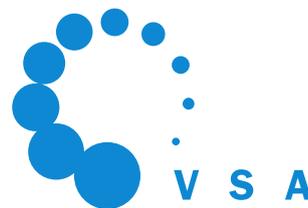


Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute

Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux

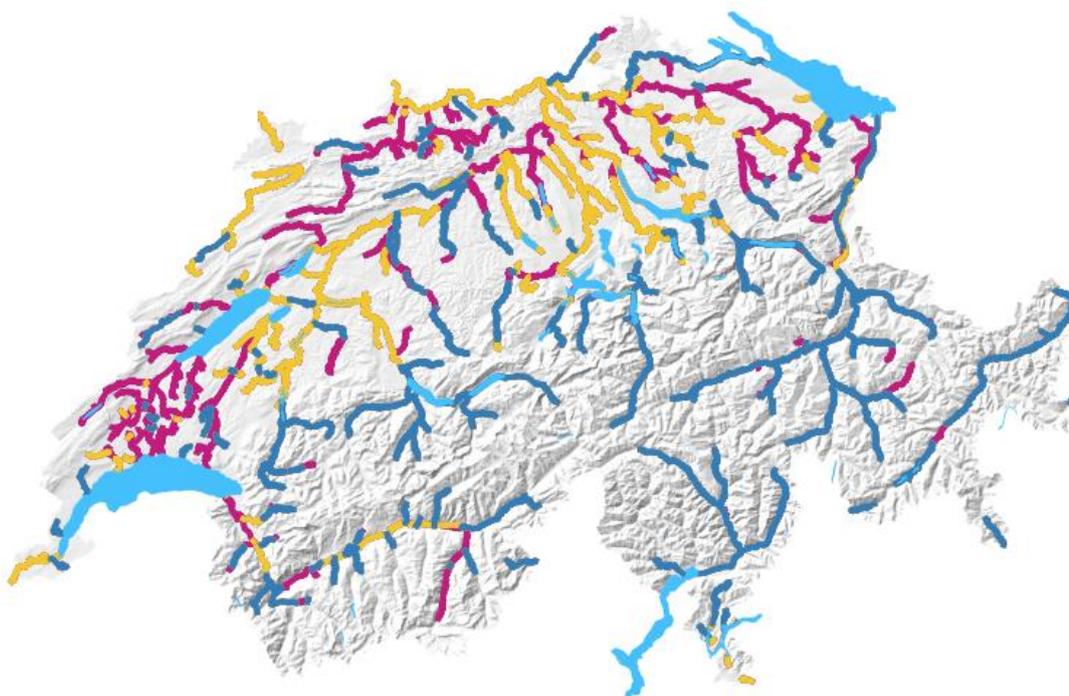
Associazione svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque

Swiss Water
Association



GRENZWERTÜBERSCHREITUNGEN IM GEWÄSSER MIT ARA-AUSBAU BESEITIGEN

Stoffflussanalyse identifiziert betroffene ARA



Stand: 13. Februar 2024

Impressum

Die vorliegende Publikation wurde mit aller Sorgfalt und nach bestem Gewissen erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität kann der VSA jedoch keine Gewähr übernehmen. Haftungsansprüche wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche durch die Anwendung der Publikation entstehen können, werden ausgeschlossen.

Autor:innen

Rebekka Gulde, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen, Glattbrugg
Pascal Wunderlin, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen, Glattbrugg

Danksagung

Ein grosses Dankeschön geht an die kantonalen Fachstellen und an die Eawag, dass sie uns ihre Messdaten zur Verfügung gestellt haben. Ebenso möchten wir dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Abfluss- sowie GIS-Daten bedanken. Für die wertvollen Diskussionen und Rückmeldungen zu diesem Artikel bedanken wir uns herzlichst bei D. Dominguez (BAFU), A. Joss (Eawag) und M. Mattle (VSA).

Herausgeber

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Association suisse des professionnels de la protection des eaux
Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Bezugsquelle

VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»
www.micropoll.ch, info@micropoll.ch

Zitierung

Gulde, R., Wunderlin, P. (2024). Grenzwertüberschreitungen im Gewässer mit ARA-Ausbau beseitigen - Stoffflussanalyse identifiziert betroffene ARA. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

Mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

INHALT

1	Zusammenfassung	4
2	Ausgangslage und Zielsetzung	6
3	Abwasseranteil, welcher zu Grenzwertüberschreitungen führt	7
4	Stoffflussmodellierung	11
4.1	Grundlagen	11
4.2	Plausibilisierung: Vergleich der modellierten Frachten mit Gewässermessungen	16
4.3	ARA, die zu Überschreitungen führen	17
4.3.1	ARA anhand der Diclofenac-Konzentration im Gewässer identifizieren	18
4.3.2	ARA anhand des Abwasseranteils im Gewässer identifizieren	19
4.3.3	Diclofenac-Konzentration vs. Abwasseranteil: Stimmt die identifizierten ARA überein?	19
4.4	Aussagekraft der Modellierung	21
5	Fliesstrecke mit gereinigtem Abwasser	23
6	Literatur	25
7	Anhang	27
7.1	ARA, die durch den Wintertourismus zu Überschreitungen führen	27
7.2	ARA, für die keine Q347 Werte verfügbar sind	28
7.3	Eignung des Minimalabflusses Q347	28
7.4	Details zu ARA, die zu Überschreitungen der Diclofenac-Konzentration führen	31
7.5	Details zu ARA, die zu Überschreitungen des Abwasseranteils führen	35
7.6	Details zu der Grössenverteilung, der betroffenen ARA	36
7.7	Details zu den betroffenen Flieskilometern	37
7.8	Auswirkungen einer Diclofenac-Reduktion im Zulauf beispielsweise aufgrund einer Rezeptpflicht	37

1 ZUSAMMENFASSUNG

Seit 2016 baut die Schweiz ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mit einer zusätzlichen Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus. Nun fordert die Motion 20.4262 zusätzliche Massnahmen bei jenen ARA, deren Abwasser Grenzwertüberschreitungen in den Gewässern verursachen. Dies ist der Fall für ARA ab einem Abwasseranteil im Gewässer von 2% bis 3%. Die bereits geplanten MV-Stufen halbieren die ursprünglich belastete Fliessstrecke von rund 3'000 km. Massnahmen an weiteren ARA sind notwendig, um auch die verbleibende Fliessgewässerstrecke zu entlasten.

Rund 20 ARA haben bereits Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umgesetzt. Das sind entweder Verfahren mit Aktivkohle oder mit Ozon, oder auch die Umleitung des Abwassers auf eine andere ARA. Basierend auf den gesetzlichen Kriterien des ARA-Ausbauprogramms von 2016, werden rund 135 ARA bis 2040 solche Massnahmen treffen. Dies sind die grössten ARA, mittelgrosse ARA im Einzugsgebiet von Seen und ARA an Gewässern mit einem Anteil an gereinigtem Abwasser von >10%.

Im Herbst 2021 hat das Parlament die Motion 20.4262¹ angenommen. Diese fordert, dass alle ARA, deren Ausleitungen Grenzwertüberschreitungen zur Folge haben, Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umsetzen müssen. Grenzwerte für Mikroverunreinigungen sind seit April 2020 in der Gewässerschutzverordnung enthalten. Für den Ausbau der ARA relevant sind die Grenzwerte für Arzneimittel Azithromycin, Clarithromycin und Diclofenac, da diese hauptsächlich aus dem häuslichen Abwasser stammen. Die meisten Überschreitungen gehen von Diclofenac aus. Für Azithromycin und Clarithromycin werden Grenzwertüberschreitungen nur an Stellen erwartet, wo auch Diclofenac überschreitet.

Überschreitungen treten ab einem Abwasseranteil von 2% bis 3% auf.

Bisher definiert die Gewässerschutzverordnung die Kriterien zum Ausbau von ARA über den Abwasseranteil. Auch in diesem Fall können die betroffenen ARA über den Abwasseranteil identifiziert werden. Dies zeigt diese schweizweite Stoffflussanalyse, die die Diclofenac-Konzentrationen sowie den Abwasseranteil im Gewässer bei Minimalabfluss berechnet hat. Ab einem Abwasseranteil von 2% bis 3% treten Grenzwert-Überschreitungen auf.

Zusätzliche ARA führen zu Grenzwertüberschreitungen

Nach Umsetzung des ARA-Ausbaus (2016) führen weitere ARA zu Überschreitungen der Grenzwerte im Gewässer. Dies sind rund 250-290 ARA. Bei rund 60 ARA kann die Situation aufgrund fehlender Daten nicht berechnet werden. Die Spannweite kommt daher, dass sich die Diclofenac-Konzentrationen im Abwasser verschiedener ARA leicht unterscheiden².

Diese zusätzliche ARA-Massnahmen entlasten weitere 1'700 Kilometer Fliessgewässer

Von den Schweizer Fliessgewässern wären ohne Ausbauprogramm rund 3'000 Fliesskilometer von Grenzwert-Überschreitungen bei Minimalabfluss betroffen. Die bereits geplanten MV-Stufen halbieren die belastete Fliessstrecke. Treffen zusätzlich ARA Massnahmen ab einem Abwasseranteil von 3% verbleiben rund 200 belastete Fliesskilometer. Ab einem Abwasseranteil von 2% wären keine Fliesskilometer mehr belastet.

¹ Motion 20.4262 «Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen für alle Abwasserreinigungsanlagen»

² Mittlere Diclofenac-Konzentrationen liegen bei 1.6µg/L (Median), was einem Abwasseranteil von 3% entspricht. Hohe Werte liegen bei 2.4µg/L (90%-Quantil), was einem Abwasseranteil von 2% entspricht.

Da Verfahren mit Ozon Diclofenac besser entfernen als solche mit Aktivkohle, können in Einzelfällen nur Verfahren mit Ozon bzw. Verfahren oder Betriebsweisen mit einer ähnlichen Eliminationsleistung die Grenzwertüberschreitung beseitigen.

Massnahmen sind auch bei kleinen ARA notwendig

Zwei Drittel der betroffenen ARA sind klein. Das heisst, sie haben weniger als 8'000 angeschlossene Einwohnerinnen. Ein Drittel hat sogar weniger als 1'000 angeschlossene Einwohner. Bei diesen ARA sind stabil laufende und wartungsarme Reinigungsverfahren nötig.

2 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Seit 2016 müssen in der Schweiz ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen. Das sind entweder Verfahren mit Aktivkohle oder mit Ozon, aber auch die Umleitung des Abwassers auf eine andere ARA ist möglich. Im Jahre 2023 waren rund 20 ausgebaute ARA in Betrieb. Bis 2040 werden, nach dem Ausbauprogramm (2016), rund 135 ARA ausbauen oder aufgehoben und deren Abwasser auf eine andere ARA umgeleitet. Betroffen davon sind die grössten ARA, mittelgrosse ARA im Einzugsgebiet von Seen, und ARA an Gewässern mit einem Anteil an gereinigtem Abwasser von >10%³.

Im Herbst 2021 wurde die Motion 20.4262 angenommen. Diese fordert, dass alle ARA Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen sollen, deren Ausleitungen Grenzwertüberschreitungen in den Gewässern zur Folge haben. Grenzwerte für Mikroverunreinigungen sind seit April 2020 in der Gewässerschutzverordnung enthalten. Für den Ausbau der ARA relevant sind die Grenzwerte für die Arzneimittel Azithromycin, Clarithromycin und Diclofenac, da diese Arzneimittel hauptsächlich aus dem häuslichen Abwasser stammen.

Bisher definiert die Gewässerschutzverordnung die Kriterien zum Ausbau von ARA anhand deren Grösse und über den Abwasseranteil im Gewässer, in das die ARA einleiten⁴.

Die vorliegende Studie beantwortet folgende zwei Fragen:

- Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Abwasseranteil im Gewässer und den Grenzwertüberschreitungen?
- Wie viele ARA überschreiten die Grenzwerte im Gewässer, in das sie ihr gereinigtes Abwasser einleiten?

Darauf aufbauend wurden in einer separaten Studie die notwendigen Investitionskosten ermittelt [1].

Dieser Bericht dient als Grundlage für die Erarbeitung der gesetzlichen Grundlagen zur Umsetzung der Motion 20.4262. Es ist **nicht** das Ziel dieser Studie, ARA zu definieren, die nach Motion 20.4262 Massnahmen ergreifen müssen. Diese Aufgabe obliegt den kantonalen Behörden.

