Eawag_06070

Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser

Kombination von Expositions- und ökotoxikologischen Effektdaten

Christian W. Götz

Mikroverunreinigungen (MV) aus kommunalem Abwasser werden häufig in oberirdischen Gewässern in teilweise ökotoxikologisch relevanten Konzentrationen nachgewiesen. Dieser Befund unterstreicht den Bedarf einer breit abgestützten Methode zur Beurteilung der Wasserqualität mit Fokus auf MV. In diesem Artikel wird ein Beurteilungskonzept für MV aus kommunalem Abwasser vorgeschlagen. Die wichtigsten Elemente dieses Konzeptes sind Vorschläge für (1) eine Liste mit für die Gewässer relevanten MV aus dem kommunalen Abwasser, (2) wirkungsorientierte Qualitätskriterien, (3) eine Vorgehensweise zur Identifizierung belasteter Gewässer, (4) eine auf die Eintragsdynamik dieser Stoffe ausgerichtete Probenahmestrategie sowie (5) ein Schema zur Beurteilung der Gewässer. Da viele MV aus kommunalem Abwasser kontinuierlich in die Gewässer eingetragen werden, steht die Beurteilung der chronischen Belastung der Gewässer im Vordergrund.

Micropolluants

Les micropolluants provenant des eaux usées finissent tôt ou tard par s'accumuler dans les eaux de surface. Dans certains cas, leur concentration dépasse le seuil écotoxicologique. Il est donc impératif de mettre en place une méthode d'évaluation à grande échelle pour suivre l'état de la qualité des eaux face aux micropolluants. Telle qu'elle est présentée ici, la stratégie d'évaluation de la charge en micropolluants des eaux usées se fonde sur les éléments suivants: (1) une liste des micropolluants provenant des eaux usées et pertinents pour la qualité des eaux, (2) un catalogue de critères qualitatifs fondés sur l'impact écotoxicologique, (3) une méthode d'identification des eaux à forte charge micropolluante, (4) une stratégie d'échantillonnage adaptée à la dynamique de diffusion des micropolluants et (5) un schéma d'évaluation des eaux de surface. Le transfert des micropolluants des eaux épurées aux eaux de surface étant un processus permanent, il faut donc se concentrer sur la charge chronique des eaux.

Micropollutants from Municipal Wastewater

Micropollutants (MP) from municipal wastewater are frequently detected in surface waters and occur in ecotoxicological relevant concentrations. Therefore a broadly accepted method for the assessment of MP is needed. Here, we propose a procedure for the assessment of MP from municipal wastewater. The suggested method comprises (1) a substance list with relevant MP, (2) toxicologically based quality criteria, (3) an approach for the identification of potentially polluted sites, (4) a sampling strategy that considers the input-dynamics of chemicals and (5) a scheme to rate the water quality concerning MP. In the proposed concept the assessment of continuous entering substances is focused.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Mikroverunreinigungen (MV) wurden in Fliessgewässern in Konzentrationen nachgewiesen, in denen sie die Gesundheit von Tieren und Pflanzen beeinträchtigen können [1–3]. MV belasten auch wichtige Trinkwasserressourcen wie Seen, grosse Flüsse und Grundwasser [4]. Untersuchungen zeigen, dass in bestimmten Gewässern, darunter auch in bedeutenden Trinkwasserressourcen wie dem Bodensee, die über das kommunale Abwasser eingetragenen MV zahlreicher und in höheren Konzentrationen zu finden sind als MV aus landwirtschaftlichen Quellen [5]. Die

Stoffe	z.B. Pflanzenschutzmittel und Tierarzneimittel in der Landwirtschaft, Biozide im Materialschutz	z.B. Arzneimittel, Haushaltschemikalien, Östrogene
Eintragspfad	Abfliessendes Regenwasser z.B. Entwässerung von versiegelten Flächen, Abfluss aus landwirtschaftlichen Flächen z.B. Mischwasserentlastungen aus Kanalisation	Gereinigtes Abwasser aus kommunalen ARA (kontinuierliche Einträge)
Eintragsdynamik	Pulsartige Einträge → zeitlich begrenzte Belastungen	Kontinuierliche Einträge → Chronische Belastung
Beurteilungskriterium	Akutes Qualitätskriterium (AQK) (auch MAC-UQS)	Chronisches Qualitätskriterium (CQK) (auch AA-UQS)

Abb. 1 Übersicht über die Belastungen von oberirdischen Gewässern mit MV.

Beurteilung und Reduktion der Belastung der Gewässer ist eine der aktuellen Herausforderungen für den Gewässerschutz, da es für MV noch kein Konzept zur Beurteilung der Wasserqualität gibt. Die Schliessung dieser Lücke ist eine der Zielsetzungen des Projektes *Strategie MicroPoll*[1] des Bundesamtes für Umwelt, BAFU [6, 7].

Im Rahmen dieses Projektes wird derzeit im Auftrag des BAFU ein Vorschlag für ein *Beurteilungskonzept* für MV durch die *Eawag* in Zusammenarbeit mit dem *Schweizerischen Zentrum für angewandte Ökotoxikologie* erarbeitet. Das Erarbeiten des Beurteilungskonzepts wird von einer Arbeitsgruppe mit Experten aus Behörden, Industrie und Forschung begleitet. Der *aktuelle Vorschlag* wird nun in diesem Artikel präsentiert. Das Beurteilungskonzept umfasst folgende Punkte:

- Bezeichnung relevanter Stoffe: *Liste* der für die Schweiz wichtigen Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser
- Erarbeiten wirkungsbasierter *Qualitätskriterien* für relevante Stoffe
- *Erhebungskonzept*: eine auf die Eintragsdynamik der relevanten Stoffe ausgerichtete Strategie der Probenahme
- Schema zur Beurteilung der *Wasserqualität* bezüglich MV aus kommunalem Abwasser

Dem Beurteilungskonzept liegt eine Analyse und Beschreibung der Quellen und Eintragspfade von MV aus kommunalem Abwasser zugrunde. Es fokussiert sich daher schwerpunktmässig auf die kontinuierlichen Einträge mit dem kommunalen Abwasser und die daraus resultierende chronische Belastung der Gewässer *(Abb. 1)*.

Das vorgeschlagene Beurteilungsschema orientiert sich am *Modul Nährstoffe* (chemisch-physikalische Erhebungen) des Modul-Stufen-Konzepts des BAFU [8]. Das im Folgenden vorgestellte Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser wird in detaillierter Form in einer gemeinsamen Publikation der Eawag und des Oekotoxzentrums Ende 2010 veröffentlicht.

1.2 Quellen

In der Schweiz sind jährlich tausende von verschiedenen Chemikalien in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten in täglichem Gebrauch. Die wichtigsten *Stoffquellen* für Mikroverunreinigungen, die über kommunales Abwasser in die Gewässer eingetragen werden, lassen sich in Stoffe mit Anwendung im *Innenbereich* und Stoffe mit Anwendung im *Aussenbereich* von Gebäuden und Siedlungen unterteilen.

Innenbereich

- *Privathaushalte* (z.B. Spülmittel, Reinigungsmittel, Kosmetika, Pflegeprodukte und Arzneimittel),
- *Institutionen des Gesundheitswesens* (z.B. Arzneimittel und Reinigungsmittel),
- *Produktions- und Gewerbebetriebe* (z.B. Industriechemikalien, Produktionsrückstände und Korrosionsschutzmittel), die an das kommunale Abwassersystem angeschlossen sind. Die Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe sind nicht generell mit denjenigen aus dem kommunalen Abwasser vergleichbar.

Aussenbereich

- *Grünflächen im Siedlungsraum* (z.B. Biozide und Pflanzenschutzmittel),
- *Flachdächer und Fassaden von Gebäuden* (z.B. Biozide und Bauchemikalien).

Die Stoffe aus Anwendungen im Innen- oder Aussenbereich können abhängig vom Kanalisationssystem mit dem kommunalen Abwasser über unterschiedliche Eintragspfade in die Gewässer gelangen.

