorbenzamid		9	43		17	77													
Atrazin			4	15						1	4								
Desethylatrazin	2		1	3	24	92				16	57								
Heptachlor-epoxid									1	5									
Metazachlor-ESA	1	10								1	10								
Metolachlor-ESA	7	47	2	13	11	73	5	26		9	60								
Metolachlor-OXA										1	7								
Simazin				1	4														
Terbutryn													1	4				0.34	0.065
DEET	1		3	33			6	75		1	13	1	13	3	38			410	88
Fenpropimorph												1	6						
<b>VOC</b>																			
MTBE			1	3	1	5			3	11	1	4							
Toluol							1	5			1	4							
Trichlorethen											1	4							
<b>Abwassertracer</b>																			
1-H-Benzotriazol				6	100						3	38						158	19
Acesulfam			6	86	3	75			6	100									
Diclofenac											1	10						nicht vorgeschl.	0.05
Saccharin				1	33														
Anzahl verschiedene	4	6	8	4	3	11	3	1				3	1						
Anzahl Nachweise	11	22	51	29	10	36	3	3				3	3						
Max PSM [µg/l]	0.031	0.030	0.047	0.253	0.090	0.032	0.024	0.050											
Max VOC [µg/l]		0.080	0.060	0.100	0.410	0.300													
Max ABW [µg/l]		0.041	0.047	0.040	0.040	0.110													

rot: Maximalkonzentration in Stoffgruppe  
2,6-Dichlorbenzamid: 0.079 max.

Pflanzenschutzmittel sind demnach im Grundwasser weit verbreitet (Tabelle 4). Gemäss GSchV besteht eine Anforderung von 0.1 µg/l pro Einzelstoff von Pflanzenschutzmitteln (PSM). Danach hat in der gesamten Beobachtungszeit nur DEET (Insektenrepellent) diesen Wert überschritten, das Qualitätskriterium des Ökotoxizentrums für Oberflächengewässer liegt jedoch wesentlich höher. Differenzierte Grenz- Leit-, Indikator- oder Massnahmenwerte können je nach Schutzziel deutlich davon abweichen. Eine detaillierte Auswertung dieser Daten wurde bisher noch nicht durchgeführt. Die Gesamtsituation wird zurzeit jedoch nicht als besorgniserregend eingestuft. Aus Tabelle 4 kann jedoch abgeleitet werden, dass eine vertiefte Qualitätsüberwachung ausgesprochen wichtig für die zukünftige Sicherstellung einer einwandfreien Trinkwasserqualität ist.

Punktuell und aus Altlastenuntersuchungen sind verschiedene Problemfelder zu Mikroverunreinigungen im Kanton Zug bekannt (z.B. Freon 11 v.a. im Baarerbecken, Benzotriazol im Zugersee und Oberflächengewässern) oder können aufgrund von Nutzungen vermutet werden (verschiedene PSM aus der Landwirtschaft, Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung, Schwermetalle aus Industrie & Altlasten, evtl. aus Meteorwasser-Versickerungen).

Hydrochemiedaten und Analysenergebnisse zu Mikroverunreinigungen wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte im Kanton Zug vor allem projektbezogen erhoben (Grundwassererforschung, Altlastenbearbeitung, thermische GW-Nutzungen). Diese Daten finden sich verstreut über hunderte Dossiers. Das AfU plant die Anschaffung und Betrieb einer Datenbank (WISKI) zur Verwaltung und Nutzung aller Grundwasserdaten. Die Integration älterer Hydrochemiedaten und Analysenergebnisse zu verschiedenen Mikroverunreinigungen wird voraussichtlich bezogen auf einzelne Grundwasservorkommen vorgenommen, prioritär für genutzte und nachweislich belastete Gebiete.

Die Wasserversorgung der Stadt Zürich überwacht das aus dem Kanton Zug stammende Quellwasser separat nach Herkunft aus dem Lorzetal resp. aus dem Sihltal. Fast 200 organische Spurenstoffe werden 4x, teilweise 12x pro Jahr analysiert, dazu Hydrochemie und Metalle. Die Ergebnisse sind online [H] zugänglich. 2015 wurden im (Misch-) Rohwasser aus dem Sihltal nur DEET mit maximal 6 ng/l und Acesulfam mit maximal 11 ng/l nachgewiesen, 2016 im Mischquellwasser aus dem Lorzetal Guanylarnstoff (11 ng/l, knapp über Bestimmungsgrenze). Der Nitratgehalt lag jeweils um 10 mg/l.

#### 2.4. Vergleich mit Nachbarkantonen

##### **Kanton Zürich**

Daten zur Grundwasserqualität (Hydrochemie) sind im GIS des AWEL abrufbar. Mikroverunreinigungen wurden regional sporadisch untersucht und die Ergebnisse in verschiedenen Berichten publiziert [I].

##### **Kanton Aargau**

Die Abteilung für Umwelt hat zum Thema Mikroverunreinigung im Grundwasser bisher keine öffentlich zugängliche Berichte oder Daten im Internet publiziert.