Die Inhalte dieses Artikels flossen gemeinsam mit Daten und Diskussionen zur Gewässersituation in einen Aqua & Gas Artikel ein [2].

³ Anforderungen der Gewässerschutzverordnung an die Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer hinsichtlich organischer Spurenstoffe (Anhang 3.1 GSchV. Ziffer 2 Nummer 8)

Der Reinigungseffekt, bezogen auf Rohabwasser und gemessen anhand von ausgewählten Substanzen, muss 80% betragen für Abwasser aus:

- Anlagen ab 80 000 angeschlossenen Einwohnern;
- Anlagen ab 24 000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen; der Kanton kann Ausnahmen bewilligen, wenn der Nutzen einer Reinigung für die Umwelt und für die Trinkwasserversorgung klein ist;
- Anlagen ab 8000 angeschlossenen Einwohnern, die in ein Fließgewässer mit einem Anteil von mehr als 10 % bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser einleiten; der Kanton bezeichnet die Anlagen, die Massnahmen treffen müssen, im Rahmen einer Planung im Einzugsgebiet;
- Andere Anlagen ab 8000 angeschlossenen Einwohnern, wenn eine Reinigung aufgrund besonderer hydrogeologischer Verhältnisse erforderlich ist;
- ¹¹⁵ In Kraft ab 1. Jan. 2028 (AS 2019 1489): -Anlagen ab 1000 angeschlossenen Einwohnern, die in ein Gewässer mit einem Anteil von mehr als 20 % bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser einleiten, wenn das Gewässer in einem ökologisch sensiblen Gebiet liegt oder für die Trinkwasserversorgung wichtig ist und wenn der Kanton die Anlagen im Rahmen einer Planung im Einzugsgebiet zur Reinigung verpflichtet.

⁴ Anteil bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser

3 ABWASSERANTEIL, WELCHER ZU GRENZ- WERTÜBERSCHREITUNGEN FÜHRT

Für ausgewählte Mikroverunreinigungen sind seit April 2020 Immissionsgrenzwerte, d.h. Grenzwerte im Gewässer, in der Gewässerschutzverordnung festgeschrieben. Für ARA relevant sind die Grenzwerte der Arzneimittel Azithromycin, Clarithromycin und Diclofenac, da diese Arzneimittel hauptsächlich aus dem häuslichen Abwasser stammen.

Für diese drei Stoffe gelten die folgende chronischen Gewässergrenzwerte⁵, die gemittelt über einen Zeitraum von 2 Wochen eingehalten werden müssen:

- Azithromycin: 0.019 µg/L
- Clarithromycin 0.12 µg/L
- Diclofenac 0.05 µg/L

Um den Abwasseranteil zu ermitteln, ab welchem die drei Stoffe ihren Immissionsgrenzwert überschreiten, müssen gängige Konzentrationen im ARA-Ablauf bekannt sein.

Konzentrationen im ARA-Ablauf von Diclofenac

Zur Ermittlung der gängige Konzentrationen an Diclofenac im ARA Ablauf wurden Messdaten aus sechs Kantonen zusammengetragen⁶. Diese sind in *Abb. 1* dargestellt. Die gemessenen Konzentrationen stammen aus dem Ablauf⁷ von 26 grossen ARA, die jeweils alle das Abwasser von über 30'000 angeschlossenen Personen behandeln. Insgesamt deckt dieser Datensatz 2.2 Mio. Einwohner ab, was rund einem Viertel der Schweizer Bevölkerung entspricht. Die mediane Ablaufkonzentration (50%-Quantil) liegt bei 1.6 µg/L. Das 90%-Quantil liegt bei 2.5 µg/L.

⁵ Numerische Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GschV, Ziffer 11)

⁶ Messungen der kantonalen Behörden: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Amt für Umweltschutz und Energie des Kanton Basel Landschaft, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Département de l'environnement et de la sécurité de Canton de Vaud

Messungen im Rahmen der folgenden Publikationen [4] [18] [19] [20] [21]

⁷ Bei ARA, die bereits eine zusätzliche Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen haben, wurden nur Messwerte nach der biologischen Behandlung und vor dieser Stufe verwendet.

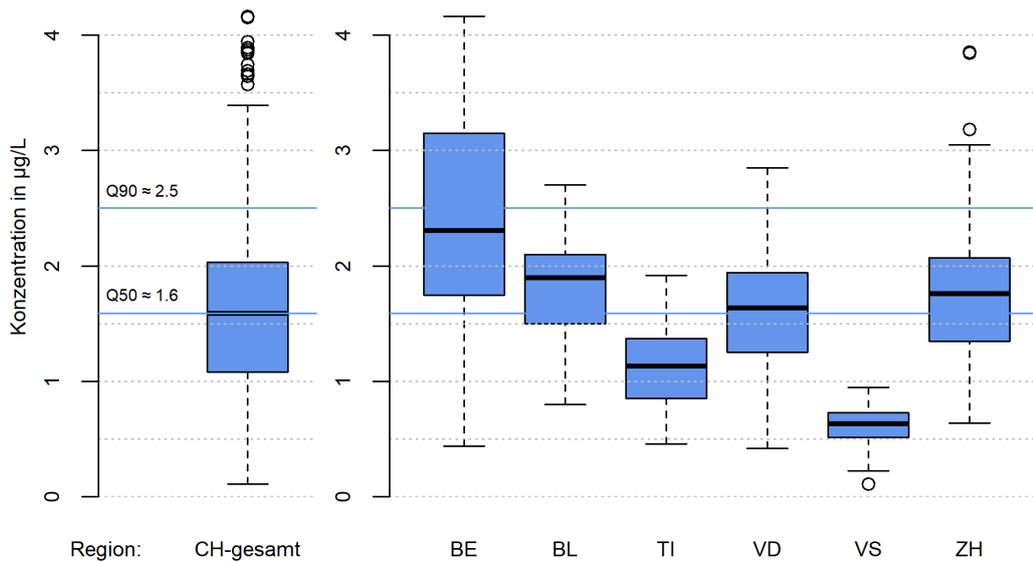


Abb. 1: Diclofenac Konzentrationen im Ablauf von 26 grossen ARA aus 6 Kantonen⁸. Die Boxplots repräsentieren den Median (schwarze, dicke Linie), das 25% und 75%-Perzentile (Box), die minimalen und maximalen Werte (Whiskers), sowie die statistischen Ausreisser (Kreise). Links sind alle verfügbaren Daten dargestellt. Rechts sind dieselben Daten für die jeweiligen Kantone aufgeführt. Die horizontalen blauen Linien stellen das 50%- sowie das 90%-Quantil aller Daten dar.

Konzentrationen im ARA-Ablauf von Clarithromycin

Für Clarithromycin wurden die Messungen aus dem Kanton Zürich und dem Kanton Waadt verwendet (Abb. 2 links⁹). Die mediane Ablaufkonzentration (50%-Quantil) liegt bei 0.2 µg/L. Das 90%-Quantil liegt bei 0.46 µg/L (Abb. 2 links und Tab. 1).

Konzentrationen im ARA-Ablauf von Azithromycin

Für Azithromycin liegen keine regelmässigen Messungen vor. Daher wurden Daten aus verschiedenen einzelnen Untersuchungskampagnen verwendet. Diese stammen aus den Kantonen St. Gallen [2] und Basel-Landschaft [3] sowie aus einem Eawag-Projekt auf der ARA Neugut (Dübendorf; [4]) (Abb. 2 rechts). Die mediane Ablaufkonzentration liegt bei 0.13 µg/L. 90% der Messdaten lagen unterhalb von 0.38 µg/L.

⁸ Messungen der kantonalen Behörden: Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel Landschaft, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Département de l'environnement et de la sécurité de Canton de Vaud

Messungen im Rahmen der folgenden Publikationen [4] [18] [19] [20] [21]

⁹ Messungen der kantonalen Behörden: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Département de l'environnement et de la sécurité de Canton de Vaud [18]

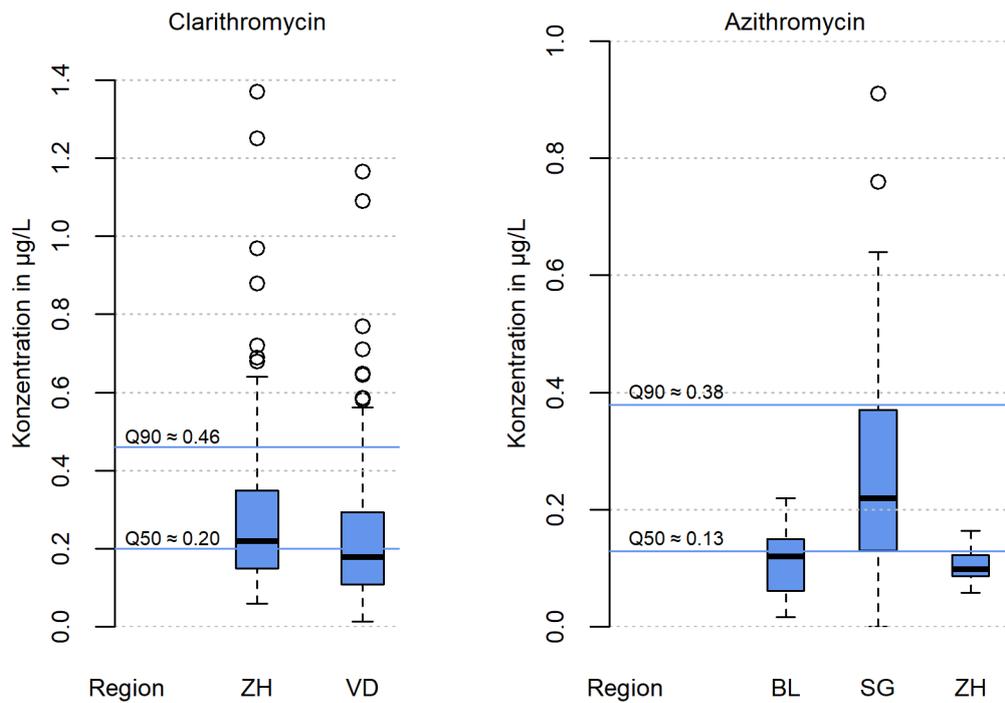


Abb. 2: Die Boxplots repräsentieren den Median (schwarze, dicke Linie), das 25% und 75%-Perzentile (Box), die minimalen und maximalen Werte (Whiskers), sowie die statistischen Ausreisser (Kreise). Links: Clarithromycin-Konzentrationen im Ablauf von 14 ARA aus den Kantonen Zürich und Waadt¹⁰. Rechts: Azithromycin-Konzentrationen im ARA-Ablauf [2] [3] [4]. Die horizontalen blauen Linien geben das 50%- sowie das 90%-Quantil an.

Abwasseranteil

Der Abwasseranteil, ab dem der Immissionsgrenzwert¹¹ überschritten wird, ermittelt sich für eine bestimmte Substanz als Quotient des Grenzwertes und der Konzentration dieser Substanz im ARA-Ablauf ($C_{\text{Substanz, ARA ab}}$; siehe Gleichung 1).

$$\text{Abwasseranteil} = \frac{\text{Immissionsgrenzwert}_{\text{Substanz}}}{C_{\text{Substanz, ARA, ab}}} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Der berechnete Abwasseranteil für Diclofenac, Clarithromycin und Azithromycin ist in Tab. 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass Diclofenac mit 2% (Q₉₀) den geringsten Abwasseranteil aufweist, ab dem es zu Überschreitungen kommt. Das bedeutet, dass für die anderen beiden Substanzen jeweils mehr gereinigtes Abwasser im Gewässer notwendig ist, damit sie ihren Immissionsgrenzwert überschreiten. Das bestätigen auch NAWA¹² Messungen: Diclofenac führt in den Oberflächengewässern zu den häufigsten Grenzwertüberschreitungen [5].

¹⁰ Messungen der kantonalen Behörden: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Département de l'environnement et de la sécurité de Canton de Vaud [18]

¹¹ Immissionsgrenzwert beschreibt den Höchstwert der im Gewässer nicht überschritten werden darf.