1.3 Eintragspfade

Die wichtigsten Eintragspfade für Mikroverunreinigungen aus dem kommunalen Abwasser sind:

a) Eintrag mit gereinigtem Abwasser von kommunalen ARA

b) Eintrag durch Mischwasserentlastungen bei Regenwetter (Mischsysteme)

c) Eintrag durch Leckagen in der Kanalisation

d) Eintrag durch Regenkanäle (Trennsysteme)

a)
Viele in Gewässern nachgewiesene MV aus der Siedlungsentwässserung [5, 9–20] werden in kommunalen ARA nur schlecht eliminiert

1 www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/03716/03720/index.html=lang=de

und mit dem *gereinigten Abwasser* in die Gewässer eingetragen. Speziell für häufig und verbreitet verwendete Substanzen und Anwendung im Innenbereich, die ins kommunale Abwasser eingetragen werden, kann in der Regel eine gute Korrelation zwischen gemessenen Konzentrationen in Gewässern und dem Anteil an gereinigtem Abwasser gefunden werden. In *Abbildung 2* ist dieser Zusammenhang für die Arzneimittel *Atenolol* (Betablocker), *Carbamazepin*, *Diclofenac* (Analgetika) sowie *Sulfamethoxazol* (Antibiotikum) aufgezeigt. Die dargestellten MV werden in ARA schlecht eliminiert, gelangen kontinuierlich in die Gewässer und werden hauptsächlich mit dem gereinigten Abwasser aus kommunalen ARA in die Gewässer eingetragen.

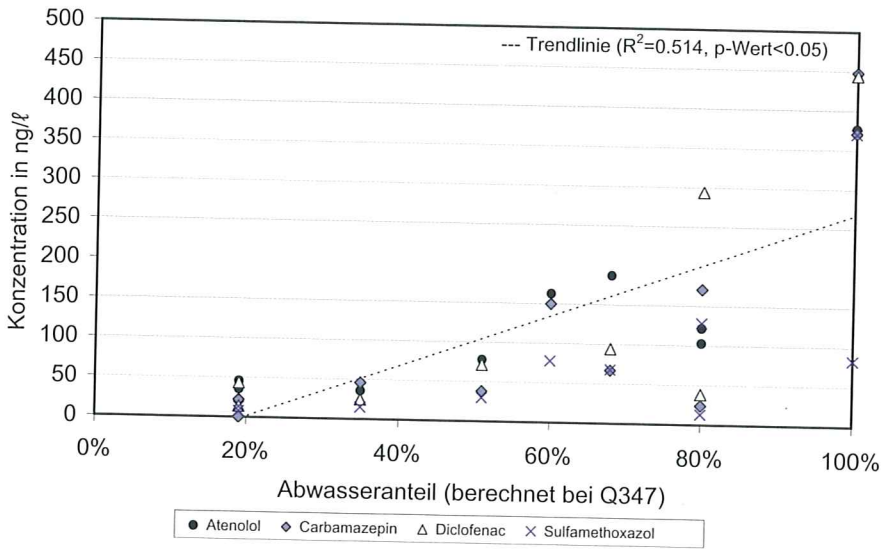


Abb. 2 Konzentrationen der Arzneimittel Atenolol, Carbamazepin, Diclofenac und Sulfamethoxazol aufgetragen nach berechnetem Abwasseranteil bei Minimalabfluss (Q_{347}) (*s. Kap. 1.3 b*). Messungen aus den Micropoll Messkampagnen 2007 [12] und 2009/10.

b)

Heute werden ca. 75% aller Siedlungsgebiete der Schweiz über *Mischsysteme* (Mischwasserkanalisationen) entwässert [21]. Dabei wird das aus Siedlungen abfliessende *Regenwasser* in der Kanalisation mit dem häuslichen Abwasser zusammengeführt. Bei starken Regenereignissen kann die Kapazität der Kanalisation wie auch der ARA, die in der Regel für den doppelten *Trockenwetteranfall* (QTW) dimensioniert ist, überschritten werden. Bei einer Überschreitung wird ungereinigtes Abwasser über Entlastungen von Mischsystemen direkt in die Gewässer eingetragen. In Mischsystemen wird durchschnittlich über das ganze Jahr gemittelt ca. 2,5% des Rohabwassers durch die Entlastung der Mischwasserkanalisation bei Regenwetter in Gewässer eingetragen. Dieser Wert kann aber je nach Dimensionierung und Zustand der Infrastruktur stark variieren. Wird ein Stoff nicht in der ARA abgebaut und über das ganze Jahr kontinuierlich in die Gewässer eingetragen, so entspricht der über die Mischwasserentlastungen eingetragene Frachtanteil eines Stoffes in grober Nährung dem Anteil des über die Entlastung eingetragenen Rohabwassers. Dies ist beispielsweise der Fall für *Carbamazepin* oder die künstlichen Süssstoffe Acesulfam und Sucralose, die als *Tracer für gereinigtes Abwasser* verwendet werden können *(Abb. 3)* [22]. Stoffe, die in ARA gut abgebaut werden, z.B. *Koffein*, werden hingegen hauptsächlich über Mischwasserentlastungen in Gewässer eingetragen und können daher als *Tracer für ungereinigtes Abwasser* verwendet werden [23, 24].

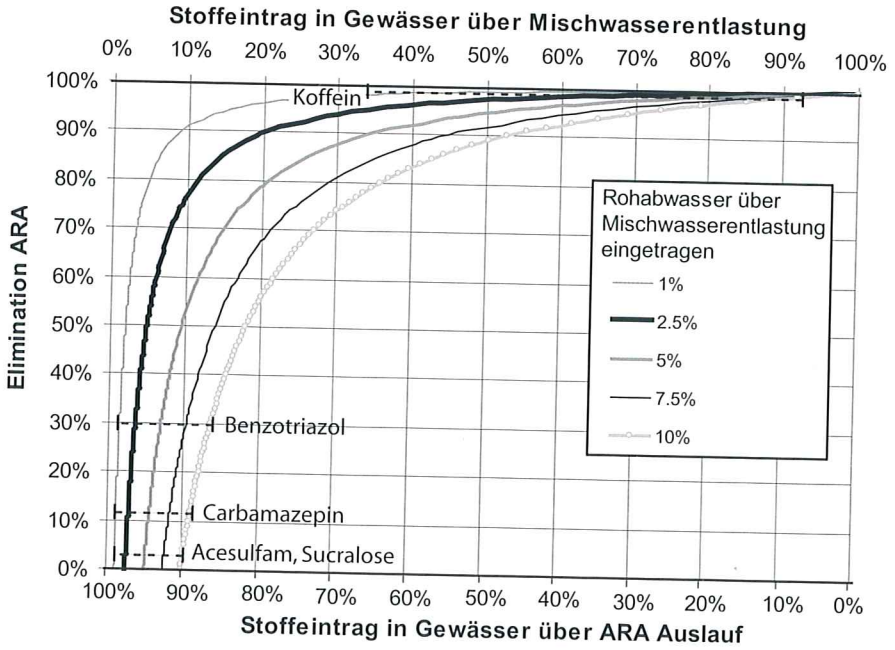


Abb. 3 Berechneter Anteil des Eintrages über Mischwasserentlastungen in Mischsystemen, abhängig von der Elimination in ARA. Ein Anteil von 2,5% des Rohabwassers über die Entlastung der Mischwasserkanalisation in Gewässer, entspricht einem durchschnittlichen Wert im Schweizer Mittelland.

Einträge über Mischwasserentlastungen sind auch für Stoffe mit Anwendungen im Aussenbereich relevant, die durch Regen mobilisiert und daher in erster Linie dann ins kommunale Abwasser emittiert werden, wenn auch die Mischwasserentlastungen aktiv sind. Im *Projekt REXPO* (realistische Expositionsszenarien) wurde beispielsweise gezeigt, dass *Mecoprop*, ein im Fassaden- und Flachdachschutz einge-

setztes Herbizid, bis zu ca. 40% über Entlastungen aus Mischwasserkanalisationen eingetragen wird [24].

c)
Durch *Leckagen* in der Kanalisation kann ungereinigtes Abwasser direkt in den Boden, ins Grundwasser und teilweise indirekt in oberirdische Gewässer gelangen. Eine Quantifizierung der Verluste durch Leckagen ist jedoch schwierig, da diese vom Zustand der örtlichen Kanalisation abhängen und sehr unterschiedlich sein können [25].

d)
Beim Eintrag durch *Regenkanäle* handelt es sich nicht um kommunales Abwasser, es gibt jedoch eine grosse Schnittmenge an Stoffen mit dem kommunalen Abwasser aus Mischsystemen (Stoffe mit Anwendung im Aussenbereich). In *Trennsystemen* werden Niederschlagsabwässer direkt über Regenkanäle in Gewässer eingeleitet. Im Gegensatz zu Mischsystemen gelangen dabei MV mit Anwendung im Aussenbereich direkt mit dem abfliessenden Regenwasser in die Gewässer. Der Vorteil der Trennsysteme ist hingegen, dass keine MV aus dem häuslichen Abwasser durch Entlastungen direkt in die Gewässer geleitet werden können, wie dies bei Mischsystemen der Fall ist.