##### **Kanton Luzern**

Grundwasserqualitätsdaten können im Kanton Luzern via Internet aufgerufen werden. Die Datenbänke mit Ergebnissen unter anderem aus dem NAQUA-SPEZ-Programm waren jedoch aus technischen Gründen nicht abrufbar. Der zeitliche Verlauf der Nitrat-Daten können für jede der gut 40 Messstellen eingesehen werden.

##### **Kanton Schwyz**

Beim Kanton Schwyz sind keine Berichte zu Mikroverunreinigungen oder anderen Qualitätsparametern im Grundwasser online erhältlich.

#### 2.5. Fazit derzeitige Grundwasserüberwachung Kanton Zug

Die Qualitätsüberwachung des Grundwassers muss als dringend verbesserungswürdig eingestuft werden. Es liegen mit Ausnahme der Analysen des AVS (Rohwasser, 2016, nicht dem AfU vorliegend) und des BAFU keine systematischen Beobachtungen zu relevanten möglichen Mikroverunreinigungen vor, obwohl verschiedene Problemfelder bekannt sind (s.o.). Auch be-

züglich der Nährstoffe bestehen keine systematischen Erfassungen und/oder Auswertungen vorhandener Daten.

Die bisherigen verfügbaren Analysendaten zeigen allerdings auch, dass die Situation bezüglich der Mikroverunreinigungen und der Nährstoffe im Kanton Zug mehrheitlich gut sein dürfte, auch im Vergleich zu weiten Teilen des Mittellandes. Es ist somit keine akute Gefährdung des Grundwassers bekannt und es besteht daher kein konkreter Anlass, bestimmte Gebiete oder bestimmte Stoffgruppen bei der zukünftigen Grundwasserüberwachung vorzuziehen, weil Gefahr im Verzug wäre. Gleichwohl liegen ausreichend Hinweise vor, um die Grundwasserqualität im Kanton Zug mit modernen Ansätzen im Sinne einer Bestandsaufnahme systematisch zu erfassen.

### **3. Ziele der zukünftigen Grundwasserüberwachung im Kanton Zug**

Die Ziele der zukünftigen Grundwasserqualitätsüberwachung im Kanton Zug unterscheiden sich naturgemäss teilweise von jenen der Grundwasserüberwachung durch das BAFU. Übergeordnet soll die kantonale Grundwasserüberwachung dazu beitragen, den Zustand und die qualitative Entwicklung der Ressource Grundwasser in den verschiedenen Grundwassergebieten einschätzen zu können. Sie dient damit der langfristigen Sicherstellung einer einwandfreien Grundwasserqualität, der frühzeitigen Verhinderung von Belastungen resp. der Behebung von möglicherweise bestehenden Beeinträchtigungen und somit dem gegenwärtigen und zukünftigen Schutz der Menschen vor Belastungen des Trinkwassers durch unerwünschte Stoffe.

In den letzten ca. 15 Jahren wurde die Laboranalytik stark verbessert. Die human- und ökotoxikologische Bewertung verschiedener Mikroverunreinigungen ist einem steten Wandel unterworfen, dem die Gewässerschutzgesetzgebung nur teilweise folgen kann. Durch eine Vielzahl neuerer Untersuchungen vor allem im Bereich der Oberflächengewässer wird zum einen die Relevanz der Mikroverunreinigungen auch für das Grundwasser verdeutlicht, zum anderen rücken immer wieder neue Stoffgruppen in den Fokus, wie beispielsweise Industriechemikalien und Arzneimittel mit hormonähnlicher Wirkung, perfluorierte Kohlenwasserstoffe, Transformationsprodukte von PSM und Arzneimitteln (siehe auch Abbildung 3). Dazu gehören auch die Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen [1] oder Mikroplastik [2]. Im Zuge der Grundwasserqualitätsüberwachung werden neue Entwicklungen der Umweltanalytik sowie der Bewertung von Stoffen und Stoffgruppen laufend berücksichtigt.

Insgesamt soll der Fokus der Grundwasserqualitätsüberwachung durch das AfU weniger auf die kontinuierliche Beobachtung langfristiger hydrochemischer Trends oder auf Nährstoffdaten liegen als auf der Erfassung des Zustandes innerhalb von Grundwassergebieten bezüglich Schadstoffen oder Schadstoffgruppen, welche für bestimmte Bodennutzungen typisch sind, deren Anwesenheit aufgrund bestimmter Tätigkeiten vermutet werden kann oder für die es aus bisherigen Analysenresultate Hinweise gibt.

#### **4. Repräsentativität von Grundwasser-Messstellen**

Das Konzept für die quantitative Grundwasserüberwachung ist wie erwähnt in einem separaten Dokument beschrieben. Darin ist vorgesehen, für alle aktiv genutzten Messstellen, d.h. solche mit kontinuierlicher Aufzeichnung der Grundwasserspiegel, eine hydrogeologische Charakterisierung vorzunehmen. Es soll neben den technischen Daten auch die jeweils massgebliche Hydrogeologie erfasst werden: Anhand des Zuströmbereiches sowie der grundlegenden hydrogeologischen Prozesse (Art der Neubildung, Anbindung an Oberflächengewässer, etc.) kann jede Messstelle charakterisiert werden, so dass Messergebnisse für einen bestimmten Bereich als repräsentativ angesehen werden können. Diese laufend ergänzte Messstellencharakterisierung soll eine fundierte Einordnung von entsprechenden Grundwasseranalysergebnissen erlauben. Falls andere Messstellen zur Beprobung herangezogen werden, sollen auch diese entsprechend charakterisiert werden.