¹² Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität

Tab. 1 Übersicht über ARA-Ablaufkonzentrationen (Q_{50} - und Q_{90} -Werte) für Diclofenac, Clarithromycin und Azithromycin und deren errechnete Abwasseranteile, ab welchen Grenzwertüberschreitungen auftreten.

	Diclofenac		Clarithromycin		Azithromycin	
	Q_{50}	Q_{90}	Q_{50}	Q_{90}	Q_{50}	Q_{90}
Konzentration ARA-Ablauf [$\mu\text{g/L}$]	1.6	2.5	0.20	0.46	0.13	0.38
Grenzwert im Gewässer [$\mu\text{g/L}$]	0.05	0.05	0.12	0.12	0.019	0.019
Errechneter Abwasseranteil [%]	3.1	2.0	60.0	26.1	14.6	5.0

Um abzuschätzen, welche ARA zu Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte führen, ist es somit ausreichend die Situation für Diclofenac abzuschätzen. Ein Abwasseranteil von mehr als 2% bis 3% führt zur Überschreitung des Diclofenac-Grenzwerts. Ein Abwasseranteil-Kriterium von 2% identifiziert praktisch alle ARA, die Grenzwertüberschreitungen verursachen könnten, ohne einzelne Extremfälle zu beachten. Das 3%-Kriterium deckt die meisten Überschreitungen ab, aber nicht solche, die von ARA ausgehen die höhere Diclofenac-Konzentrationen als den Median haben.

Im folgenden Kapitel wird modelliert wie viele ARA zu Überschreitungen des Grenzwertes im Gewässer führen. Dies wird zum einen anhand der Diclofenac-Menge und zum anderen anhand des Abwasseranteils berechnet, beides für das 50%- und das 90%-Quantil.

4 STOFFFLUSSMODELLIERUNG

4.1 Grundlagen

Aufbau und Funktionsweise des Modells

Das nachfolgend beschriebene Stoffflussmodell schätzt die Diclofenac-Fracht, -Konzentration und den Abwasseranteil im Gewässer nach jeder Schweizer ARA ab. Das Modell baut auf demjenigen von Ort et al. (2007) [6] [7] [8] auf und berücksichtigt für alle ARA deren Standort, deren Einleitstelle ins Gewässer und die Anzahl angeschlossener Personen¹³.

Das Modell ermittelt die Diclofenac-Gesamtfracht jeder ARA aus einer typischen Fracht pro Person und der Anzahl angeschlossener Personen. Es berücksichtigt den Ausbaustandard der ARA, indem bei ARA mit MV-Stufe die Fracht entsprechend reduziert wird.

Die Gewässerkonzentration ermittelt das Modell indem es die ARA-Ablauffracht mit dem Gewässerabfluss verrechnet. Es werden sowohl die lokalen und die kumulierten Frachten als auch die Konzentrationen berechnet. Bei der «lokalen Betrachtung» fliesst lediglich die Fracht der betrachteten ARA ein. Bei der «kumulierten Betrachtung» fliessen die Frachten sämtlicher flussaufwärts liegenden ARA ein – Denn das Modell weiss, welche ARA im Gewässernetz auf welche folgt. Seen werden gesondert behandelt. Für ARA, die in einen See einleiten, berechnet das Modell lediglich die Fracht, da hierfür keine entsprechenden Abflusswerte bestehen.

Das Stoffflussmodell wurde für dieses Projekt neu in «R» programmiert, ist flexibel nutzbar und öffentlich verfügbar¹⁴. Es enthält diverse Erweiterungen zum Ursprungsmodell von 2007 [6] [8] [7]. Beispielsweise berücksichtigt es auch ARA-Zusammenschlüsse, d.h. die Umleitung des Abwassers auf eine andere ARA in der Nähe.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die verwendeten Parameter. Diese basieren auf dem Wissensstand des Jahres 2021.

Kläranlagen-Daten

Das Modell verwendet die aktuellsten, verfügbaren ARA-Daten. Diese stammen aus der VSA-Kennzählenerhebung aus dem Jahr 2020 [9] und aus der BAFU-Erhebung der angeschlossenen Personen für das Jahr 2021¹⁵. Insgesamt berücksichtigt das Modell 649 ARA. Dies sind alle ARA mit mehr als 200 angeschlossene Personen¹⁴.

Modelliert wird die Situation im Jahre 2040, in dem die, nach aktuell gültigen Kriterien, geplanten Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen umgesetzt sind¹⁶.

¹³ Da es sich bei den angeschlossenen Personen um die ständige Wohnbevölkerung handelt unterschätzt das Modell die Frachten aus ARA in Tourismusgebieten, siehe Anhang 7.1

¹⁴ <https://github.com/blosloos/SSM/wiki>

¹⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/erhebung-angeschlossene-einwohner.html>

¹⁶ Das Bevölkerungswachstum wurde dabei nicht berücksichtigt.

Im Vergleich zu Angaben des BAFU, wie viele ARA von den aktuell gültigen Kriterien betroffen sind, kann es zum Beispiel aus folgenden Gründen zu leichten Unterschieden kommen: A) Umleitungen, die schon verwirklicht wurden, sind in unserer Liste nicht mehr aufgeführt. B) Schliessen sich mehrere ARA zusammen und reinigen das Abwasser auf einer ARA, die neu gebaut wird, wird das auf der BAFU Liste einzeln aufgeführt und auf unserer Liste als Ausbau einer bestehenden ARA behandelt. C) Leitet eine ARA das biologisch gereinigte Abwasser auf die MV-Stufe einer anderen ARA, wurde das im Modell als Ausbau der ursprünglichen ARA behandelt mit neuer Einleitstelle.

- **ARA mit MV-Stufe:** Bis 2040 werden 122 ARA über ein zusätzliches Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen verfügen. Dies ergibt sich aus der Planung der Kantone¹⁷. ARA, die sich zum Zeitpunkt der Modellierung bereits für ein Verfahren entschieden haben, wurden entsprechend modelliert¹⁸. Für alle verbleibenden ARA wurde als MV-Stufen eine Ozonung angenommen.
- **ARA-Zusammenschlüsse:** Für 91 ARA ist geplant, dass sie bis 2040 ihren Betrieb einstellen und ihr Abwasser auf eine andere ARA umleiten werden. Im Modell wird das Abwasser dieser ARA den entsprechenden Ziel-ARA zugewiesen. Nach den aktuell gültigen Kriterien sind allerdings davon nur 16 ARA abgeltungsberechtigt. Um abzuschätzen, ob die verbleibende 75 ARA zu Grenzwertüberschreitungen vor ihrer Aufhebung führen kann nicht die Modellierung für 2040 verwendet werden, da sie dort nicht mehr enthalten sind. Deshalb wurde dafür die Situation im Jahre 2021 modelliert.

Minimalabfluss (Q347) der Fliessgewässer

Das Modell berechnet die Gewässer-Konzentrationen nach jeder ARA. Dazu verwendet es die ARA-Ablauftracht und den Gewässerabfluss (lokale Konzentration im Gewässer = Fracht aus ARA / Gewässerabfluss). Das Gesetz fordert, dass ganzjährig die Konzentrationen, die über einen Zeitraum von 2 Wochen gemittelt werden, unterhalb der Grenzwerte liegen. Dies trifft also auch bei minimale Abfluss-Bedingungen der Flüsse zu. Ausgenommen sind seltene Niederwasserereignisse. Bei schwachem Abfluss liegen die Mikroverunreinigungen in den Gewässern in entsprechend hohen Konzentrationen vor. Diese Situationen mit hohen Konzentrationen werden modelliert: Das Modell verwendet dazu den Minimalabfluss, das sogenannte Q347. Damit ist die Abflussmenge gemeint, die gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird. Anhang 7.3 illustriert, dass der Q347-Wert geringe 2-Wochen-Abflüsse gut abbilden, ohne sich jedoch auf Extremjahre zu fokussieren.

Wenn kontinuierliche Abflussmessungen, z.B. an kantonalen oder nationalen hydrometrischen Messstationen¹⁹, vorhanden sind, ist der Q347 einfach zu bestimmen²⁰ [10]. Liegen für ein Gewässer unzureichende Messdaten vor, muss die Abflussmenge Q347 modelliert werden. Uns liegen zwei Datensätze für Q347-Abflusswerte an den ARA-Einleitstellen vor.

- **BAFU-Datensatz:** Das Bundesamt für Umwelt hat Q347-Werte abgeschätzt, die auf Abflussdaten vor dem Jahr 1999 basieren [11] [12]. Es wurden die Werte der Kategorie Q347IIK verwendet. Auch das Stoffflussmodell von Ort et al. [7] [8] verwendete diese Daten.
- **Kanton-Datensatz:** In der VSA Kennzahlenerhebung des Jahres 2020 [9] gaben die Kantone Werte für den Q347 an den ARA-Einleitstellen an.

¹⁷ Die kantonalen Behörden melden ihre Planung dem Bundesamt für Umwelt, von wo wir die Angaben erhalten haben. Teilweise sind die kantonalen Planungen auch öffentlich verfügbar, entweder auf deren Webseiten oder auf <https://micropoll.ch/publikationen/> («kantonale Planungen» ankreuzen).

¹⁸ Die gewählten Verfahren sind auf unserer Webseite einsehbar: www.micropoll.ch

¹⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--messnetze/basismessnetz--wasserstand-und-abfluss-an-oberflaechengewassern.html>

²⁰ Mit Q347 ist die natürliche Abflussmenge gemeint (GSchG, Art. 4), d.h. dass sie durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist. In gewissen Bergregionen der Schweiz wie z.B. in Graubünden bestimmt jedoch das Restwasser aus den Wasserkraftwerken den Gewässerabfluss und kann stark vom natürlichen Abfluss abweichen, siehe Anhang 7.3.

Die Q347-Werte aus beiden Datensätzen beschreiben die Abflussmenge unterhalb einer ARA. Darin enthalten ist sowohl das Wasser vom Oberstrom als auch die entsprechende ARA-Einleitung. Keiner der beiden Datensätze ist vollständig. Bei Lücken wurde jeweils der Wert des anderen Datensatzes verwendet. Für 372 ARA-Einleitstellen enthielten beide Datensätze Werte²¹. In diesen Fällen wurde der kleinere Wert verwendet.

Für Seen bestehen keine Q347-Werte in den Datensätzen. Für die 73 ARA, die in Seen einleiten berechnet das Stoffflussmodell lediglich die Fracht und keine Konzentrationen. Der Abwasseranteil in den Seen wurde separat abgeschätzt (siehe Unterkapitel «Abwasseranteil der Seen»).

Für 63 ARA sind keine Q347-Werte in den beiden Datensätzen vorhanden. Dies betrifft vorwiegend kleine ARA, d.h. nur 5 ARA von diesen 63 haben mehr als 5500 angeschlossene Personen. Für diese werden nur die Frachten und nicht die Konzentrationen oder der Abwasseranteil modelliert.

Spezifische Modell-Parameter für Diclofenac

- **Diclofenac-Menge pro Person im ARA-Ablauf**

Das Modell ermittelt die Diclofenac-Fracht jeder ARA anhand einer gängigen Menge an Diclofenac pro Person im Ablauf der ARA. Wie in Kapitel 3 beschrieben ist die mediane Diclofenac-Konzentration im ARA-Ablauf 1.6 µg/L. Das 90%-Quantil liegt bei 2.5 µg/L. Dies ergibt bei einem Abwasservolumen von 375 L/Person/Tag²² eine mediane Diclofenac-Fracht von 600 µg/Person/Tag. Das 90%-Quantil liegt bei rund 900 µg/Person/Tag. Dass diese Frachten plausibel sind, zeigt die sehr gute Übereinstimmung mit gemessenen pro Person-Frachten der Zürcher ARA²³.

²¹ Für 22 ARA-Einleitstellen wichen die beiden Q347-Werte um mehr als einen Faktor 10 voneinander ab.

²² Der mittlere Abwasseranfall von 375 L/Person/Tag wurde aus verfügbaren ARA-Abflüssen und den zugehörigen angeschlossenen Personen ermittelt. Hierfür wurden dieselben Messungen verwendet wie in *Abb. 1*. Inzwischen ist der Bericht zur VSA Kennzahlenerhebung verfügbar, die die spezifische Zulaufwassermenge ebenfalls ausgewertet haben. Die Werte liegen im selben Bereich.