2 Mikroverunreinigungen

2.1 Stoffauswahl

In der Schweiz werden jährlich tausende von verschiedenen Chemikalien in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten verwendet und teilweise in die Gewässer eingetragen. Die Gesamtheit dieser Stoffe und ihrer Abbauprodukte kann unmöglich erfasst werden. Für die Beurteilung der *Wasserqualität* ist es daher nötig, auf gewässerrelevante Stoffe für die Schweiz zu fokussieren. Dazu wurde von einem breiten Spektrum an Stoffen ausgegangen.
Als Basis für die Identifizierung von potenziell gewässerrelevanten Stoffen wurden Resultate *verschiedener Messkampagnen* in Schweizer Oberflächengewässern sowie Studien über das Verhalten umweltrelevanter Stoffe, öffentlich verfügbare Verbrauchsdaten und verschiedene internationalen Stofflisten herangezogen [10, 11, 26-30]. Aus diesen Datengrundlagen und der Befragung von Experten aus Forschung, Industrie, Bundesämtern und kantonalen Gewässerschutzfachstellen wurde eine Kandidatenstoffliste von 250 potenziellen MV für die Schweiz erstellt.
Diese *250 Kandidatenstoffe* wurden priorisiert. Dazu wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Kategorisierungsverfahren entwickelt, welches in *Götz et al* (2010) im Detail beschrieben ist [31]. Die Stoffe wurden aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften (Verteilung zwischen Wasser, Luft und Partikeln), ihres Abbauverhaltens in der Umwelt und ihrer Eintragsdynamik in Gewässer kategorisiert.

Substanzname	**Wirkstoffgruppe**	*Oberflächeng.* # Gefunden / # Messungen	*Oberflächeng.* Durchschnitt. Konz. (ng/ℓ)	*Oberflächeng.* 90% Percentil Konz. (ng/ℓ)	*ARA Auslauf* # Gefunden / # Messungen	*ARA Auslauf* Durchschnitt. Konz. (ng/ℓ)	*ARA Auslauf* 90% Percentil Konz. (ng/ℓ)
Arzneimittel							
Atenolol	Betablocker	49 / 75	205	275	18 / 18	843	1160
Azithromycin	Antibiotikum	1 / 43	12	12	18 / 19	175	327
Bezafibrat	Lipidsenker	10 / 66	24	36	12 / 15	139	251
Carbamazepin	Antiepileptikum	112 / 509	13	43	78 / 78	482	790
Carbamazepin-10,11 – Dihydro-10,11-Dihydroxy	Transformationsprodukt	4 / 4	490	1011	6 / 6	1551	1882
Clarithromycin	Antibiotikum	37 / 74	30	73	32 / 32	276	497
Diatrizoat (=Amidotrizoesäure)	Kontrastmittel	15 / 53	206	482	7 / 10	598	1420
Diclofenac	Analgetikum	77 / 137	65	150	54 / 54	647	1170
Erythromycin [1)]	Antibiotikum	6 / 28	25	44	17 / 17	42	75
Ethinylestradiol	Synthetisches Estrogen	4 / 99	5	10	6 / 27	2	3
Ibuprofen	Analgetikum	16 / 137	35	52	54 / 54	394	1439
Iomeprol	Kontrastmittel	9 / 53	275	91	9 / 19	380	295
Iopamidol	Kontrastmittel	14 / 53	92	51	15 / 19	377	880
Iopromid	Kontrastmittel	21 / 53	96	65	13 / 19	876	2460
Mefenaminsäure	Analgetikum	7 / 28	7	14	10 /10	870	1658
Metformin	Antidiabetikum	13 / 13	713	3057	6 / 6	10347	13427
Metoprolol	Betablocker	24 / 57	20	50	17 / 17	166	322
Naproxen	Analgetikum	22 / 137	37	82	38 / 39	462	678
Sotalol	Betablocker	39 / 74	63	189	21 / 21	435	730
Sulfamethoxazole	Antibiotikum	34 / 66	26	59	34 / 34	238	427
N4-Acetylsulfamethoxazol	Transformationsprodukt	5 / 40	3	17	5 / 6	67	157
Trimethoprim	Antibiotikum	26 / 74	13	36	42 / 45	100	163

2.2 Schweizspezifische MV

Aus der kategorisierten Kandidatenstoffliste wurde eine Liste von für die Schweiz wichtigen (schweizspezifischen) MV aus kommunalem Abwasser erstellt.

Die als schweizspezifisch identifizierten Stoffe erfüllen *vier Bedingungen:*

a) Der Stoff muss nachweislich durch kommunales Abwasser in die Gewässer eingetragen werden.

b) Der Stoff ist mit der aktuellen Gesetzgebung zugelassen bzw. nicht verboten.

c) Der Stoff hat Eigenschaften, die darauf hinweisen, dass er, bei entsprechendem Gebrauch, mit einer mittleren bis hohen Wahrscheinlichkeit in der Wasserphase natürlicher Gewässer nachgewiesen werden kann.

d) Der Stoff erfüllt mindestens eines der folgenden *drei Kriterien*:
- verbreitet in oberirdischen Gewässern nachgewiesen (>20% der gemessenen Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze);

Substanzname	**Wirkstoffgruppe**	*Oberflächeng.* # Gefunden / # Messungen	*Oberflächeng.* Durchschnitt. Konz. (ng/ℓ)	*Oberflächeng.* 90% Percentil Konz. (ng/ℓ)	*ARA Auslauf* # Gefunden / # Messungen	*ARA Auslauf* Durchschnitt. Konz. (ng/ℓ)	*ARA Auslauf* 90% Percentil Konz. (ng/ℓ)
Stoffe mit beabsichtigten bioziden Eigenschaften, die einer Zulassung unterliegen							
2,4-D	Herbizid	16 / 125	67	53	4 / 6	13	25
Carbendazim	Fungizid	37 / 73	16	34	17 / 30	81	170
Diazinon	Insektizid	367 / 1211	15	30	40 / 84	173	494
Diethyltoluamide (DEET)	Insektizid	236 / 331	135	120	11 / 55	593	817
Dimethoat	Insektizid	14 / 355	22	34	k.A.	k.A.	k.A.
Diuron	Herbizid	98 / 697	54	70	13 / 34	1379	201
Glyphosat *)	Herbizid	64 / 162	373	637	k.A. *)	k.A.	k.A.
AMPA	Transformationsprodukt	60 / 162	140	290	k.A. *)	k.A.	k.A.
Irgarol	Herbizid	18 / 878	3	k.A.	9 / 29	30	58
Isoproturon	Herbizid	211 / 1001	315	820	11 / 14	12	35
MCPA	Herbizid	56 / 137	40	111	6 / 6	25	44
Mecoprop-P	Herbizid	100 / 188	45	74	26 / 29	424	765
Triclosan [2]	Mikrobizid	3 / 12	20	31	6 / 6	116	224
Stoffe mit Wirkung auf den Hormonhaushalt (hormonaktive Stoffe, die nicht als Arzneimittel eingesetzt werden)							
Bisphenol A (BPA) [4]	Additiv	44 / 66	840	3440	22 / 25	331	679
Estradiol	Natürliches Estrogen	17 / 92	2	3	18 / 28	3	5
Estron	Natürliches Estrogen	36 / 116	2	3	26 / 30	15	35
Nonylphenol [3]	Additiv	15 / 25	441	1100	7 / 7	267	353
Perfluoroctansulfonat (PFOS) [4]	Tensid	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Weitere Stoffe mit umweltrelevanten Eigenschaften[***]							
Acesulfam	Lebensmittelzusatzstoff	24 / 24	4010	6200	4 / 4	22500	30700
Benzothiazol [4]	Additiv	4 / 4	373	862	6 / 6	494	662
Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel	366 / 382	1230	2990	41 / 41	12881	17300
EDTA [**]	Komplexbildner	202 / 248	2820	5380	10 / 10	20930	30290
Methylbenzotriazol	Korrosionsschutzmittel	303 / 331	249	516	30 / 30	1140	1950
NTA [**]	Komplexbildner	183 / 253	2890	5800	10 / 10	5370	6930
Sucralose	Lebensmittelzusatzstoff	12 / 13	540	1039	6 / 6	4600	6523

[1] Erythromycin wird schnell in Erythromycin-H_2O umgewandelt. Die quantitative Analyse ist problematisch

[2] Triclosan sorbiert relativ stark (>75% an Klärschlamm). Die Analyse von Triclosan ist schwierig [45]

[3] Für Nonylphenol wurden nur Messwerte seit dem Jahr 2006 berücksichtigt (Verbot für gewisse Produkte mit NP vom 1.8.2006, ChemRRV)

[4] Bisphenol A, PFOS und Benzothiazol sind ubiquitäre Stoffe. Die Analyse ist aufgrund von Blindwerten schwierig.