#### **5. Ressourcen im AfU / Kanton ZG für zukünftige Grundwasser-Überwachung**

##### **5.1. Personal**

Es stehen grössenordnungsmässig folgende Stellenprozente für die Überwachung des Grundwassers im Kanton Zug zur Verfügung:

Volker Lützenkirchen ca. 10 %  
Thomas Binzegger ca. 5-10 %  
Nathanael Lottenbach ca. 5-10 %

Insgesamt werden voraussichtlich 20 bis 30 Stellenprozente für die gesamte Grundwasserüberwachung (Qualität, Quantität, Temperatur) benötigt, dies entspricht bei einer Soll-Jahresarbeitszeit von ca. 2'100 h 420 bis 630 h. Darunter fallen neben der Qualitätsüberwachung auch der Unterhalt von Messstellen und Messgeräten, Datenentnahme und -verarbeitung sowie das Erstellen des Jahrbuches (siehe "Überwachung Grundwasser-Quantität und -Temperatur im Kanton Zug" vom 21.12.2017).

##### **5.2. Kosten & Budget**

Im Budget 2017 des AfU waren für GW-Erforschung und Überwachung Fr. 40'000.- eingestellt, im Budget 2018 sind es noch Fr. 25'000.-. Es wird für die Grundwasser-Überwachung mit einem Finanzrahmen von im Mittel jährlich Fr. 15'000.- für 2017 und die Jahre bis 2020 gerechnet.

#### **6. Zukünftige Überwachung der Grundwasserqualität im Kanton Zug 2017 bis 2026**

Aus den bisherigen Betrachtungen resultieren folgende Vorschläge zur zukünftigen Grundwasserüberwachung im Kanton Zug:

### 6.1. Grundsätze

- In den nächsten zehn Jahren sollen systematisch die Zustände verschiedener Grundwasservorkommen hinsichtlich von Mikroverunreinigungen und anderer als relevant betrachteten Spurenstoffen untersucht werden.
- Nährstoffe sollen vor allem in landwirtschaftlich genutzten Gebieten oder bei Hinweisen auf hohe Gehalte (mit-) gemessen werden.
- Das weitere Vorgehen richtet sich wesentlich nach den jeweiligen Befunden und soll nicht im vorliegenden Konzept genau festgelegt werden. Bei erkannten räumlichen oder stofflichen Problemen kann eine detaillierte Betrachtung von betroffenen Bereichen oder der möglichen Quellen der Mikroverunreinigungen angezeigt sein.
- Es soll bei jeder Beprobungskampagne geprüft werden, ob ein Einbezug des Oberflächengewässers angezeigt ist.
- Das AVS wird in die Planungen einbezogen, Daten werden nach Möglichkeit ausgetauscht.
- Bestehende Daten (AVS, WWZ, WVZ, andere Wasserversorgungen) werden berücksichtigt.
- Bei Hinweisen auf erhöhte Konzentrationen relevanter Mikroverunreinigungen folgen weitere Abklärungen bezüglich der Herkunft (Herkunft, diffuser oder punktueller, zeitlicher Verlauf).

### 6.2. Erster Schritt: Target- und Suspect-Screening

Ein umfangreiches Screening durch die EAWAG (LC-HRMS, *high-resolution mass spectrometry* gekoppelt mit Flüssigchromatografie, LC) an zwei für die Trinkwasserversorgung im Kanton Zug bedeutenden Pumpwerken (Drälikon, VFB2 und Sternen, VFB1, jeweils WWZ) soll einen Überblick der im Grundwasser relevanten Mikroverunreinigungen erlauben. Aufgrund des grossen finanziellen Aufwandes ist die Analysenanzahl zunächst auf zwei beschränkt. Die Auswahl der Messstellen ist wie folgt begründet:

- Aufgrund der hohen Entnahmeraten resp. -mengen sind die jeweiligen Proben für einen grösseren Grundwasserbereich repräsentativ.
- Beide Pumpwerke sind NAQUA-SPEZ-Messstellen. Die bisherigen Analysen erlauben eine gewisse Einordnung der Screening-Ergebnisse in den Kontext bisher nachgewiesener Mikroverunreinigungen.
- Die Ergebnisse sind relevant für eine bessere Einschätzung der Rohwasserqualität für Trinkwasser mit relativ vielen Konsumenten.
- Beim VFB 1 Sternen sind für wesentliche Anteile des Grundwassers keine grossen kurzfristigen Schwankungen in der Konzentration der Mikroverunreinigungen zu erwarten.
- Das Grundwasser im VFB 1 Drälikon stammt aus Reussinfiltrat, Infiltrat des Drälikerbaches und in der Reussebene neu gebildetem Grundwasser. Ersteres ist durch die Anwesenheit von Abwassertracern und PSM charakterisiert, letztere vermutlich vor allem durch PSM (Tabelle 4) und Nährstoffe; damit könnten gewisse Konzentrationsschwankungen im Rohwasser verbunden sein.