²³ Für die Zürcher Messungen waren neben den Konzentrationen auch ARA-Abflüsse verfügbar, wodurch Frachten berechnet werden konnten. Die pro Person-Frachten der Zürcher ARA liegen ebenfalls bei 600 µg/Person/Tag (50%-Quantil) und 900 µg/Person/Tag (90%-Quantil). Dies, weil die Zürcher Konzentrationsverteilung die der gesamten Schweiz sehr gut widerspiegelt (siehe *Abb. 1*).

Diclofenac-Elimination durch MV-Stufen

ARA mit einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen haben deutlich geringere Diclofenac-Ablaufkonzentrationen als ARA ohne eine solche Reinigungsstufe. Ozonanlagen eliminieren Diclofenac besser als Aktivkohleanlagen. Das zeigen die Daten aus den ersten zehn grosstechnischen ARA in der Schweiz (siehe Abb. 3.) mit einer solchen Reinigungsstufe [13].

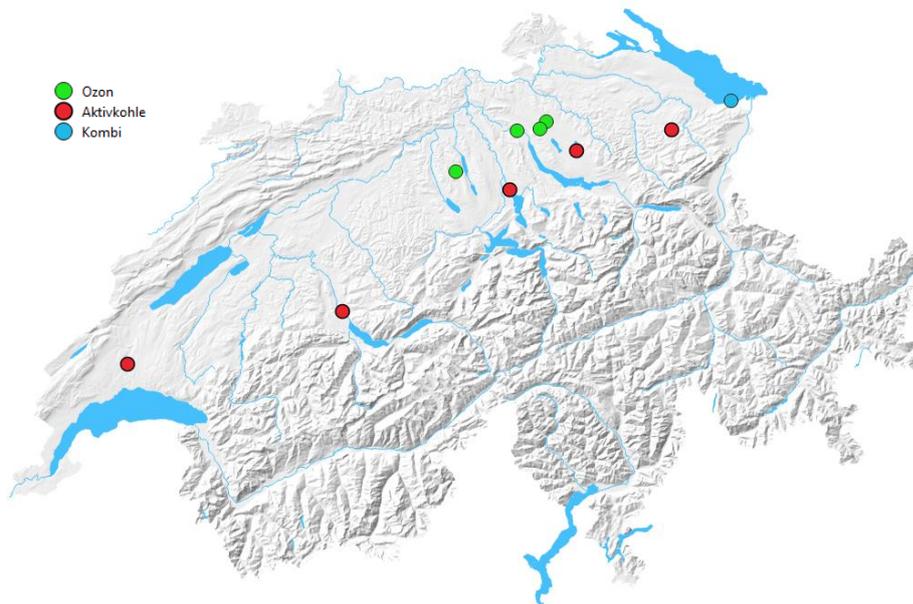


Abb. 3: ARA mit einer MV-Stufe im Vollmassstab, aus deren Messdaten die Eliminationsraten berechnet wurden. (Quelle: Bundesamt für Landestopographie)

Für Diclofenac sind die Eliminationsraten, die über die ganze ARA berechnet werden, in Abb. 4 dargestellt. Im Median wird Diclofenac in einer ARA mit Kombi-Verfahren und Ozonung zu 99% und in einer ARA mit Aktivkohle zu 87% eliminiert.

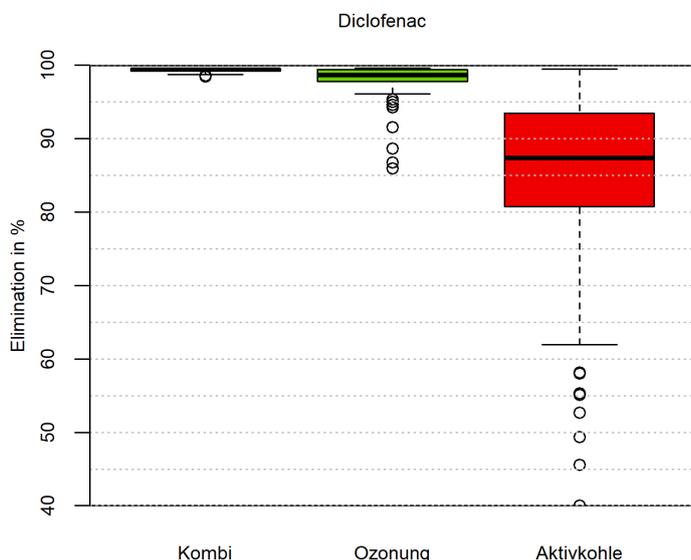


Abb. 4: Eliminationsraten über die ganze ARA für Diclofenac von einer Kombinationsanlage, 4 Anlagen mit Ozonung und 5 Anlagen mit Aktivkohle. Die Boxplots repräsentieren den Median (schwarze, dicke Linie), das 25% und 75%-Perzentile (Box), die minimalen und maximalen Werte (Whiskers), sowie die statistischen Ausreisser (Kreise).

Das Modell rechnet mit folgenden Eliminationsraten:

- 85% für Aktivkohleanlagen
- 99% für Ozon- und Kombi-Anlagen

Der leichte Unterschied in der Eliminationsrate für Aktivkohleanlagen, kommt daher, dass zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht alle Daten, die in Abb. 4 gezeigt sind, zur Verfügung standen. Der leichte Unterschied hat keine Auswirkungen auf das Ergebnis.

Die verwendeten Inputfrachten stammen aus Messungen nach der biologischen Behandlung²⁴. Wohingegen die gemessenen Eliminationsraten, die Elimination von Diclofenac über die ganze ARA beschreiben, d.h. über die biologischen sowie die zusätzliche Reinigungsstufe²⁵. Diese Diskrepanz führt zu einer leichten Überschätzung der Elimination. Dies hat ebenfalls keine wesentliche Auswirkung auf das Ergebnis.

Das Modell nimmt für alle ARA, die künftig eine MV-Stufe betreiben werden, aber sich noch für kein Verfahren entschieden haben, standardmässig eine Ozonung an.

• **Photoabbau von Diclofenac in Seen**

Sonnenlicht baut Diclofenac in Oberflächengewässer ab. Dieser Abbauprozess heisst Photoabbau. Der Photoabbau ist besonders in Seen von Bedeutung. Denn aufgrund der langen Aufenthaltszeit des Wassers in den Seen baut die Sonneneinstrahlung Diclofenac grösstenteils ab [14] [15]. Das Modell berücksichtigt daher für folgende Seen einen vollständigen Diclofenac-Elimination: Baldeggersee, Bielersee, Bodensee, Brienersee, Genfersee, Greifensee, Hallwilersee, Lago di Lugano, Lago Maggiore, Murtensee, Neuenburgersee, Pfäffikersee, Sarnersee, Sempachersee, Thunersee, Vierwaldstättersee, Walensee, Zürichsee.

Den Photoabbau in Flüssen, der vor allem bei längeren Fließstrecken in den Sommermonaten zu beobachten ist, berücksichtigt das Modell nicht. Das Modell bildet somit eher die Situation in den Wintermonaten ab.

Modellierung des Abwasseranteils

Der Abwasseranteil wurde ebenfalls für jede ARA-Einleitstelle modelliert (siehe Gleichung 2). Dazu schätzt das Stoffflussmodell den Trockenwetterabfluss jeder ARA anhand des mittleren Abwasseranfalls und der angeschlossenen Personen ab. Für den Abwasseranfall wurden 375 Liter pro Person und Tag verwendet²⁶.

$$\text{Abwasseranteil} = \frac{\text{Trockenwetterabfluss der ARA [L/s]}}{\text{Minimalabfluss Q347 des Fließgewässers [L/s]}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Folgen entlang eines Fließgewässers mehrere ARA aufeinander erhöht sich die Menge an gereinigtem Abwasser im Gewässer. Der Abwasseranteil nimmt somit zu. Der Ansatz berechnet den lokalen sowie den kumulierten Abwasseranteil. Da die Kriterien des Ausbauprogramms (2016) den «Anteil bezüglich organischen Spurenstoffen ungereinigtem Abwasser»²⁷ verwenden, berücksichtigt dieser Ansatz das mit einer MV-Stufe gereinigte Abwasser nicht. Dies ist ein Unterschied verglichen mit der Modellierung von Diclofenac.

Ebenfalls anders ist, dass für den Abwasseranteil keine Abbauprozesse in den Seen angenommen werden.

²⁴ Es sind mehr Messdaten nach der biologischen Behandlung bzw. im Ablauf von ARA verfügbar als Messungen aus dem Zulauf.

²⁵ Nur diese müssen gemessen werden. Da bei Aktivkohleanlagen bereits eine Elimination durch Aktivkohle in der Biologie stattfindet, wäre es gar nicht möglich nur die Elimination über die Aktivkohlestufe zu bestimmen.

²⁶ Der mittlere Abwasseranfall von 375 L/Person/Tag wurde aus verfügbaren ARA-Abflüssen und den zugehörigen angeschlossenen Personen ermittelt. Hierfür wurden dieselben Messungen verwendet wie in Abb. 1. Inzwischen ist der Bericht zur VSA Kennzahlenerhebung verfügbar, die die spezifische Zulaufwassermenge ebenfalls ausgewertet haben. Die Werte liegen im selben Bereich.

²⁷ GschV, Anhang 3.1, Ziffer 2

Zusammenfassend sind die wesentlichen Unterschiede zwischen der Modellierung des Abwasseranteils und der Modellierung der Diclofenac-Konzentrationen nochmals in Tab. 2 dargestellt.

Tab. 2. Unterschiedliche Modellannahmen bei der Abschätzung des Abwasseranteils und der Diclofenac-Konzentrationen im Gewässer.

	Abwasseranteil	Diclofenac-Konzentration
Berücksichtigung ARA mit MV-Stufe	Abwasser, das mit einer MV-Stufe behandelt wird, fließt nicht in die Berechnung des kumulativen Abwasseranteils mit ein.	Diclofenac-Restfracht aus ARA mit MV-Stufe fließt in die Berechnung ein.
Berücksichtigung Photoabbau in Seen	Photoabbau in Seen wird nicht berücksichtigt.	Photoabbau in Seen wird berücksichtigt.

- **Abwasseranteil der Seen**

Der Abwasseranteil in den Seen wurde separat ermittelt. Hierfür, wurde der mittlere Abfluss des See-Auslaufs und nicht, wie bei den Fließgewässern, der Minimalabfluss verwendet. Der Grund liegt darin, dass Seen Niedrigwassersituationen ausgleichen.

4.2 Plausibilisierung: Vergleich der modellierten Frachten mit Gewässermessungen

Um zu prüfen, ob die Vorhersagen plausibel sind, wurden sie mit Gewässermessungen verglichen. Hierfür stehen nationale Messungen aus dem NAWA-TREND Programm zu Verfügung²⁸ [5]. Da das Modell Situationen mit Minimalabfluss vorhersagt, ist es zielführend nicht die abflussabhängigen Konzentrationen, sondern die vom Abfluss unabhängigen Frachten zu vergleichen. Für diesen Vergleich eignen sich besonders die Daten von fünf Messstationen, die abflussproportional beprobt wurden und für die kontinuierliche Abflussmessungen bestehen²⁹ [16]. Sie liegen an den Flüssen Glatt, Rhône, Thur, Aare und Rhein.