*) Glyphosat ist gemäss EPISuite [46], welches in der Kategorisierungsmethode verwendet wird «Ready-Biodegradable» und würde gemäss den oben beschriebenen Verfahren nicht berücksichtigt. Messungen zeigen jedoch, dass es in der Umwelt vorkommen kann. Glyphosat ist eines der meistverkauften Pflanzenschutzmittel der Welt, wird häufig im Siedlungsbereich eingesetzt und wurde in Oberflächengewässern im µg/ℓ Bereich gefunden [47, 48]. Diese hohen Konzentrationen sind weniger durch die Umwelteigenschaften von Glyphosat zu erklären (diese sind im Vergleich zu anderen PSM) als durch den sehr hohen Einsatz (pseudo-persistent).

**) EDTA und NTA sind gemäss EPISuite [46], welches in der Kategorisierungsmethode verwendet wird «Ready-Biodegradable» und würden gemäss den oben beschriebenen Verfahren nicht berücksichtigt. Messungen von EDTA und NTA in Oberflächengewässern und Grundwasser zeigen jedoch, dass diese Stoffe in die Gewässser gelangen, obwohl das Persistenz-Kriterium gemäss der Kategorisierung nach Götz el al (2009) nicht erfüllt ist, deshalb wurde die Liste um diese Stoffe ergänzt.

***) Eine umweltrelevante Eigenschaft kann neben der Toxizität auch beispielsweise eine hohe Persistenz sein.

k.A.: Keine Daten vorhanden

Die Messwerte sind unter Anderem aus folgenden Berichten und Arbeiten: [5, 9–20]

Tab. 1 Schweizspezifische Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser: Zusammenstellung von Messdaten aus oberirdischen Gewässern und ARA.

- vereinzelt in hohen Konzentrationen in oberirdischen Gewässern (>100 ng/ℓ) und verbreitet in kommunalen ARA Ausläufen nachgewiesen (>20%);
- hohe spezifische Toxizität (z.B. durch Mutagenität, Kanzerogenität, Hormonaktivität oder immuntoxische Wirkung) und relevanter Eintrag über das kommunale Abwasser.

Die Bedingungen a), b) und c) müssen vollständig erfüllt sein, während von Bedingung d) mindestens eines der drei Kriterien erfüllt sein muss. Ein Beispiel für einen Stoff mit hoher spezifischer Toxizität ist das synthetische Östrogen Ethinylöstradiol, das schon in Konzentrationen unterhalb von 1 ng/ℓ negative Wirkungen auf die aquatische Umwelt zeigt [32, 33]. Die 47 ausgewählten schweizspezifischen MV für kommunales Abwasser sind in *Tabelle 1* gegeben.

Die grösste Gruppe der schweizspezifischen MV aus kommunalem Abwasser (22 MV) sind *Arzneimittel*. Diese werden hauptsächlich durch gereinigtes Abwasser kontinuierlich in Gewässer eingetragen und sind, mit Ausnahme der Kontrastmittel, biologisch aktive Substanzen. Als zweite Gruppe sind 13 MV mit beabsichtigter *biozider Wirkung* berücksichtigt. Die gleichen Wirkstoffe werden teilweise oder hauptsächlich auch in der Landwirtschaft eingesetzt und haben somit auch andere Eintragspfade als über das kommunale Abwasser. Sie werden jedoch bei Messungen in Kläranlagen regelmässig gefunden und daher auch nachweislich über ARA eingetragen. Im Weiteren wurden *hormonaktive Substanzen* und weitere Stoffe mit umweltrelevanten Eigenschaften berücksichtigt. Unter anderem wurden auch MV ohne bisher bekannte Wirkung, wie beispielsweise die *künstlichen Süssstoffe* Acesulfam und Sucralose berücksichtigt. Diese Stoffe sind aufgrund ihrer weiten Verbreitung und hoher Persistenz in der Umwelt gute Leitsubstanzen für die Belastung durch kommunales Abwasser [22].

2.3 Lokal auftretende MV

Neben den schweizspezifischen MV können auch lokale Belastungen der Gewässer durch weitere Stoffe von besonderer Wichtigkeit sein. Viele Stoffe weisen starke regionale Unterschiede im Verbrauch auf, haben spezifische Anwendungen (zum Beispiel in Industrie und Gewerbe) oder werden aus anderen Gründen nur lokal in wenige Gewässer eingetragen. Dementsprechend sollte bei der Beurteilung der Wasserqualität auch abgeklärt werden, ob neben den schweizspezifischen MV andere lokale Belastungen zu erwarten sind.

3 Ökotoxikologische Effektbewertung

3.1 Numerische Anforderungen an die Wasserqualität

Das *eidgenössische Gewässerschutzgesetz* (GSchG, SR 814.20) hat zum Ziel, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen. Nachteilige Einwirkungen sind Verunreinigung und andere Eingriffe, welche die Gestalt oder die Funktion eines Gewässers beeinträchtigen. In Anhang 2 der Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) sind deshalb numerische Anforderungen an die Wasserqualität der Fliessgewässer für verschiedene Nährstoffparameter, Schwermetalle und Organische Pestizide (Biozidprodukte und Pflanzenschutzmittel) definiert. Für MV aus kommunalem Abwasser existieren mit Ausnahme der Pestizide, für die ein derzeit nicht wirkungsbasierter Wert von 0,1 µg/ℓ unter Vorbehalt gilt, bisher keine numerischen Anforderungen.

Substanzname	CQK-Vorschlag
Arzneimittel	
17-alpha-Ethinylestradiol	0,00003 µg/ℓ (AF)*
Atenolol	150 µg/ℓ
Azithromycin	0,09 µg/ℓ*
Carbamazepin	0,5 µg/ℓ
Clarithromycin	0,06 µg/ℓ*
Diclofenac	0,05 µg/ℓ*
Ibuprofen	0,01 µg/ℓ *,**
Sulfamethoxazol	0,12 µg/ℓ
Trimethoprim	60 µg/ℓ**
Weitere Stoffe mit umweltrelevanten Eigenschaften	
Benzotriazol	30 µg/ℓ
Methylbenzotriazole	50 µg/ℓ**
EDTA	2200 µg/ℓ**
NTA	190 µg/ℓ **

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

** Diese Substanzen konnten zum Publikationszeitpunkt extern noch nicht begutachtet werden.

Tab. 2 Vorschläge für chronische Qualitätskriterien (CQK) von ausgewählten Substanzen, welche nach [35] erarbeitet und teilweise von externen Gutachtern verifiziert wurden.

Wirkungsbasierte numerische Anforderungen an die Wasserqualität werden im Zusammenhang mit der *EU-Wasserrahmenrichtlinie* (WRRL, RL 2000/60/EG) als *Environmental Quality Standard* (EQS) oder *Umweltqualitätsnorm* (UQN) bezeichnet. Um eine begriffliche Konsistenz zu vorhergehenden gwa-Publikationen herzustellen werden EQS im Folgenden als *chronisches Qualitätskriterium* (CQK = AA-EQS) respektive *akutes Qualitätskriterium* (AQK = MAC-EQS) bezeichnet.

In der WRRL nehmen *Qualitätskriterien* (QK) folgende Bedeutung ein [34]: «Die aquatische Umwelt kann durch chemische Verschmutzung sowohl kurzfristig als auch langfristig geschädigt werden; daher sollten bei der Festlegung der QK-Daten über akute und über chronische Wirkungen zugrunde gelegt werden.» Dazu müssen CQK zum Schutz vor den Folgen von Langzeitexposition und AQK zum Schutz vor den Folgen von Kurzzeitexposition hergeleitet werden.