Das Target-Screening durch die EAWAG erlaubt in einem ersten Schritt die Identifikation von ca. 560 organischen Substanzen [J]; die Bestimmungsgrenzen liegen meist im tiefen ng/l-Bereich. In einem zweiten Schritt wird für PSM-Metabolite, für die kein Referenzstandard zur Verfügung steht, ein Suspect-Screening anhand der exakten Substanzmassen durchgeführt, mit dem zusätzlich einige hundert PSM-Metabolite identifiziert werden können.

### 6.3. Weitere Schritte, Vorschläge für Stoffgruppen

Je nach Ergebnis des beschriebenen Screenings werden weitere Untersuchungen zur Grundwasserqualitätsüberwachung durchgeführt. Anhand konkreter Fragestellungen werden für verschiedene Grundwasservorkommen bestimmte Stoffgruppen analysiert.

Das AVS hat sich grundsätzlich bereit erklärt, das AfU bei der Grundwasserqualitätsüberwachung zu unterstützen. Das Labor des AVS hat die Möglichkeit zum Nachweis von 15 Abwassertracern, Industriechemikalien und Pflanzenschutzmittel geschaffen (siehe u.a. Anhang 2). Leichtflüchtige Stoffe wie CKW können durch das AVS nicht bestimmt werden. Mit der Analytik des AVS können vor allem Hinweise auf einen möglichen Eintrag von Abwasser ins Grundwasser gewonnen werden (aus Regenüberläufen, Reussinfiltrat, undichte Kanalisation).

Vorschläge für weitere Schwerpunkte für die künftige Überwachung der Grundwasserqualität im Kanton Zug:

- Baarerbecken (bereits im November 2017 durchgeführt): Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (in relativ geringen Konzentrationen: Freon 11 mehrfach nachgewiesen, MTBE im PW Sternen; CKW im GW in teils hohen Konzentration im Bereich von Altlasten).
- Eintrag von Bioziden und Schwermetallen ins Grundwasser durch Versickerungsanlagen in dicht besiedelten Gebieten (Baarerbecken, bereits im November 2017 durchgeführt).
- Industriechemikalien, v.a. Benzotriazole im Baarerbecken (dort bereits im November 2017 durchgeführt).
- Diffuser Eintrag von Pflanzenschutzmittel in ausgewählten, für Trinkwasserzwecke genutzten Grundwasservorkommen (z.B.: Reussebene mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und Flussinfiltrat, Gebiet Maschwanden bis Knonau, etc.).
- Ein wesentlicher Anteil des im Zuger Bergland gefassten und genutzten Quellwassers wird durch die Wasserversorgung der Stadt Zürich zumindest als Mischwasser überwacht. Andere Quell- und Grundwasserfassungen mit lokaler Bedeutung sollen nach Abwägung des Risikos für das Auftreten von Mikroverunreinigungen v.a. aus der Landwirtschaft (hydrogeologische Verhältnisse, Intensität der LW, Spezialkulturen) bei der Überwachung der GW-Qualität stichprobenartig berücksichtigt werden.

- Abwassertracer in Gebieten ausserhalb des Einflussbereichs von Regenüberläufen resp. des Auslaufes der ARA Schönau (z.B. Nachweise in Quelle Jöchler, Piezometer 6213 in Cham).
- Nährstoffe (N, P) in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten, bei bekannter lokaler NO<sub>3</sub>-Problematik und/oder eher geringen GW-Flüssen wie z.B. im Gebiet Hatwil).
- Antibiotikaresistenzen [1]
- Mikroplastik [2]
- Hormonaktive Substanzen [3]

#### 6.4. Praktische Leitlinien

- Hydrochemische Basisparameter werden in der Regel nicht bestimmt, falls kostenrelevant.
- Die Probenahme resp. das Vorpumpen in Piezometern erfolgt in der Regel durch Drittanbieter (z.B. W. Jucker).
- Da die Probenahme ein wesentlicher Kostenfaktor ist, wird versucht, Synergien zu nutzen: Stoffgruppen, bei denen eine ähnliche räumliche Verteilung vermutet werden kann, werden daher möglichst gleichzeitig analysiert (s.o. Baarerbecken).
- Es wird geprüft, ob sich für das AfU die Anschaffung eines Pumpensystems für GW-Probenahmen bis 20 oder 30 m Tiefe lohnt (finanzielle, zeitliche, logistische oder fachliche Gründe).
- Bei der Planung weiterer Beprobungskampagnen werden Einschätzungen der Öko- oder Humantoxizität mit berücksichtigt und nach Möglichkeit auch eine Priorisierung anhand von Literaturangaben (Stoffeinsatz in der Schweiz) vor dem Hintergrund der Bodennutzung vorgenommen (siehe z.B. Abbildung 3).