²⁸ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--messnetze/nationale-beobachtung-oberflaechengewasserqualitaet--nawa-.html>

²⁹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/messwerte-zum-thema-wasser-beziehen/datenservice-hydrologie-fuer-fluessgewaesser-und-seen.html>

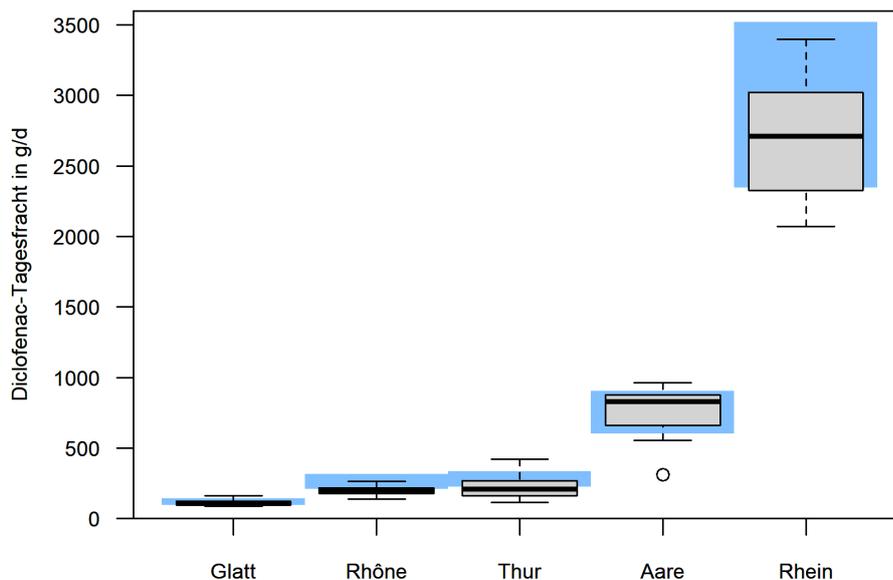


Abb. 5: Diclofenac-Tagesfrachten in den Wintermonaten des Jahres 2019. Messdaten (graue Boxplots) im Vergleich zur Modell-Vorhersage (blau). Der untere blaue Rand ist die vorhergesagte Fracht, wenn die mediane Inputfracht von 600 $\mu\text{g}/\text{Person}/\text{Tag}$ verwendet wird. Der obere blaue Rand ergibt sich aus der Verwendung des 90%-Quantils als Inputfracht, nämlich 900 $\mu\text{g}/\text{Person}/\text{Tag}$. Die grauen Boxplots repräsentieren den Median (schwarze, dicke Linie), das 25% und 75%-Perzentile (Box), die minimalen und maximalen Werte (Whiskers), sowie die statistischen Ausreisser (Kreise).

Abb. 5 zeigt die gemessenen Diclofenac-Frachten in den Wintermonaten des Jahres 2019 in grau im Vergleich zu den vorhergesagten Frachten in blau. Der untere blaue Rand zeigt die vorhergesagte Fracht, wenn eine typische Diclofenac-Menge von 600 $\mu\text{g}/\text{Person}/\text{Tag}$ verwendet wird (50%-Quantil der ARA-Messdaten). Die gemessenen Frachten der Glatt, der Aare und des Rheins liegen zum grössten Teil über dem unteren blauen Rand. Das weist darauf hin, dass in diesen Einzugsgebieten eher sogar mehr als die angenommenen 600 $\mu\text{g}/\text{Person}/\text{Tag}$ an Diclofenac ins Abwasser gelangen. Der obere blaue Rand beschreibt Einzugsgebiete mit einem eher hohen Gebrauch an Diclofenac pro Person, denn für dieses Szenario wurde das 90%-Quantil der ARA-Messdaten verwendet. Dass der obere blaue Rand im oberen Bereich der Messdaten aller Flüsse ausser der Rhône liegt, deutet an, dass tatsächlich auch ein solch hoher Diclofenac Gebrauch realistisch ist. Nur für die Rhône liegen die vorhergesagten Frachten über dem Grossteil der gemessenen Werte. Dies weist darauf hin, dass in dieser Region weniger Diclofenac gebraucht wird. Diese Annahme stützen auch die ARA-Messungen, die in Abb. 1 dargestellt sind. Im Wallis sind die gemessenen Diclofenac Konzentrationen im ARA-Ablauf am tiefsten.

Insgesamt zeigt der Vergleich, dass das Modell die gemessenen Frachten in guter Übereinstimmung vorhersagt.

4.3 ARA, die zu Überschreitungen führen

Dieses Kapitel beschreibt die identifizierten ARA, deren Ausleitungen zu Grenzwertüberschreitungen im Gewässer führen. Diese ARA wurden entweder anhand der vorhergesagten Diclofenac-Konzentrationen (siehe Kap. 4.3.1) oder anhand des Abwasseranteils im Gewässer bestimmt.

4.3.1 ARA anhand der Diclofenac-Konzentration im Gewässer identifizieren

Das Stoffflussmodell berechnete die kumulierte³⁰ Diclofenac-Konzentration bei Minimalabfluss im Gewässer. Das ergab, dass 238 bis 274 ARA den Diclofenac-Grenzwert im Gewässer überschreiten (Tab. 3), die nach den Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) keine Massnahmen treffen müssen. Zudem war für 59 ARA kein Wert für den Minimalabfluss Q347 verfügbar. Somit kann für die Situation für diese nicht berechnet werden.

Tab. 3: Einteilung der ARA, je nach modellierter Diclofenac Konzentration im Fließgewässer unterhalb der ARA. Aufgelistet sind nur jene ARA, die von den Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) nicht betroffen sind, d.h. nicht aufgeführt sind die 122 ARA, die ausbauen werden und die 16 ARA, die umleiten werden, weil sie die Kriterien erfüllen. Diese Daten sind mit weiteren Details in Tab. 7 und in den Spalten b) und d) gegeben. Zusätzliche Angaben, zu den ARA, die die Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) erfüllen sind in Tab. 7 und in den Spalten a) und c) gelistet.

		Anzahl ARA Nur ARA, die aktuell keine Massnahmen treffen müssen. ARA + ARA, die umleiten ³¹ = Gesamt	
Diclofenac Grenzwert von 0.05 µg/L	Modellierte Konzentration in µg/L (Risiko Quotient)	Modelliert mit dem 50%-Quantil der Inputfracht (600 µg/Person/Tag)	Modelliert mit dem 90%-Quantil der Inputfracht (900 µg/Person/Tag)
Eingehalten	Einleitung in See	40+9=49	40+9=49
	<0.05 (RQ <1)	155+10=165	126+3=129
Überschritten	0.05-0.1 (RQ 1-2)	45+5=50	46+8=54
	0.1-0.25 (RQ 2-5)	51+11=62	52+11=63
	0.25-0.5 (RQ 5-10)	37+16=53	45+10=55
	> 0.5 (RQ>10)	53+20=73	72+30=102
Zwischensumme «Überschritten»		186+52=238	215+59=274
Nicht berechnet	Kein Wert für Q ₃₄₇	55+4=59	55+4=59
Gesamt		511	511

Die Spannweite von 238 bis 274 ARA kommt daher, dass die Diclofenac-Konzentrationen im Abwasser variiert: Eine mediane Fracht von 600 µg/Person/Tag führt zu Überschreitungen bei 238 ARA. Eine hohe Fracht von 900 µg/Person/Tag führt zu Überschreitungen bei 274 ARA. Knapp die Hälfte dieser ARA erreichen Diclofenac-Konzentrationen im Gewässer von

³⁰ Falls mehrere ARA in den selben Fluss einleiten, wurde die Menge an Diclofenac zusammengerechnet und damit die kumulierte Konzentration bestimmt.

³¹ «ARA, die umleiten» bedeutet, dass diese ARA gemäss Meldung der kantonalen Behörden bis 2040 voraussichtlich aufgehoben werden und ihr Abwasser auf eine andere ARA umgeleitet wird.

über 0.25 µg/L. Diese ARA überschreiten somit den Immisionsgrenzwert um mehr als das Fünffache.

4.3.2 ARA anhand des Abwasseranteils im Gewässer identifizieren

Das ARA-Ausbauprogramm (2016) definiert die Kriterien der ARA, die Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen müssen, unter anderem über den Abwasseranteil. Diclofenac überschreitet seinen Grenzwert ab einem Abwasseranteil von 2% bis 3% (Kapitel 3). Von den ARA, die von den Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) nicht betroffen sind, tritt ein Abwasseranteil von 2% nach 291 ARA auf. 246 ARA führen zu einem Abwasseranteil von 3% oder mehr (Tab. 4). Auch hier kann die Situation für 59 ARA nicht berechnet werden, da für diese kein Q347-Abflusswert verfügbar war. In Tab. 10 im Anhang zeigt die Grössenverteilung der betroffenen ARA.

Tab. 4: Einteilung der ARA, je nach modelliertem kumulierten Abwasseranteil im Gewässer unterhalb der ARA. Es wurde der bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasseranteil berechnet. Aufgelistet sind nur jene ARA, die von den Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) nicht betroffen sind, d.h. nicht aufgeführt sind die 122 ARA, die ausbauen werden und die 16 ARA, die umleiten werden, weil sie die Kriterien erfüllen. Diese Daten sind mit weiteren Details in Tab. 9 in den Spalten b) und d) gegeben. Zusätzliche Angaben, zu den ARA, die die Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) erfüllen sind in Tab. 9 in den Spalten a) und c) gelistet.

Anteil bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser	Anzahl ARA Nur ARA, die aktuell keine Massnahmen treffen müssen. ARA + ARA, die umleiten = Gesamt
<2%	150+11=161
2-3%	42+3=45
3-5%	30+4=34
5-10%	40+12=52
> 10%	119+41=160
Zwischensumme >3%	189+57=246
Zwischensumme >2%	231+60=291
Nicht berechnet	55+4=59
Gesamt	511

4.3.3 Diclofenac-Konzentration vs. Abwasseranteil: Stimmt die identifizierten ARA überein?

Die vorangehenden Kapitel identifizierten die Anzahl ARA mit Überschreitungen im Gewässer. Dies, einmal anhand der modellierten Diclofenac-Konzentration (siehe Kap. 4.3.1) und einmal anhand des modellierten Abwasseranteils (siehe Kap. 4.3.2).

Der Abwasseranteil ist ein guter Indikator für die zu erwartende Diclofenac-Konzentrationen im Gewässer. Das «50%-Quantil Konzentrations-Szenario» entspricht dem «3% Abwasseranteil Szenario»³². Zum Vergleich sind die Ergebnisse der beiden Szenarien in Tab. 5 aufgeführt. Sie beinhalten nur die ARA, für die ein Q347 verfügbar war und die somit berechnet werden konnten. Die Ergebnisse unterscheiden sich um 8 ARA, wobei für 5 davon bereits beschlossen ist, dass sie an eine andere ARA angeschlossen werden (Tab. 5). Das heisst, dass anhand des Abwasseranteil-Kriteriums 8 ARA Massnahmen treffen müssten, welche laut Modellierung der Diclofenac-Konzentration nicht zu Überschreitungen des Grenzwerts im Gewässer führen würden.

Das «90%-Quantil Konzentrations-Szenario» entspricht dem «2% Abwasseranteil Szenario». Die Ergebnisse unterschieden sich um 17 ARA, wobei für eine davon bereits ein Zusammenschluss entschieden wurde (Tab. 5). Anhand des Abwasseranteils müssten also 17 ARA Massnahmen treffen obwohl für sie keine Diclofenac-Grenzwert Überschreitungen vorhergesagt wurden.

Tab. 5 Vergleich der Anzahl ARA mit Grenzwertüberschreitungen, die anhand der Diclofenac-Konzentration oder anhand des Abwasseranteils ermittelt wurden.

	Anzahl ARA	
	ARA + ARA, die umleiten = Gesamt	
	Diclofenac Konzentration	Abwasseranteil
50%-Quantil der Diclofenac-Menge (600 µg/Person/Tag) entspricht einem Abwasseranteil von rund 3%	186 + 52 = 238	189 + 57 = 246
90%-Quantil der Diclofenac-Menge (900 µg/Person/Tag) entspricht einem Abwasseranteil von 2%	215 + 59 = 274	231 + 60 = 291

Somit werden über den Abwasseranteil die ARA, die zu Überschreitungen des Grenzwertes im Gewässer führen, zuverlässig identifiziert. Die Anzahl ARA ist aber leicht grösser, als anhand der Diclofenac-Konzentration ermittelt. Dies hat folgende Gründe:

- **ARA, die in einen See einleiten:** Für diese ARA wird die Überschreitung anhand der Diclofenac-Konzentration nicht berechnet. Wegen des Photoabbaus im See ist aber auch keine Überschreitung zu erwarten. Der Abwasseranteil hingegen wurde separat auch für Seen abgeschätzt. Drei bis fünf ARA, die in einen See einleiten, werden zusätzlich über den Abwasseranteil identifiziert.

³² Die Diclofenac-Konzentration im Gewässer nach der Einleitung von ARA wurde anhand der statistischen Verteilung der Diclofenac-Fracht (50%- und 90%-Quantil) im ARA-Ablauf modelliert. In einzelnen Situationen kann die tatsächliche Diclofenac-Konzentration stärker von der durch den Abwasseranteil modellierten Situation abweichen als dies hier vorausgesagt wird.