3.2 Herleitung von Qualitätskriterien

Die Herleitung der Vorschläge für *Qualitätskriterien* (QK) erfolgte nach dem *Technical Guidance Document for Deriving Environmental Quality Standards* [35], das die aktuelle technische Richtlinie der WRRL darstellt. Die Herleitungen wurden vom Schweizerischen Zentrum für angewandte Ökotoxikologie nach ausführlicher ökotoxikologischer Effektrecherche durchgeführt und von externen Gutachtern kommentiert und nachvollzogen, um unabhängige und mehrfach geprüfte QK-Vorschläge für eine Risikobewertung der schweizspezifischen MV zu erhalten. Für Stoffe, für die in EU-Ländern QK-Vorschläge hergeleitet werden oder wurden, erfolgte in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Experten ein Abgleich der ökotoxikologischen Effektdaten, die auf ihre Validität überprüft [36] und durch aktuelle valide Studien ergänzt wurden. In *Tabelle 2* sind Vorschläge für CQK angegeben.
Die präsentierten Vorschläge für QK sind noch vorläufig und werden eine weitere Kommentierungsphase durchlaufen, bevor diese verbindlich festgelegt werden.

4 Beurteilungskonzept

In *Abbildung 4* ist eine Übersicht über die verschiedenen Schritte des Beurteilungskonzepts abgebildet. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden genauer erläutert.

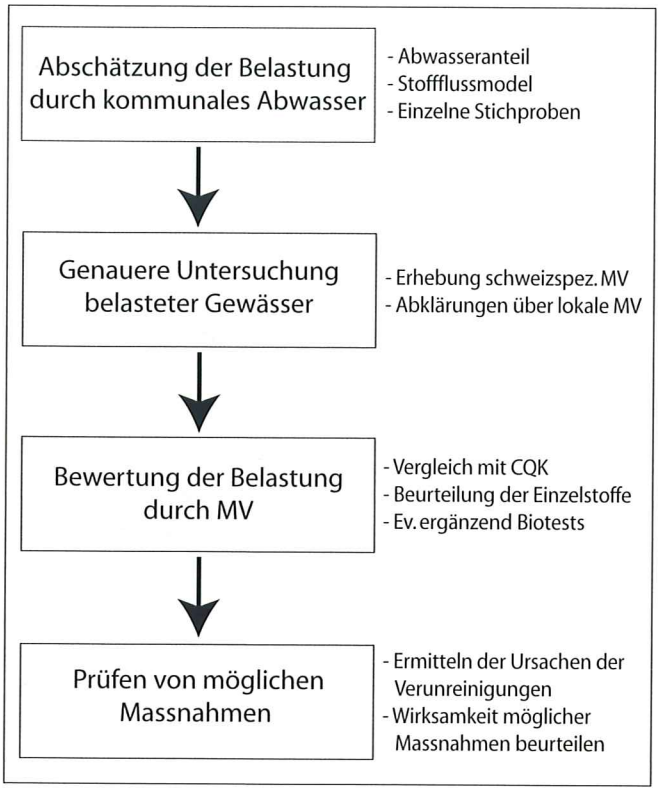


Abb. 4 Übersicht über das Beurteilungskonzept.

4.1 Abschätzung der Belastung

Erhebungen von MV in Gewässern sind im Vergleich zu anderen gewässerrelevanten Parametern, die beispielsweise im Rahmen des Moduls Nährstoffe [8] erhoben werden, *aufwändiger* und *kostenintensiver*. Daher sollen Untersuchungen zur Beurteilung der Wasserqualität nur dort durchgeführt werden, wo Hinweise auf eine Belastung der Gewässer vorhanden sind. Als Grundlage für eine Beurteilung der Wasserqualität mittels *spurenanalytischer Methoden*, sollte eine Übersicht bezüglich der erwarteten Belastung der Gewässer mit MV aus kommunalem Abwasser erstellt werden. Dazu kann wie folgt vorgegangen werden:

- Ermittlung des *Abwasseranteils* in einzelnen Gewässern bei Minimalabfluss (Q_{347}): Die Abwassermenge kann entweder (1) aus der über die Siedlungsentwässerung an die Gewässer angeschlossene Bevölkerung abgeschätzt werden oder (2) aus den gemessenen Abwassereinleitungen aus kommunalen ARA berechnet werden. Dabei können auch weitergehende Informationen berücksichtigt werden, wie z.B. Entlastungen aus der Mischwasserkanalisation bei Regenwetter, Regenkanäle in Trennsystemen, Einleitungen aus Industrie und Gewerbebetrieben.
- *Orientierende Messkampagne* mit Stichproben: Dabei werden Stichproben von ausgewählten Stellen (z. B. unterhalb der Einleitstelle grösserer ARA im Einzugsgebiet) auf ausgewählte Stoffe aus der Siedlungsentwässerung untersucht.

Bei der Ermittlung potenziell durch MV belasteter Gewässer sollen die lokalen einzugsgebietsspezifischen Gegebenheiten berücksichtigt werden, da insbesondere Einleitungen aus lokalen Industrie- und Gewerbebetrieben eine Belastung der Gewässer mit ganz spezifischen Stoffen zur Folge haben können.

4.2 Belastete Gewässer

Nach der Eingrenzung der durch MV aus kommunalem Abwasser belasteten Gewässer, sollen diese in einem zweiten Schritt *genauer untersucht* werden. Als eine erste Stoffauswahl kann die Liste der schweizspezifischen Spurenstoffe, für die bereits CQK hergeleitet wurden, dienen *(Tab. 2)*. Allerdings muss beachtet werden, dass einige Stoffe, zum Beispiel Ethinylöstradiol, spurenanalytisch schwierig zu messen sind. Diese Liste kann erweitert werden, sobald für weitere Stoffe QK hergeleitet und geprüft wurden.

Probenahme

Die hier vorgeschlagene Probenahmestrategie fokussiert auf die Erhebung von näherungsweise kontinuierlich durch gereinigtes Abwasser eingetragene Stoffe im Gewässer. Das Erfassen von MV mit komplexen Eintragsmustern und unterschiedlichen Eintragspfaden verlangt eine weitergehende Probenahmestrategie, wie sie beispielsweise für Pflanzenschutzmittel in [37] vorgeschlagen wird.
Um den Gewässereintrag über gereinigtes Abwasser mit organischen MV aus kommunalem Abwasser zu erfassen oder zu überwachen, empfiehlt sich für die Stichproben folgende *Probenahmestrategie:*

- Stichproben im Gewässer mindestens viermal jährlich oder häufiger (optimalerweise zwölf jährliche Stichproben)
- Probenahme unter der Woche und nicht zu Ferienzeiten (vor allem für kleinere Vorfluter bzw. Kläranlagen)

Ergänzend können auch Proben vom ARA-Auslauf gemessen werden, wobei die Konzentration im Fliessgewässer über den Abwasseranteil im Fliessgewässer abgeschätzt werden kann. Der Vorteil dieses Vorgehens ist, dass die meisten Kläranlagen beim Auslauf routinemässig 24-Stunden-Sammelproben nehmen. Dadurch können etwaige durch Stichproben verursachte Artefakte, die nicht die allgemeine Belastungslage widerspiegeln, minimiert werden. Dafür können keine qualitativen Hinweise auf MV aus anderen Eintragspfaden gewonnen werden.

Umweltkonzentration (EC)

Um eine Bewertung der überprüften Gewässerstelle vornehmen zu können, muss aus den erhobenen Daten ein statistischer Wert auf Basis eines normierten statistischen Verfahrens errechnet werden, z. B. die Umweltkonzentration (EC = *environmental concentration*). Die EC ist eine kritische Grösse. Die Zustandsbeurteilung des Gewässers ist vom dabei angewendeten statistischen Verfahren direkt abhängig. Die EC kann aus Messwerten folgendermassen ermittelt werden: Arithmetischer Mittelwert, geometrischer Mittelwert, Median oder andere Perzentile [8]. Um die Vergleichbarkeit der Resultate von Fliessgewässeruntersuchungen verschiedener Fachstellen zu verbessern, wird im *Modul Nährstoffe* das 90. Perzentil für mindestens zwölf Stichproben vorgeschlagen [8]. Da die Erhebung von MV vergleichsweise aufwändiger ist, kann bei der Messung von vier saisonalen Stichproben auch der Mittelwert der auf den Niedrigwasserabfluss (Q_{347} = der Abfluss-Tagesmittelwert, der im Mittel an 95% der Tage, d.h. im Durchschnitt an 347 Tagen pro Jahr, erreicht oder überschritten wird) normalisierten Konzentrationen als EC verwendet werden. Wenn der Unterschied zwischen der kleinsten und der grössten normalisierten Konzentration mehr als eine Grössenordnung beträgt, sollten jedoch zusätzliche Stichproben oder Sammelproben in Betracht gezogen werden.