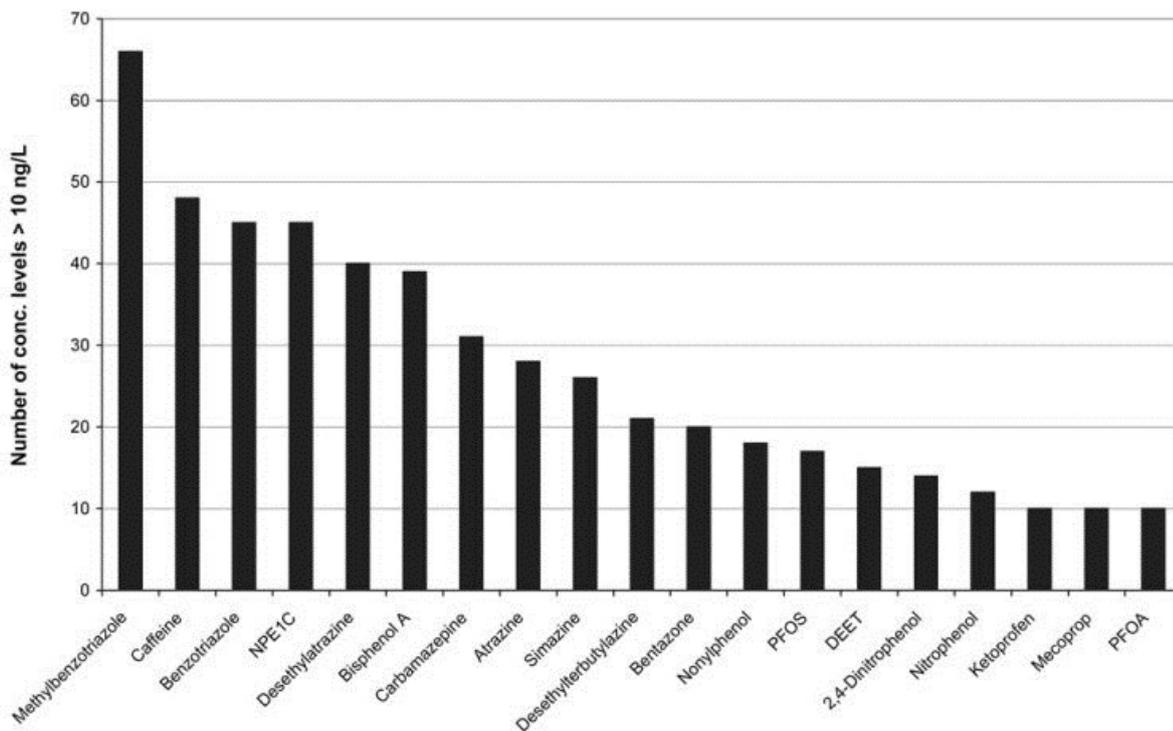


Abbildung 3: Darstellung der häufigsten Spurenstoffe im Grundwasser in Europa [6].

#### 6.5. Überlegungen zu Kosten

Die vorgeschlagene Überwachung der Grundwasserqualität führt zu Mehrkosten im Vergleich zum Zustand bis und mit 2016. Diese zusätzlichen Kosten für Beprobung und Analysen dürften sich 2017 im Bereich von gut Fr. 20'000.– bewegen (siehe Abschnitt 8) und sind beim AfU entsprechend budgetiert, das Target-Screening wird dabei auf Fr. 10'000.– veranschlagt.

Die Kosten der weiteren Grundwasserüberwachungskampagnen sind naturgemäss abhängig vom konkreten Programm, d.h. der Anzahl der Probenahmestellen und der zu analysierenden Parameter. Pro Stoffgruppe ist für eine Probe bei kommerziellen Labors mit Kosten von Fr. 200 bis 350.– zu rechnen, die Entnahme einer Pumpprobe ist mit Kosten von ca. Fr. 170.– verbunden. Pro Jahr wird von Kosten von Fr. 10'000.– bis höchstens Fr. 15'000.– ausgegangen.

### 7. Datenauswertung und Berichterstattung

Die bis Ende 2017 vorliegenden Daten werden im Laufe des Jahres 2018 in Berichten ausgewertet, dargestellt und kommentiert.

1. Bericht CKW im Baarerbecken & Hinweise auf Schadstoffeinträge durch Versickerungsanlagen.

2. Bericht mit Analyseresultaten NAQUA spez 2002 bis 2017 (Nährstoffe, Mikroverunreinigungen) inkl. Daten aus kantonaler GW-Überwachung (Hydrochemie, Nährstoffe), evtl. auch Wasserversorgungen.
3. Die Analysenergebnisse des LC-HRMS-Screenings durch die EAWAG werden im Juni 2018 erwartet und in einem entsprechenden Bericht in der zweiten Jahreshälfte 2018 dargestellt.