- **Photoabbau im See:** Der Photoabbau in Seen betrifft nicht nur ARA, die direkt in einen See einleiten. Sondern auch die Diclofenac-Menge von ARA, die via den Vorfluter in einen See eingeleitet wird, wird abgebaut. Bei der Berechnung der Diclofenac-Konzentration wurde die Diclofenac-Fracht von ARA oberhalb der Seen nicht berücksichtigt. Beim Abwasseranteil hingegen wurde die Menge an Abwasser von ARA oberhalb eines Sees auch bei unterhalb liegenden ARA summiert.
- **Abwasseranteil gerundet:** Der Abwasseranteil ab dem es zu Überschreibungen kommt wurde von 3.1 auf 3% gerundet (vgl. Ausführungen in Kap. 3). Dies verschärft das Kriterium leicht.

Kaum eine Rolle auf die Anzahl ARA spielt die unterschiedliche Reduktion des Abwasseranteils bzw. der Diclofenac-Konzentration auf ARA mit MV-Stufe. Das Modell berechnet die Diclofenac-Konzentration unter der Annahme einer Elimination von 99% (Ozon) und 85% (Aktivkohle). Hingegen berücksichtigt das Modell bei der Abschätzung des Abwasseranteils das Abwasser von ARA mit einer MV-Stufe gar nicht.³³

4.4 Aussagekraft der Modellierung

Das Modell liefert eine gute Schätzung der Anzahl betroffenen ARA, deren gereinigtes Abwasser zu Grenzwertüberschreitungen im Gewässer führt. Es besagt auch, dass die betroffenen ARA anhand des Abwasseranteils identifiziert werden können.

Es war allerdings nicht Ziel der Studie einzelne ARA zu identifizieren, die unter mögliche, zukünftige Kriterien fallen werden. Dazu wären die Annahmen zu allgemein. Wenn die Kriterien definiert sind, liegt es an der zuständigen, kantonalen Behörde, im Rahmen einer kantonalen Planung, die Situation detailliert anzuschauen und die einzelnen betroffenen ARA zu bezeichnen.

Modelliert wurde die Situation bei Minimalabfluss, dem Q347. Dieser Abfluss wird in manchen Jahren gar nicht und in anderen Jahren nur für einen kurzen Zeitraum erreicht, siehe Anhang 7.3. Das bedeutet, dass bei ARA-Einleitstellen bei denen die Diclofenac-Konzentration leicht über dem Grenzwert prognostiziert werden, Messwerte nur in den Situationen mit weniger als Q347 über den Immissionsgrenzwert liegen würden.

Das entwickelte Modell ist eine gute Annäherung an die Realität, trotzdem ist auf folgende Limitierungen hinzuweisen:

- Sowohl die behandelte Abwassermenge als auch die Diclofenac-Fracht im ARA-Abfluss wurde über die Anzahl angeschlossenen Personen abgeschätzt. Regionale Unterschiede in der Diclofenac-Fracht pro Person und der anfallenden Abwassermenge pro Person wurden nicht berücksichtigt. Diese Annahmen unterschätzten beispielsweise die Diclofenac-Fracht in Touristengebieten, denn das Modell berücksichtigt nur die ständige Wohnbevölkerung (siehe 7.1).
- Die verfügbaren Q347-Werte sind abgeschätzt und basieren auf Daten, die teilweise älter sind als 20 Jahre. In anderen Fällen ist der Abfluss nicht durch natürliche Gegebenheiten bestimmt, sondern beispielsweise durch die Restwassermenge von Kraftwerken. Das heisst, diese Q347-Werte können von den tatsächlichen Abflussverhältnissen deutlich abweichen (siehe 7.3).

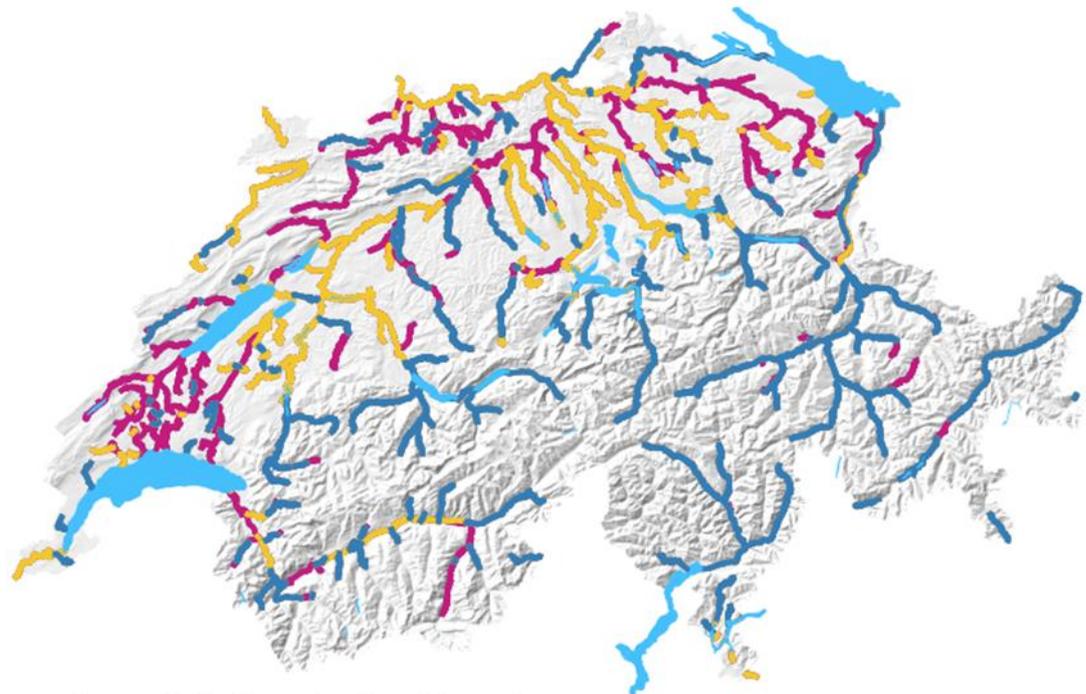
³³ Für 37 der 122 ARA die ausbauen werden, haben sich für ein Aktivkohleverfahren entschieden. Für die verbleibenden 85 wurden eine Ozonung angenommen. Die 99% Elimination auf Ozonungsanlagen ist sehr nahe an der angenommenen 100% Reduktion des Abwasseranteils.

- Das Modell berücksichtigt den Photoabbau von Diclofenac lediglich in den Seen. Der Photoabbau findet aber in den Sommermonaten auch in den Fließgewässern statt. Dieser Prozess baut Diclofenac ab und verringert zusätzlich die Diclofenac-Menge in den Gewässern. Die Modellierung des Photoabbaus entlang der Fließstrecke ist komplex und wurde deshalb nicht im Modell implementiert.

5 FLIESSSTRECKE MIT GEREINIGTEM ABWASSER

Belastete Flie遛sstrecke

Die Schweizer Flie遛sgewässer enthalten auf einer Flie遛sstrecke von rund 5'000 km gereinigtes Abwasser. Davon hätten rund 3'000 km Grenzwert-Überschreitungen bei Minimalabfluss³⁴, wenn keine der ARA gezielt Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser eliminiert. Diese belastete Flie遛sstrecke ist noch rund halb so gross, wenn die ARA, welche durch das ARA-Ausbauprogramm (2016) definiert worden sind, Mikroverunreinigungen aus ihrem Abwasser entfernen (gelb in Abb. 6). Die verbleibenden belasteten Flie遛sgewässer-Kilometer werden beseitigt, wenn zusätzlich auch alle ARA mit einem Abwasseranteil von mehr als 2% Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen (violett in Abb. 6). Treffen hingegen nur ARA Massnahmen mit einem Abwasseranteil von mehr als 3% verbleiben rund 200 Flie遛sgewässer-Kilometer, in denen immer noch Grenzwert-Überschreitungen auftreten können.



Berechnungen für die Flie遛sstrecke mit gereinigtem Abwasser

- Keine Grenzwertüberschreitungen im Gewässer
- Grenzwertüberschreitungen im Gewässer; ausreichende Entlastung durch ARA-Ausbauprogramm (2016)
- Grenzwertüberschreitungen im Gewässer; keine / ungenügende Entlastung durch ARA-Ausbauprogramm (2016)

Abb. 6 Flie遛sstrecke mit gereinigtem Abwasser. (Quelle: Bundesamt für Landestopographie)

³⁴ Gezählt wurde die Flie遛sstrecke mit einem Abwasseranteil >2%.

Tab. 6: Belastete Fließkilometer der Schweizer Fließgewässer je nach ARA-Massnahmen. Als belasteten Fließkilometer gezählt wurden Fließstrecken mit einem Anteil von >2% bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser.

	Belastete Fließkilometer (d.h. >2% Abwasseranteil)
Ohne jegliche Massnahmen	ca. 3'000 km
Nach Umsetzung der Kriterien des ARA-Ausbaus (2016)	ca. 1'700 km
Massnahmen bei allen ARA mit einem Abwasseranteil >3%	ca. 180 km
Massnahmen bei allen ARA mit einem Abwasseranteil >2%	ca. 0 km

Vorgehen zur Berechnung der Fließstrecke mit GIS

Mittels GIS wurden die angeschlossenen Personen jeder Schweizer ARA auf ein digitales Gewässernetz übertragen. Es wurde die Situation 2021 dargestellt und jene, wenn alle 135 ARA Massnahmen umgesetzt haben, die dies nach den 2016 definierten Kriterien müssen.

Als digitales Gewässernetz diente das Gewässernetz der Landestopographie, welches auf den 1:25'000er Landeskarten basiert (VECTOR25 Gewässernetz). Eine sogenannte Netzwerkanalyse diente dazu, die an eine ARA angeschlossenen Personen auf die flussabwärts folgenden Gewässerabschnitte zu übertragen und bei Gewässerzusammenflüssen Personenanzahl zu addieren.

Für jeden betrachteten Gewässerabschnitt wurde der Abwasseranteil ermittelt. Dafür wurde die kumulierte Personenanzahl mit einer durchschnittlichen Abwassermenge von 375 L/Person/Tag verrechnet. Die Abwassermenge dividiert durch den Minimalabfluss Q347 des entsprechenden Gewässerabschnitts ergab den Abwasseranteil. Die Q347-Werte wurden dabei ohne Modifikation aus der ursprünglichen Berechnung des BAFU-Datensatzes übernommen [11] (siehe Kap. 4.1 «Minimalabfluss (Q347) der Fließgewässer»).

6 LITERATUR

- [1] Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, «Gesamt Betrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA - Grundlage zur Umsetzung der Motionen 20.4261 und 20.4262,» FHNW, Institut für Ecopreneurship, Bern und Muttenz, 2024.
- [2] R. Gulde, P. Wunderlin, I. Wittmer und T. Doppler, «Arzneimittel in Gewässern - Massnahmen an weiteren ARA notwendig,» *Aqua & Gas*, Nr. 3, 2024.
- [3] J. Wüthrich, S. Rezzonico, M. Eugster, C. Götz und M. Junghans, «Mikroverunreinigungen in Abläufen von Abwasserreinigungsanlagen - Suche nach relevanten Emissionsquellen, Ergebnisse der Messkampagne 2016,» Amt für Umwelt und Energie des Kantons St. Gallen, St. Gallen, 2016.
- [4] M. Huser, «Mikroverunreinigungen in Baselbieter Oberflächengewässern - Untersuchung 2015,» Amt für Umweltschutz und Energie (AUE), Kanton Basel Landschaft, Liestal, 2018.
- [5] M. Bourgin, B. Beck, M. Böhler, E. Borowska, J. Fleiner, E. Salhi, R. Teichler, U. von Gunten, H. Siegrist und C. McArdell, «Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products,» *Water Research*, Bd. 129, pp. 486-498, 2018.
- [6] T. Doppler, J. Grelot, P. Rinta und M. Kunz, «Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring,» *Aqua & Gas*, Nr. 7/8, p. 44, 2020.
- [7] C. Ort, «Mikroverunreinigungen - Nationales Stoffflussmodell,» *GWA*, Nr. 11, p. 853, 2007.
- [8] C. Ort, J. Hollender, M. Schärer und H. Siegrist, «Model-based evaluation of reduction strategies for micropollutants from wastewater treatment plants in complex river networks,» *Environ. Sci. Technol.*, 2009.
- [9] C. Ort, «Stoffflussmodell "Strategie MicroPoll" Dokumentation,» Eawag.
- [10] S. Binggeli, J. Schweizer, H. Diener und B. Kobler, «Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung,» VSA, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute; SVKI, Schweizer Verband kommunale Infrastruktur, Glattbrugg, Bern, 2023.
- [11] R. Estoppey, B. Kiefer, M. Kummer, S. Lagger und H. Aschwanden, «Wegleitung - Angemessene Restwassermengen - Wie können sie bestimmt werden?,» Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 2000.
- [12] P. Schär, «Projektdokumentation Modellstudie Schweiz (GIS-Teil),» 2007.
- [13] E. Staub, M. Blardone, M. Droz, A. Hertig, E. Meier, E. Soller, P. Steiner und D. Zulliger, «Fischnetz-Publikation: Angelfang, Forellenbestand und Einflussgrössen: Regionalisierte Auswertung mittels GIS,» Buwal / EAWAG, 2003.
- [14] P. Wunderlin, R. Gulde und A. Brander, «MV aus dem häuslichen Abwasser entfernen - Erkenntnisse aus sieben Jahren Überprüfung des Reinigungseffektes,» *Aqua & Gas*, 2024.