4.3 Bewertung der Belastung

Generell erfolgt eine Risikobewertung durch den Vergleich einer Umweltkonzentration mit den QK. Für die Beurteilung eines nach dem obigen Schema beprobten Gewässers bezüglich MV wird als Umweltkonzentration die ermittelte EC (90. Perzentil resp. Mittelwert) verwendet.
Für kontinuierliche Einträge von MV durch gereinigtes Abwasser ist insbesondere das chronische Qualitätskriterium (CQK, *Kap. 3*) relevant, da die Lebensgemeinschaften so vor den Folgen von Langzeitexpositionen geschützt werden können:

EC > CQK

Falls die EC höher liegt als das CQK, kann ein nicht tolerierbares Risiko für aquatische Lebensgemeinschaften angenommen werden, da meist nicht bekannt ist, wie lange diese Überschreitung stattgefunden hat. Analog zum *Modul Nährstoffe* wird eine Einteilung in fünf Kategorien resp. Zustandsklassen vorgeschlagen:
sehr gut/gut/mässig/unbefriedigend/schlecht

Die Zielvorgabe für Langzeitexposition (CQK) ist für die Zustandsklassen sehr gut und gut erreicht und für die Zustandsklassen mässig, unbefriedigend und schlecht nicht erreicht.
Die Kategorien, resp. Zustandsklassen werden gemäss *Tabelle 3* festgelegt.

Beurteilung		Bedingung/Beschreibung		Einhaltung Qualitätskriterium (CQK)
	sehr gut	Die Umweltkonzentration (EC) ist 100 mal kleiner als das Qualitätskriterium (CQK)	EC < 0,01 x CQK	CQK eingehalten
		die Umweltkonzentration (EC) ist 10 mal kleiner als das Qualitätskriterium (CQK)	EC < 0,1 x CQK	
	gut	die Umweltkonzentration (EC) ist kleiner als das Qualitätskriterium (CQK)	0,1 x CQK ≤ EC < CQK	
	mässig	die Umweltkonzentration (EC) ist kleiner als das doppelte Qualitätskriterium (CQK)	CQK ≤ EC < 2 x CQK	CQK überschritten (nicht eingehalten)
	unbefriedigend	die Umweltkonzentration (EC) ist kleiner als das zehnfache Qualitätskriterium (CQK)	2 x CQK ≤ EC < 10 x CQK	
	schlecht	die Umweltkonzentration (EC) ist gleich wie oder grösser als das zehnfache Qualitätskriterium (CQK)	EC ≥ 10 x CQK	

Tab. 3 Beurteilung der Wasserqualität für MV aus kommunalem Abwasser angelehnt an das *Modul Nährstoffe* des Modulstufenkonzepts des BAFU.

Da der Bereich, der in verschiedenen Fliessgewässern gefundenen Konzentrationen von MV, mehrere Grössenordnungen umfasst, wird ein überwiegend *dekadisches Kategorisierungsschema* vorgeschlagen, das ein grosses Konzentrationsspektrum abdeckt.

Mischungsproblematik

Bei der Beurteilung der MV nach den oben vorgestellten Zustandsklassen gilt zu beachten, dass diese Beurteilung auf Einzelstoffen basiert. Da die Mischungsproblematik von Mikroverunreinigungen derzeit noch nicht im vorliegenden einzelstoffbasierten Ansatz zum Tragen kommt, sind Klassierungen, die höhere Anforderungen als das vorgeschlagene CQK (Faktor 10 und 100) beinhalten, unter Berücksichtigung der Vorsorgeprinzipien in Betracht zu ziehen und werden von anderen Nationen wie den Niederlanden *(negligible concentration)* vorgeschlagen [38]. Sollte die analytische Bestimmungsgrenze für eine Substanz oberhalb einer Kategoriengrenze liegen, so kann eine Angabe auch als Mindestkategorie erfolgen. Ist ein Stoff nicht nachweisbar und liegt die Bestimmungsgrenze zwischen dem CQK/10 und dem QK, so kann die Mindestkategorie «gut+» angegeben werden, da die tatsächliche Expositionskonzentration sich entweder in der Kategorie «gut» oder «sehr gut» bewegt.

Vorsorgliche Zielwerte

Für Gewässer, die zur *Trinkwassergewinnung* genutzt werden, wurden von den Wasserwerk-Arbeitsgemeinschaften IAWD[2], IAWR[3] und der RiWA-Maas[4], die Trinkwasser für 106 Millionen Menschen in 17 Anrainer-Ländern bereitstellen, vorsorgliche Zielwerte vorgeschlagen [39]. Diese sollten für Gewässer, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, neben den wirkungsbasierten CQK zusätzlich berücksichtigt werden. Das Ziel der vorsorglichen Werte ist es eine Gewässerqualität zu erreichen, die es erlaubt, mit lediglich *naturnahen Aufbereitungsmethoden* Trinkwasser zu gewinnen. So sind mikrobiell schwer abbaubare Stoffe, auch solche ohne bekannte Wirkung, in Trinkwasserressourcen generell unerwünscht und sollten 1 µg/ℓ nicht überschreiten [39]. Für biologisch aktive Stoffe, wie Arzneimittel, wird eine Höchstkonzentration von 0,1 µg/ℓ vorgeschlagen, es sei denn, dass toxikologische Erkenntnisse einen niedrigeren Wert erfordern [39].

4.4 Hormonaktive Wirkungen

Ergänzend zur analytischen Erhebung und Beurteilung von Einzelstoffen ist die integrative Erfassung mittels *In-vitro-Biotests* für hormonaktive MV zu empfehlen. Im Speziellen ist dies für an den Östrogenrezeptor bindende Stoffe wünschenswert, da deren Qualitätskriterien aufgrund des tiefen Wirkungsbereiches (teilweise schon unter 1 ng/ℓ) analytisch nur sehr schwer zu überwachen sind. Mit *In-vitro-Testverfahren* kann das gesamte östrogene Potenzial einer Umweltprobe durch Angabe von 17-beta-Östradioläquivalenten bewertet werden, beispielsweise mit dem *Yeast Estrogen Screen* (YES-Test) und verschiedenen *Reportergen-Systemen* mit menschlichen Zelllinien [40, 41].
In der *Konsensplattform Abwasser* des Nationalen Forschungsprojektes zu hormonaktiven Wirkungen *NFP 50* [42] wurde vorgeschlagen, dass die rasche Entwicklung von international anerkannten Verfahren zum Nachweis hormonaktiver Eigenschaften von Chemikalien und Gemischen gefördert werden muss. Dabei wird eine Evaluation von sensitiven wirkungsbasierten, einfach handhabbaren, kostengünstigen und einfach interpretierbaren Biotests für östrogene Effekte für eine Anwendung durch Vollzugsbehörden oder durch private Labors auch im Modul Ökotoxikologie des Modulstufenkonzepts angestrebt. Eine vergleichende Bewertung zur Anwendbarkeit von 15 (10 *in vitro* und 5 *in vivo*) Biotestverfahren für eine Erfassung von hormonaktiven und reproduktionstoxischen Wirkungen wurde im Auftrag des Oekotoxzentrums durchgeführt [43].
Einige Biotests befinden sich bereits recht weit im Validierungsprozess der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), ebenso sind weitere für Umweltprobentestungen notwendige Normungen auf ISO-Ebene in Vorbereitung, so dass voraussichtlich innerhalb der nächsten drei bis vier Jahre zertifizierte, auf Umweltprobentestungen ausgelegte und regulativ belastbare Verfahren zu erwarten sind.