Zukünftige Analysendaten sollen in ähnlicher Form veröffentlicht werden. Diese Berichte sollen nach aussen signalisieren, dass von Behördenseite der Ressource Grund- und Trinkwasser nach heutigem Stand von Analysetechnik, Hydrogeologie und Umweltsystemverständnis Sorge getragen wird, auch über die gesetzliche Kontrolle des Lebensmittels Trinkwasser hinaus. Es wird geprüft, ob die jeweiligen Berichte einem Koreferat durch ein Fachbüro unterzogen werden sollen.

Die durch das AVS oder andere Labors erhobenen Analysenergebnisse von Rohwasser der Wasserversorger stellen eine wichtige Ergänzung zu der Überwachung der Grundwasserqualität dar. Bislang ist der Zugang des AfU zu diesen Daten für jeden Datensatz einzeln zu regeln und daher aufwändig. Gemäss Einschätzung des AfU stellen solche Daten Umweltdaten im Sinne der Aarhus-Konvention dar und sollten frei zugänglich sein, in jedem Fall für den internen Gebrauch. Es wird angestrebt, in Zukunft eine tragbare generelle Regelung für den Zugang zu diesen Daten zu finden, entweder mit dem AVS für alle Daten oder separat mit den Wasserversorgungen.

#### **8. Nächste Schritte & Zeitplan ab 2017**

- A. Laufend: Charakterisierung von Messstellen, Repräsentativität, Einflussfaktoren.
- B. Auswertung und Berichterstattung der ersten Beprobungskampagne 11/2017 leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe/CKW, Auswirkungen von Versickerungsanlagen & Abwassertracer im Baarerbecken (2018)
- C. Bericht Auswertung NAQUA-SPEZ-Analysenergebnisse, Kanton Zug (2018)
- D. Bericht Target-Screening EAWAG (2018)
- E. Vorbereitung einer Beprobungskampagne in der zweiten Jahreshälfte 2018 (voraussichtlich Reussebene: Pflanzenschutzmittel, Abwassertracer, Nährstoffe, punktuell weitere Parameter)
- F. Erarbeiten der Grundlagen für die weitere Planung von Beprobungskampagnen (u.a. in Abhängigkeit der Ergebnisse des Screenings bei der EAWAG).