- [15] H.-R. Buser, T. Poiger und M. D. Müller, «Occurrence and Fate of the Pharmaceutical Drug Diclofenac in Surface Waters: Rapid Photodegradation in a Lake,» *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 32, Nr. 22, pp. 3449-3456, 1998.
- [16] C. Tixier, H. Singer, S. Oellers und S. Müller, «Occurrence and fate of carbamazepine, clofibric acid, diclofenac, ibuprofen, ketoprofen, and naproxen in surface waters,» *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 37, Nr. 6, p. 1061, 2003.
- [17] F. Storck, A. Riva, M. Stähli, U. Schönenberger, D. Freudemann, C. Stamm, S. Hug, R. Dolf, J. Mazacek, J. Zobrist und M. Randlett, «50 Jahre Naduf - Nationale Daueruntersuchung der Fließgewässer,» *Aqua & Gas*, Nr. 12, p. 34, 2022.
- [18] «Micropolluants dans les stations d'épuration vaudoises,» canton de vaud, Département de l'environnement et de la sécurité, Direction de l'environnement industriel, urbain et rural, 2021.
- [19] S. Anliker, M. Loos, R. Comte, M. Ruff, K. Fenner und H. Singer, «Assessing Emissions from Pharmaceutical Manufacturing Based on Temporal High-Resolution Mass Spectrometry Data,» *Environ. Sci. Technol.*, Nr. 54, pp. 4110-4120, 2020.
- [20] S. Anliker, M. Patrick, K. Fenner und H. Singer, «Quantification of Active Ingredient Losses from Formulating Pharmaceutical Industries and Contribution to Wastewater Treatment Plant Emissions,» *Environ. Sci. Technol.*, Nr. 54, pp. 15046-15066, 2020.
- [21] L. Kovalova, O. Jäggi, C. Götz, P. Dell'Ava, D. Rensch, R. Gulde, E. Durisch-Kaiser, I. Föllmi und S. Spycher, «Mikroverunreinigungen - Messkampagne zu Belaustungen aus Industrie und Gewerbe,» Kanton Zürich, Baudirektion, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich, 2021.
- [22] R. Gulde und M. Loos, «In Vorbereitung: Documentation to the Sewage treatment plant surface water model (SSM),» VSA, Glattbrugg, 2023.

7 ANHANG

7.1 ARA, die durch den Wintertourismus zu Überschreitungen führen

Diese Studie berücksichtigt jeweils die gemeldeten Personen, d.h. die ständige Wohnbevölkerung, der ARA-Einzugsgebiete. In stark touristisch geprägten Einzugsgebieten, beispielsweise in grossen Skigebieten, kann die Personenzahl im ARA-Einzugsgebiet während der Wintersaison deutlich grösser sein als die ständige Wohnbevölkerung. Hinzu kommt, dass die Fliessgewässer in den Bergregionen während der Wintermonaten nur wenig Wasser führen. Diese Situation begünstigt Grenzwert-Überschreitungen in diesen Gewässern. Konkret müssten ca. 10 zusätzliche ARA MV aus ihrem Abwasser eliminieren, wenn der Wintertourismus berücksichtigt wird.

Vorgehen

Für die ARA der Kantone SG, BE, VS und GR waren neben den Jahresmittelwerten der VSA Kennzahlenerhebung auch zeitlich aufgelöste Daten zum ARA-Abfluss und der Ammonium-Zulaufkonzentration verfügbar [1]. Aus der daraus berechneten Ammonium-Zulaufkraft zur ARA wurde mit einem Umrechnungsfaktor von 8.9 g NH₄-N/Tag/Person die Anzahl einleitender Personen ermittelt. Die vom Wintertourismus betroffenen ARA wurden über die Schweiz-Karte (<https://map.geo.admin.ch/>), die sowohl die Schweizer ARA als auch Skilifte zeigt, identifiziert. Es resultierten 45 ARA. Für diese ARA wurde die maximale Anzahl der Personen im Einzugsgebiet zur typischen Zeit des Minimalabflusses, d.h. im Januar und Februar, bestimmt. Lag die Personenanzahl dreimal höher als die ständige Wohnbevölkerung floss die entsprechende ARA in eine weitergehende Analyse ein. Das war bei 31 ARA der Fall.

Für die restlichen Kantone wurden Ski-Regionen über die Webseite https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Skigebiete_in_der_Schweiz ermittelt. Das Kriterium für eine weitergehende Analyse waren Skigebiete mit einer Pistenlänge von mehr als 30 km. Das war bei sechs ARA der Fall.

Von den so ermittelten 37 ARA in Skigebieten...

- ...ist für eine ARA bereits aufgrund der Kriterien des ARA-Ausbau (2016) mit einem GAK-Filter, geplant.
- ...führen 22 ARA auch ohne Tourismus zu einem Abwasseranteil von >2% und wurden auch in der Berechnung im Haupttext zu jenen ARA gezählt, die Massnahmen durch die Motion treffen müssen.
- ...verbleiben 14, von denen lediglich 10 ARA unter Berücksichtigung des Tourismus zu einem Abwasseranteil von >2% und damit zu Überschreitungen des Immissionsgrenzwerts führen.

7.2 ARA, für die keine Q347 Werte verfügbar sind

Für 59 ARA, die aktuell noch keine Massnahmen treffen müssen, sind keine Q347 Werte verfügbar. Somit kann nicht vorhergesagt werden, ob diese ARA zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen in den Gewässern führen. Die meisten dieser ARA sind klein. Nur 15 ARA haben mehr als 1'000 angeschlossene Personen.

7.3 Eignung des Minimalabflusses Q347

Das in der vorliegenden Studie verwendete Stoffflussmodell basiert auf dem minimalen Gewässerabfluss, dem sogenannten Q347. Denn auch die Kriterien des ARA-Ausbauprogramms (2016) beziehen sich auf den Minimalabfluss, was in der entsprechenden Vollzugshilfe³⁵ explizit so festgelegt ist. Der Q347 entspricht dem Gewässerabfluss, der, gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird. Die numerischen Anforderungen an die Arzneimittel im Gewässer gelten jedoch gemittelt über einen Zeitraum von 2 Wochen³⁶, wobei seltene Niederwasserereignisse ausgenommen sind. Um ARA zu identifizieren, die zu Überschreitungen der numerischen Anforderungen im Gewässer führen können, muss also die Situation des Gewässers bei kleinen 2-Wochenabflüssen modelliert werden. In diesem Kapitel gehen wir der Frage nach, ob der Q347 geeignet ist den minimalen 2-Wochenabfluss abzubilden.

Der tatsächliche Minimalabfluss und nicht der ursprünglich natürliche Minimalabfluss ist aussagekräftig

Nach Gewässerschutzgesetz ist der Q347 so definiert, dass er den natürlichen Abfluss beschreibt, der nicht wesentlich durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser beeinflusst ist. Mittlerweile sind viele Gewässerabflüsse nicht mehr natürlich, da sie durch Wasserkraftnutzung bestimmt werden. Um ARA zu identifizieren, die zu Überschreitungen der Immissionsgrenzwerte führen können, muss der tatsächlichen, effektiv messbare, Minimalabfluss berücksichtigt werden.

Auswertung der Abflussmessungen von 12 Flüssen

Wir haben von den folgenden 12 Flüssen mit Abflussmessstationen³⁷ die Tagesabflusswerte über zehn Jahre (2013-2022) ausgewertet: Aare (Brugg), Birse (Moutier, La Charrue), Broye (Payerne, Caserne d'aviation), Emme (Eggiwil, Heidbüel), Glatt (Rheinsfelden), Glenner (Castrisch), Reuss (Andermatt), Rhein (Weil, Palmrainbrücke), Rhône (Porte du Scex), Thur (Andelfingen), Vedeggio (Agno, stazione principale), Venoge (Ecublens, Les Bois). Aus den Tageswerten wurden gemittelte 2-Wochenabflüssen fortlaufend ab dem 1.1.2013 berechnet. Zudem haben wir für jedes Jahr und für die gesamten 10 Jahre aus den Tageswerten das 5% Quantil bestimmt, dies entspricht dem Q347 aus einem Jahr bzw. dem Q347, wie nach Definition aus 10 Jahren.

³⁵ Dominguez D., Diggelmann V., Binggeli S. 2016: Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen. Finanzierung von Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1618: 34 S.

³⁶ Gewässerschutzverordnung (GschV), Anhang 2.

³⁷ Abflussdaten stammen vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Hydrologie. <https://www.hydrodaten.admin.ch/de/>

Resultat 1: Der Q347 aus einem Jahr und der kleinste 2-Wochenabfluss liegen nahe beieinander

In Abb. 7 sind die berechneten Abflüsse am Beispiel des Flusses Broye dargestellt. Betrachtet man jedes Jahr, so sind der kleinste 2-Wochenabfluss des Jahres (gestrichelte Linie) und der Q347 für dieses Jahr (schwarze durchgezogene Linie) sehr nahe beieinander. Dies ist auch so für alle untersuchten Flüsse, was man daran sieht, dass sich der kleinste 2-Wochenabfluss und der Q347 eines Jahres im Median nur um einen Faktor 1.06 unterscheiden. 90% aller Daten liegen sogar unter einem Faktor 1.2 (siehe Abb. 8, roter Plot). In der Mehrheit der Fälle (63%) ist der Q347 eines Jahres tiefer als der kleinste 2-Wochenabfluss des Jahres.

Resultat 2: Die Abflüsse variieren stark über verschiedene Jahre

Viel stärker unterscheiden sich die Abflüsse über die Jahre hinweg. Dies ist ersichtlich, wenn man die kleinsten 2-Wochenabflüsse der jeweiligen Jahre (gestrichelte Linien) mit dem kleinsten 2-Wochenabfluss aus den 10 Jahren vergleicht. Für alle untersuchten Flüsse liegt der Faktor im Median bei 1.5. Der Faktor unter dem 90% aller Daten liegen ist mit 4.2 relativ hoch (siehe Abb. 8, grüner Plot). Diese Werte sind deutlich höher als die oben diskutierten. Das zeigt, dass der Unterschied zwischen den Jahren viel grösser ist als der Unterschied des kleinsten 2-Wochenabfluss eines Jahres und dem Q347 desselben Jahres.