5 Situationsanalyse

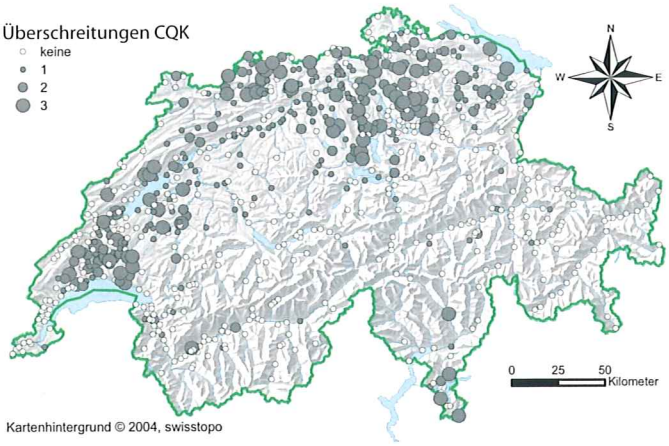
Anhand des in [44] vorgestellten Stoffflussmodels und aktualisierten Verkaufszahlen wurde für *sechs MV,* für die CQK vorgeschlagen wurden, eine schweizweite Übersicht erstellt: *Atenolol, Benzotriazol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac* und *Sulfamethoxazol.* Es wurde dabei angenommen, dass die betrachteten Stoffe über gereinigtes Abwasser kontinuierlich in Gewässer eingetragen werden. Für die sechs ausgewählten MV konnte eine gute *Vorhersagegenauigkeit* nachgewiesen werden [12, 44].
In *Abbildung 5* sind für die ganze Schweiz, die erwarteten Belastungen der Gewässerabschnitte unterhalb kommunaler ARA bei Niedrigwasserabfluss (Q_{347}), basierend auf vorhergesagten Umweltkonzentrationen (PEC, *predicted environmental concentrations*) für diese sechs MV dargestellt.
Für Atenolol, Benzotriazol und Sulfamethoxazol wurden in keinem der 543 modellierten Abschnitte Überschreitungen der CQK gefunden. Die CQK von Carbamazepin, Clarithromycin und Diclofenac werden beim Q_{347} jedoch in einigen

2 IAWD = Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Donaueinzugsgebiet

3 IAWR = Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet

4 RiWA = Vereniging van Rivierwaterbedrijven Maas

Anzahl CQK-Überschreitungen der sechs modellierten MV pro Gewässerabschnitt.



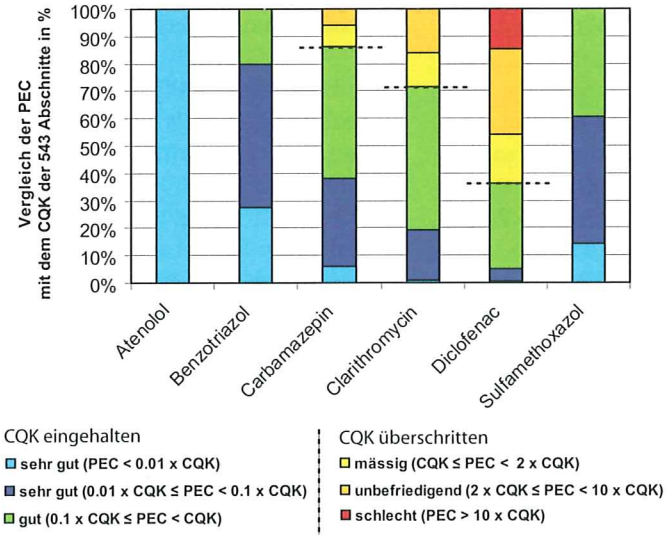


Abb. 5 Beurteilung von 543 Gewässerabschnitten unterhalb von ARA bezüglich Atenolol, Benzotriazol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac und Sulfamethoxazol. Die Umweltkonzentration (EC) der untersuchten MV wurde mittels des Stoffflussmodels von [44] berechnet (PEC = *predicted environmental concentration*), unter der Annahme des Niedrigwasserabflusses (Q_{347}) und mit den chronischen Qualitätskriterien (CQK) verglichen.

Gewässerabschnitten, hauptsächlich im schweizerischen Mittelland, überschritten. In 14% der modellierten Gewässerabschnitte liegen die Schätzwerte dieser drei MV über den CQK. Diese Gewässerabschnitte könnten beispielsweise für detaillierte Untersuchungen priorisiert werden. Ein Vorgehen und weitere Schritte gemäss dem oben vorgestellten Beurteilungskonzept müssen im Einzelfall überprüft und beurteilt werden.

6 Diskussion und Ausblick

Das hier vorgestellte Beurteilungskonzept fokussiert in erster Linie auf den Eintrag von MV durch gereinigtes Abwasser und zeigt Möglichkeiten auf, diese zu erheben und zu bewerten. Gewisse Aspekte, z.B. die Stoffauswahl, können auf das gesamte kommunale Abwasser (inkl. Mischwasserentlastungen, Leckagen und teilweise für Regenkanäle) übertragen werden. Das vorgestellte Verfahren erlaubt eine Beurteilung einzelner Gewässerabschnitte für einzelne MV aus kommunalem Abwasser analog zur Beurteilung anderer Parameter, wie Nährstoffe oder Schwermetalle, die in der GSchV geregelt sind.

Die Dynamik von Einträgen von MV aus kommunalem Abwasser über Mischwasserentlastungen oder Regenkanäle kann mit dem vorgeschlagenen Erhebungskonzept nicht erfasst werden und es kann höchstens eine Grundbelastung durch diese Stoffe bestimmt werden. In weiteren Projekten sollen diese dynamischen Einträge sowie diffusen Einträge von Mikroverunreinigungen aus Landwirtschaft oder Strassenentwässerungen genauer charakterisiert und untersucht werden.

Literaturverzeichnis

[1] *Chèvre, N. et al.* (2006): Pestizide in Schweizer Oberflächengewässern. gwa/06.

[2] *Escher, B. et al.* (2008): Toxic equivalent concentrations (TEQs) for baseline toxicity and specific modes of action as a tool to improve interpretation of ecotoxicity testing of environmental samples. Journal of Environmental Monitoring 10: S. 612–621.

[3] *Nadzialek, S. et al.* (2010): Understanding the gap between the estrogenicity of an effluent and its real impact into the wild. Science of the Total Environment 408(4): S. 812–821.

[4] *AWEL Abteilung Gewässerschutz* (2007): Risikobeurteilung von Arzneimitteln und endokrin wirksamen Substanzen in Oberflächengewässern des Kantons Zürich, Praktikumsbericht, Baudirektion Kanton Zürich.

[5] *Singer, H. et al.* (2009): Screening-Messungen von organischen Mikroverunreinigungen im Bodensee. Eawag.

[6] *Schärer, M.; Sieber, U.; Müller, S.* (2007) Mikroverunreinigungen: Erarbeitung einer Strategie. gwa 11/07.

[7] *Gälli, R., Ort, C.; Schärer, M.* (2009): Mikroverunreinigungen in den Gewässern – Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungsentwässerung, in Umwelt-Wissen Nr. 17/09, Bundesamt für Umwelt: Bern 103.

[8] *Liechti, P.* (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-pysikalische Erhebungen, Nährstoffe, in Umwelt-Vollzug, Bundesamt für Umwelt: Bern (wird demnächst publiziert).

[9] *AWEL Abteilung Gewässerschutz* (2008): Monitoring of micropollutants. Reports; *www.gewaesserqualitaet.zh.ch*

[10] *Hollender, J.; McArdell-Bürgisser, C.; Escher, B.* (2007): Mikroverunreinigungen Vorkommen in Gewässern der Schweiz und Bewertung. gwa 11/07.

[11] *IKSR* (2006): Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein, Jahresbericht. Im Auftrag vom Umweltministerium Baden-Württemberg und dem Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (BAFU).

[12] *Ort, C. et al.* (2009): Model-Based Evaluation of Reduction Strategies for Micropollutants from Wastewater Treatment Plants in Complex River Networks. Environmental Science & Technology 43(9): S. 3214–3220.

[13] *AWEL Abteilung Gewässerschutz* (2005): Arzneimittelrückstände und hormonell wirksame Stoffe in Fliessgewässern sowie Kläranlagenabläufen, Baudirektion Kanton Zürich.