Zug, 21. Dezember 2017 / luvo

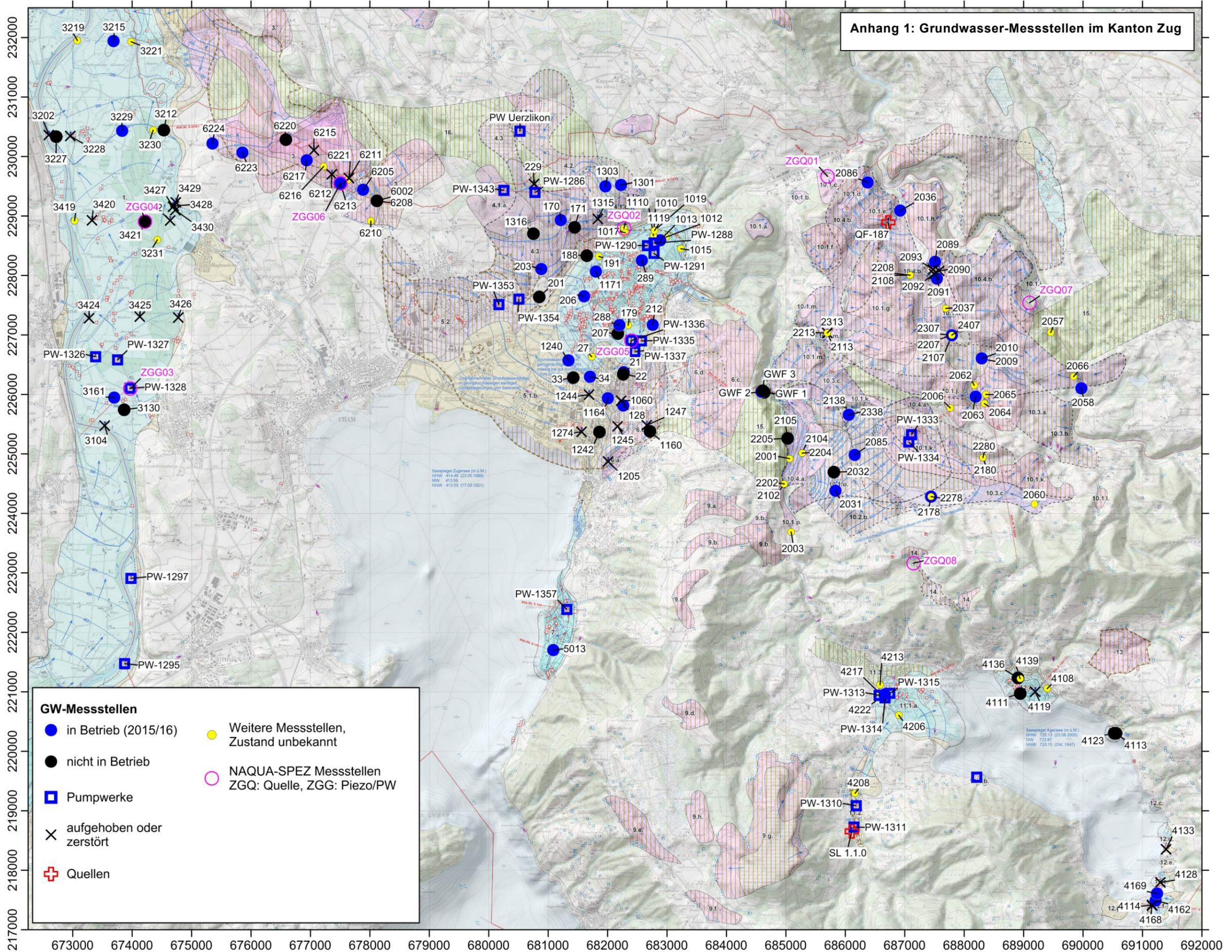
## Literatur

- [1] ZURFLUH, KATRIN ; HÄCHLER, HERBERT ; NÜESCH-INDERBINEN, MAGDALENA ; STEPHAN, ROGER: Characteristics of Extended-Spectrum  $\beta$ -Lactamase- and Carbapenemase-Producing Enterobacteriaceae Isolates from Rivers and Lakes in Switzerland. In: *Applied and Environmental Microbiology* Bd. 79 (2013), Nr. 9, S. 3021–3026. — PMID: 23455339
- [2] CABERNARD, LIVIA ; DURISCH-KAISER, EDITH ; VOGEL, JEAN-CLAUDE ; RENSCH, DANIEL ; NIEDERHAUSER, PIUS: Mikroplastik in Abwasser und Gewässern. In: *Aqua & Gas* Bd. 2016 (2016), Nr. 7, S. 78–85
- [3] CAREGHINI, ALESSANDO ; MASTORGIO, ANDREA FILIPPO ; SAPONARO, SABRINA ; SEZENNA, ELENA: Bisphenol A, nonylphenols, benzophenones, and benzotriazoles in soils, groundwater, surface water, sediments, and food: a review. In: *Environmental Science and Pollution Research* Bd. 22 (2015), Nr. 8, S. 5711–5741
- [4] BUWAL: *Praxishilfe Grundwasserprobenahme, Vollzug Umwelt* ( Nr. VU-2506-D) : Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Gesellschaft für Hydrogeologie (SGH), 2003
- [5] DORGERLOH, UTE ; THEISSEN, HUBERT ; BECKER, ROLAND ; HILBERT, SABINE ; NEHLS, IRENE: Probenahme und Quantifizierung von LHKW, Ethen und Methan in Grundwasser. In: *Grundwasser* Bd. 15 (2010), Nr. 4, S. 231–239
- [6] LOOS, ROBERT ; LOCORO, GIOVANNI ; COMERO, SARA ; CONTINI, SERAFINO ; SCHWESIG, DAVID ; WERRES, FRIEDRICH ; BALSAA, PETER ; GANS, OLIVER ; WEISS, STEFAN ; U. A.: Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. In: *Water Research* Bd. 44 (2010), Nr. 14, S. 4115–4126
- [7] BÜRGI, D. ; KNECHTENHOFER, L. ; MEIER, I. ; GIGER, W.: Priorisierung von bioziden Wirkstoffen aufgrund der potenziellen Gefährdung schweizerischer Oberflächengewässer. In: *Environmental Sciences Europe* Bd. 21 (2009), Nr. 1, S. 16–26
- [8] BUNDESAMT FÜR UMWELT: *Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA) - Zustand und Entwicklung 2004 – 2006* ( Nr. UZ-0903-D), 2009. — 00000

## Bericht des AfU, des Amtes für Verbraucherschutz und weitere Grundlagendokumente

- [A] Neuorganisation der Grundwasserüberwachung im Kanton Zug. - Amt für Umweltschutz, vermutl. 1996, ohne genaue Datumsangabe
- [B] Konzept für die Grundwasserüberwachung 2007-2011. - Amt für Umweltschutz, 27.3.2007.
- [C] Ergebnisse der Grundwasserbeobachtung Schweiz (NAQUA). Zustand und Entwicklung 2004–2006. Umwelt-Zustand Nr. 0903, Bundesamt für Umwelt, Bern. 144 S.
- [D] Qualitätskriterien für organische Spurenstoffe in Oberflächengewässern  
<http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/>
- [E] Grundwasservorkommen von Baar-Zug, Thermische 3D-Grundwassermodellierung. - Bericht Dr. H. Jäckli AG, 15.7.2013.
- [F] Grundwasservorkommen von Baar-Zug, Thermische 3D-Grundwassermodellierung, Modell-Update 2016, Stand November 2016, Dr. H. Jäckli AG, 8.12.2016.
- [G] Mikroverunreinigungen im Zuger- und Ägerisee - Standortbestimmung, Bilanzierung der Stoffeinträge und Beurteilung des Handlungsbedarfs. - envilab AG, GVRZ, AVS Zug, AfU Zug, 16.9.2015
- [H] Jahresbericht 2016, Quellwasser Sihlbrugg, Seewasser Moos der Wasserversorgung der Stadt Zürich, <https://www.stadt-zuerich.ch/dib/de/index/wasserversorgung/Qualitaetsueberwachung/qualitaetswerte.html>)
- [I] Berichte des AWEL Zürich zur Gewässerqualität  
[http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/gewaesserschutz/wasserqualitaet.html#contentPar\\_downloadfolder\\_3](http://www.awel.zh.ch/internet/baudirektion/awel/de/wasser/gewaesserschutz/wasserqualitaet.html#contentPar_downloadfolder_3)
- [J] Offerte der EAWAG für das Projekt "Screening von organischen Mikroverunreinigungen in ausgewählten Grundwasserproben des Kantons Zug" vom 13.4.2017, inkl. Anhang: Derzeitiger Analysenumfang der EAWAG Screening Methode, Stand 10.4.2017/