Verdankung

Wir danken *Ulrich Sieber, Michael Schärer, Bettina Hitzfeld, Christian Leu* und *Mario Keusen* vom BAFU, *René Gälli* von BMG und *Irene Wittmer* von der Eawag für die detaillierten Anmerkungen zum Artikel. Auch danken wir den Mitgliedern der Strategie MicroPoll-Arbeitsgruppe Beurteilungskonzept, *Christian Balsiger, Jürg Straub, Marin Huser, Philippe Vioget* und *Pierre Mange* für die Diskussionen und Anmerkungen zum Beurteilungskonzept, wie auch *Pius Niederhauser* und *Walo Meier* vom AWEL und *Petra Kunz* vom Ökotoxzentrum für ihre Anmerkungen. Ebenso *Thomas Knacker, Markus Liebig, Karen Duis* und *Tineke Slootweg* von ECT Ökotoxikologie GmbH und *Rita Triebskorn* vom Steinbeis-Transferzentrum für Oekotoxikologie und Ökophysiologie für die Begutachtung der Qualitätskriterien-Vorschläge.

[14] *AWEL Abteilung Gewässerschutz* (2004): Untersuchungen von Pestiziden in Oberflächengewässern und im Grundwasser des Kanton Zürich 2003, Baudirektion Kanton Zürich.

[15] *AWEL Abteilung Gewässerschutz* (2003): Untersuchungen von Gewässern auf Pestizide im Kanton Zürich 2002, Baudirektion Kanton Zürich.

[16] *CIPEL* (2008): Der Genfersee und sein Einzugsgebiet in einigen Daten; *www.cipel.org/sp/article75.html*

[17] *Singer, H. et al.* (2008): Multikomponenten-Screening für den Rhein bei Basel. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt BAFU. Eawag.

[18] *Singer, H.; Kern, S.; Hollender, J.* (2010): Ultratrace-level screening of target and non-target contamninants in natural waters using layered mixed mode solid phase extraction followed by data-dependent LC-LTQ-Orbitrap detection. in prep.

[19] *Giger, W.; Schaffner, C.; Kohler, H.P.E.* (2006): Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. Environmental Science & Technology 40(23): S. 7186–7192.

[20] *AFU St.Gallen* (2009): Messungen von Mikroverunreinigungen in Ostschweizer Fliessgewässern 2003–2007; *www.umwelt.sg.ch/home/Themen/wasser/Mikroverunreinigungen.html*

[21] *Gujer, W.* (2002): Siedlungswasserwirtschaft, 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.

[22] *Bürge, I.J. et al.* (2009): Ubiquitous Occurrence of the Artificial Sweetener Acesulfame in the Aquatic Environment: An Ideal Chemical Marker of Domestic Wastewater in Groundwater. Environmental Science & Technology 43(12): S. 4381–4385.

[23] *Bürge, I.J. et al.* (2006): Combined sewer overflows to surface waters detected by the anthropogenic marker caffeine. Environmental Science & Technology 40(13): S. 4096–4102.

[24] *Wittmer, I.K. et al.* (2010): Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. Environmental Science & Technology 44(9): S. 2850–2862

[25] *Rieckermann, J.* (2006): Quantification of Exfiltration from Sewers with Tracers. Diss. ETH No. 16158: S. 10.3929/ethz-a-005129709.

[26] *European-Commission* (2006): Commission proposal COM (2006) 397 final: Proposed priority substances directive. Official Journal of the European Communities L397.

[27] *Freitas, L.G. et al.* (2004): Quantification of the new triketone herbicides, sulcotrione and mesotrione, and other important herbicides and metabolites, at the ng/l level in surface waters using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Journal Of Chromatography A 1028(2): S. 277–286.

[28] *Keller, A.; Balsiger, C.* (2007): Risikobeurteilung von Arzneimitteln und endokrin wirksamen Substanzen in Oberflächengewässern des Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft: Zürich.

[29] *Stamm, C. et al.* (2008): Spatial and temporal patterns of pharmaceuticals in the aquatic environment: A review. Geography Compass: S. 920–955.

[30] *Stoob, K. et al.* (2005): Fully automated online solid phase extraction coupled directly to liquid chromatography-tandem mass spectrometry – Quantification of sulfonamide antibiotics, neutral and acidic pesticides at low concentrations in surface waters. Journal Of Chromatography A 1097(1–2): S. 138–147.

[31] *Götz, C.W. et al.* (2010): Targeting aquatic microcontaminants for monitoring: Exposure categorization and application to the Swiss situation. Environmental Science and Pollution Research: 17(2) S. 341–354.

[32] *Wenzel, A. et al.* (1999): Nebenwirkungen von Kontrazeptiva-Umweltrelevante von Ethinylestradiol beeinträchtigen die Befruchtungsfähigkeit von Fischen. Jahresbericht 1999, IUCT-Fraunhofer Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie. 49–52.

[33] *Parrott, J.L.; Blunt, B.R.* (2005): Life-cycle exposure of fathead minnows (Pimephales promelas) to an ethinylestradiol concentration below 1 ng/l reduces egg fertilization success and demasculinizes males. Environmental Toxicology 20(2): S. 131–141.

[34] *European Commission* (2008): Richtlinie über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik 2008/105/EG.

[35] *European Commission* (2009): TGD for EQS, Chemicals and the water framework directive: Technical guidance for deriving environmental quakity standards, Draft (25/11/2009).

[36] *Klimisch, H.; Andreae, M.; Tillmann, U.* (1997): A Systematic Approach for Evaluating the Quality of Experimental Toxicological and Ecotoxicological Data. Regulatory Toxicology and Pharmacology 25: S. 1–5.

[37] *Stamm, C. et al.* (2006): Monitoring von Pestizidbelastungen in Schweizer Oberflächengewässern. gwa 8/06.

[38] *van Vlaardingen, P.; Verbruggen, E.* (2007): RIVM report601782001/2007:Guidance for the derivation of environmental risk limits within the framework of «International and national environmental quality standards for substances in the Netherlands» (INS). Revision 2007.

[39] *IAWD RIWA-Maas und IAWR* (2008): Donau-, Maas- und Rhein Memorandum.

[40] *Van der Linden, S.C. et al.* (2008): Detection of multiple hormonal activities in wastewater effluents and surface water, using a panel of steroid receptor CALUX bioassays. Environmental Science & Technology 42(15): S. 5814–5820.

[41] *Wilson, V.S.; Bobseine, K.; Gray, L.E.* (2004): Development and characterization of a cell line that stably expresses an estrogen-responsive luciferase reporter for the detection of estrogen receptor agonist and antagonists. Toxicological Sciences 81(1): S. 69–77.

[42] *Schweizer Nationalfonds* (FNSNF) (2008): Konsensplattform «Hormonaktive Stoffe in Abwassern und Gewässern». Schlussdokument. Nationales Forschungsprogramm «Hormonaktive Stoffe»; *www.nrp50.ch/final-products/final-reports-consensus-plattforms.html*

[43] *Kase, R.; Kunz, P.; Gerhardt, A.* (2009): Identifikation geeigneter Nachweismöglichkeiten von hormonaktiven und reproduktionstoxischen Wirkungen in aquatischen Ökosystemen. Umweltwiss Schadst Forsch 21(4): S. DOI 10.1007/s12302-009-0072-2.

[44] *Ort, C. et al.* (2007): Mikroverunreinigungen: Nationales Stoffflussmodell. gwa 11/07.

[45] *Singer, H. et al.* (2002): Triclosan: Occurrence and fate of a widely used biocide in the aquatic environment: Field measurements in wastewater treatment plants, surface waters, and lake sediments. Environmental Science & Technology 36(23): S. 4998–5004.

[46] *U.S.EPA* (2007): Estimation program interface; EPI Suite v3.20.

[47] *Hanke, I.; Singer, H.; Hollender, J.* (2008): Ultratrace-level determination of glyphosate, aminomethylphosphonic acid and glufosinate in natural waters by solid-phase extraction followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry: performance tuning of derivatization, enrichment and detection. Analytical and Bioanalytical Chemistry 391(6): S. 2265–2276.

[48] *Battaglin, W.A. et al.* (2005): Glyphosate, other herbicides, and transformation products in Midwestern streams, 2002. Journal of the American Water Resources Association 41(2): S. 323–332.

Keywords

Fliessgewässer – Beurteilung der Wasserqualität – organische Spurenstoffe – Strategie MicroPoll – Arzneimittel

Autoren

Christian W. Götz, Dr.
Tel. +41 (0)44 823 50 42
christian.goetz@eawag.ch

Robert Kase, Dr.
robert.kase@oekotoxzentrum.ch

Cornelia Kienle, Dr.
cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Juliane Hollender, Prof. Dr.
juliane.hollender@eawag.ch

Eawag
Überlandstrasse 133
CH-8600 Dübendorf