Anhang 1: Grundwasser-Messstellen im Kanton Zug



**Tabelle 5: Vom AVS analysierte Mikroverunreinigungen für die Messkampagne in [G], 2015.**

Stoff	Informationen	Wichtigste Quelle / Eintragspfade	Orientierungsmessungen		
			Zugersee Ablauf ng/L	Zugersee südliches Becken 5m ng/L	Zugersee südliches Becken 150m ng/L
<b>Tracerstoffe für gereinigtes Abwasser (Einträge aus ARA, im Fall von Zugersee und Ägerisee auch sehr gut geeignet als konservative Tracer für ungereinigtes Mischwasserentlastungen)</b>					
<b>Acesulfam</b> (Süsstoff)	Künstlicher Süsstoff, sehr gut geeignet als Abwasser-tracer. Auch im Grundwasser gefunden	Häusliches Abwasser	16	14	12
<b>Benzotriazol</b> (Korrosionsschutz)	Korrosionsschutzmittel mit Anwendungen im Haushalt und der Industrie. Unter Anderem in Geschirrspülmit-tel, Enteiser (Flughafen), etc.	Häusliches Abwasser und Industrieabwasser	420	400	480
<b>Carbamazepin</b> (Antiepileptikum)	Sehr persistent. Geeigneter Abwassertracer auch im Grundwasser.	Häusliches Abwasser	3.2	<0.8	1.4
<b>Diclofenac</b> (Analgetikum)	Schmerzmittel, häufig eingesetzt. Für aquatische Ökotoxikologie problematisch	Häusliches Abwasser	<BG	<BG	<BG
<b>Sucralose</b> (Süsstoff)	Künstlicher Süsstoff, Verbrauch steigend	Häusliches Abwasser	<BG	<BG	<BG
<b>Tracerstoffe für ungereinigtes Abwasser (Mischwasserentlastungen)</b>					
<b>Cyclamat</b> (Süsstoff)	Künstlicher Süsstoff. In ARA gut abbaubar (>95%), daher vor allem über Mischwasserentlastungen einge-tragen	Häusliches Abwasser	16	16	19
<b>Koffein</b> (Genussmittel)	In ARA sehr gut abbaubar (>98%), daher vor allem über Mischwasserentlastungen eingetragen	Häusliches Abwasser	87	65	32
<b>Tracerstoffe für Einträge aus Regenkanälen (Trennsysteme) oder Mischwasserentlastungen</b>					
<b>Diuron</b> (Herbizid)	Diverse Anwendungen im Materialschutz, Siedlungsbe-reich (Totalherbizid) und auch in der Landwirtschaft	Diverse	5.6	3	5.2
<b>Mecoprop</b> (Herbizid)	Materialschutz (Flachdächer und andere Bitumenbah-nen) und teilw. Rasen in der Siedlung. In der Landwirt-schaft nur im Getreide.	Regenkanäle (Materi-alschutz), Getreide	19	20	12
<b>Terbutryn</b> (Herbizid)	Materialschutz (Fassaden, Dispersionsfarben)	Fassaden	<BG	<BG	<BG
<b>Tracerstoffe für aktuelle Einträge aus der Landwirtschaft</b>					
<b>2,6-Dichlorbenzamid</b> (Herbizid-Abbaup.)	Abbauprodukt von Dichlobenil (Anbau von Ziergehölzen und in forstlichen Pflanzgärten)	Abbauprodukt, Forst	8.5	8.8	9.1
<b>Metolachlor</b> (Herbizid)	Maisherbizid	Mais	3.3	3.3	0.9
<b>Terbuthylazin</b> (Herbizid)	Voraufbau-Herbizid im Sorghum-, Citrus-, Mais-, Wein- und Apfelanbau sowie im Forst und auf Nichtkulturland	Mais, diverse	9.6	8.9	6.3
<b>Tracerstoffe für frühere Einträge aus der Landwirtschaft und frühere Einträge von Geleisen</b>					
<b>Atrazin</b> (Herbizid)	Wurde nur im Maisanbau angewendet (Heute nicht mehr zugelassen).	Mais, nicht mehr zuge-lassener Stoff, Total-herbizid Geleise	30	29	42
<b>Atrazin-Desethyl</b> (Herbizid-Abbaup.)	Abbauprodukt von Atrazin	Mais, Abbauprodukt	23	22	30