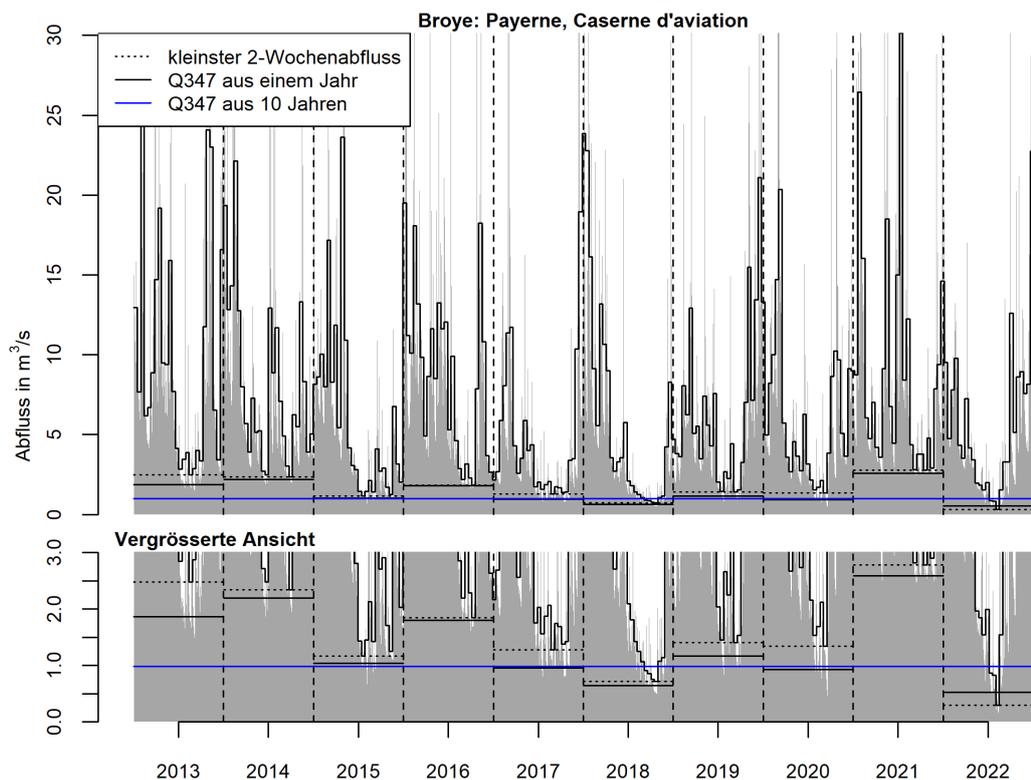


Abb. 7 zeigt den Abfluss über 10 Jahre für den Fluss Broye. Grau hinterlegt ist der Tagesabfluss, als schwarze Treppenlinie dargestellt sind die 2-Wochenabflüsse. Die horizontale gestrichelte Linie stellt den kleinsten 2-Wochenabfluss in jedem Jahr dar. Die horizontale durchgezogene schwarze Linie zeigt den für das jeweilige Jahr berechnete Q347. Die horizontale blaue Linie zeigt den Q347, der aus den gesamten 10 Jahre berechnet wurde. Die y-Achse der oberen Grafik endet beim maximalen 2-Wochenabfluss, d.h. das höhere Tagesabflüsse nicht dargestellt sind. Die untere Grafik ist eine vergrösserte Ansicht der minimalen Abflüsse.

Resultat 3: Der Q347 aus 10 Jahren spiegelt die kritischen, abflussschwachen Jahre wieder ohne sich auf Extremjahre zu fokussieren

Der Abfluss ist in verschiedenen Jahren sehr unterschiedlich. Es braucht daher Abfluss-Daten über mehrere Jahre, um einen repräsentativen Gewässer-Abfluss zu ermitteln.

Nicht zielführend ist ein medianer Wert, weil dieser die trockenen Jahre zu wenig berücksichtigt. Diese sind hinsichtlich Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes besonders kritisch, wegen der geringen Verdünnung. Ebenfalls ungeeignet ist ein minimaler Wert aus mehrere Jahre, weil das nur die Situation in starken Trockenperioden berücksichtigt.

Insofern stellt der Q347, der aus den Abflüssen von 10 Jahren berechnet wird, einen guten Kompromiss dar (blaue Linie in Abb. 7). Der Q347 beschreibt minimale Abflussverhältnisse ohne extreme Trockenperioden zu stark zu gewichten. Dies zeigt Abb. 7, in der die blaue Q347-Linie über der gestrichelten Linie für den kleinsten 2-Wochenabfluss im extrem trockenen Jahr 2022 liegt. Für alle untersuchten Flüsse ist in knapp 70% der Fälle der Q347 kleiner als der kleinste 2-Wochenabfluss. Der Faktor zwischen dem kleinsten 2-Wochenabfluss eines Jahres und dem Q347 ist im Median bei 1.25. 90% der Daten liegen unter einem Faktor 2.0 (siehe Abb. 8, blauer Plot). Das Maximum der untersuchten Flüsse lag bei einem Faktor 3.3, d.h. dass im ausgeprägtesten Fall der kleinste 2-Wochenabfluss des abflussstärksten Jahres gute dreimal höher war als der Q347.

Zusammenfassend besagt die Auswertung, dass der Q347 prinzipiell gut geeignet ist, um den minimalen Gewässerabfluss zu beschreiben und somit um ARA zu identifizieren, die bereits in gewöhnlichen, trockenen Jahren zu Überschreitungen führen.

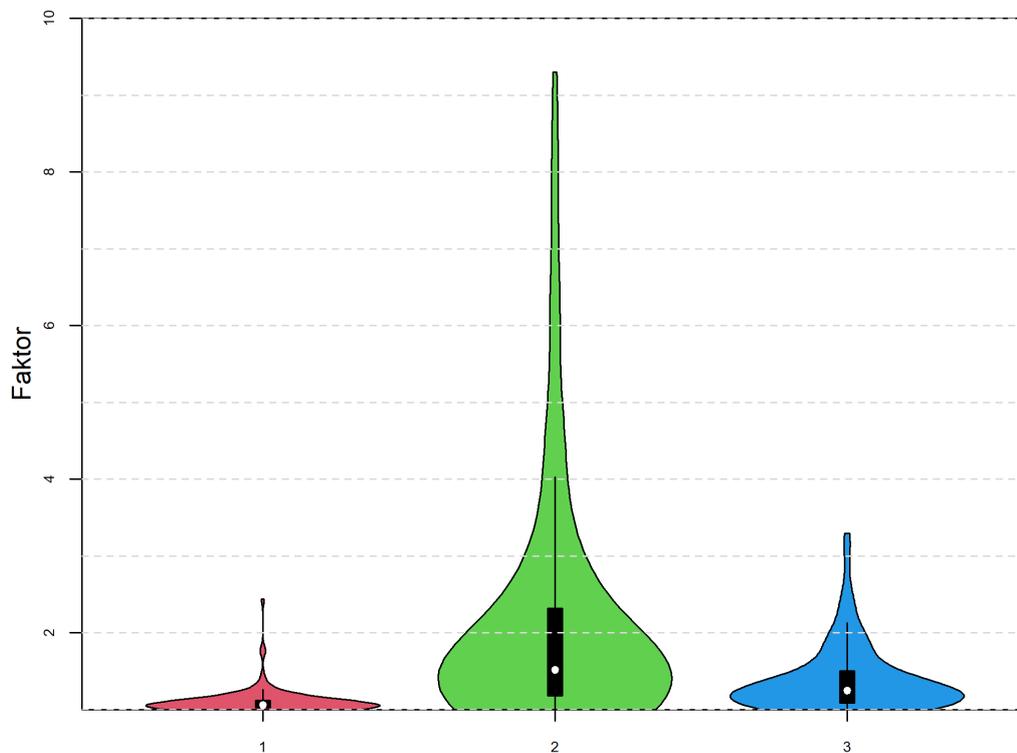


Abb. 8 zeigt aggregiert für alle Flüsse um welchen Faktor sich verschiedene Abflüsse unterscheiden. Das rote Geigendiagramm zeigt den Unterschied zwischen dem kleinsten 2-Wochenabfluss eines Jahres und dem für dieses Jahr berechneten Q347. Das grüne Diagramm zeigt den Unterschied der Abflüsse zwischen verschiedenen Jahren in dem der Faktor zwischen dem kleinsten 2-Wochenabflusses jedes Jahres und dem kleinsten 2-Wochenabflusses der gesamten 10 Jahre dargestellt ist. Das blaue Diagramm zeigt den Unterschied des kleinsten 2-Wochenabflusses zu dem aus 10 Jahren berechneten Q347.

Abgeschätzte Q347-Werte sind mit Unsicherheit behaftet

Nur an wenigen ARA-Einleitstellen sind im Gewässer-Abflussmessstationen vorhanden. Das bedeutet, dass für die meisten ARA-Einleitstellen die entsprechenden Q347-Werte abgeschätzt werden müssen. Die genauen Unsicherheiten für die abgeschätzten Werte sind schwer zu beziffern. Nach unserer Einschätzung sind die Unsicherheiten grösser als die oben diskutierte Abweichung des Q347 von dem kleinsten 2-Wochenabflusses.

Q347-Werte aktuell halten, um mittelfristigen Abflussveränderungen z.B. durch den Klimawandel, zu verfolgen

Modellierungen zeigen, dass die Klimaveränderung die Abflusssdynamik der Schweizer Flüsse verändern kann. Ebenso können Änderungen in der Wassernutzung, z.B. durch die Wasserkraft, die Gewässerabflüsse mittel- bis langfristig ändern. Diese Veränderungen fließen aber nicht unmittelbar in den Q347 ein, weil der Wert auf Messdaten von 10 Jahren beruht. Umso wichtiger ist es, Q347-Werte zu verwenden, die auf aktuellen Messungen oder Abschätzungen beruhen, um diese Veränderungen zu berücksichtigen.

7.4 Details zu ARA, die zu Überschreitungen der Diclofenac-Konzentration führen

Tab. 7: Einteilung der ARA, modelliert mit einer medianen Diclofenac-Fracht von 600 µg pro Person und Tag. Im Vergleich zu Tab. 3 sind hier alle ARA aufgelistet, d.h. jene, die die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen und jene, die es nicht tun.

		Anzahl ARA Modelliert mit dem 50%-Quantil der Inputfracht (600 µg/Person/Tag)					
Diclofenac Grenzwert von 0.05 µg/L	Modellierte Konzentration in µg/L (Risiko Quotient)	ARA		ARA, die umleiten		e) Gesamt	f) Zusätzlich identifizierte ARA mit Überschreitungen. Summe b) und d).
		a) Mit EMV-Stufe	b) Ohne EMV-Stufe	c) Abgeltungsbe-rechtigte	d) Nicht ab-geltungsbe-rechtigte		
Eingehalten	Einleitung in See	21	40	3	9	73	
	< 0.025 (RQ <0.5)	51	102		2	155	
	0.025-0.05 (RQ 0.5-1)	11	53		8	72	
Überschrit-ten	0.05-0.1 (RQ 1-2)	9	45		5	59	50
	0.1-0.25 (RQ 2-5)	16	51	3	11	81	62
	0.25-0.5 (RQ 5-10)	3	37	3	16	59	53
	> 0.5 (RQ >10)	7	53	7	20	87	73
	Zwischensumme «Überschritten»	35	186	13	52	286	238
Nicht berech-net	Kein Wert für Q ₃₄₇	4	55		4	63	59
Zwischensumme «Überschritten» inkl. nicht berechnete ARA		39	241	13	56	349	297
<i>Gesamt</i>		122	436	16	75	649	

a) Modelliert mit MV-Stufe, da sie nach den Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) bis 2040 ausbauen werden.

- b) Modelliert ohne MV-Stufe, da sie die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht erfüllen

ARA, die umleiten: Diese ARA werden gemäss Meldung der kantonalen Behörden bis 2040 voraussichtlich aufgehoben und ihr Abwasser wird auf eine andere ARA umgeleitet.

- c) Da diese ARA die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen ist der Zusammenschluss abgeltungsberechtigt.
- d) Diese ARA erfüllen die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht und der geplante Zusammenschluss ist nicht abgeltungsberechtigt.
- f) Entspricht der Anzahl ARA, die für die Motion von Interesse sind, da sie die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht erfüllen, aber zu Überschreitungen führen, siehe Tab. 3 mittlere Spalte.

Tab. 8: Einteilung der ARA, modelliert mit einer Diclofenac-Fracht von 900 µg pro Person und Tag (90%-Quantil). Im Vergleich zu Tab. 3 sind hier alle ARA aufgelistet, d.h. jene, die die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen und jene, die es nicht tun.

		Anzahl ARA Modelliert mit dem 90%-Quantil der Inputfracht (900 µg/Person/Tag)					
Diclofenac Grenzwert von 0.05 µg/L	Modellierte Konzentration in µg/L (Risiko Quotient)	ARA		ARA, die umleiten		e) Ge- samt	f) Zusätzlich identifi- zierte ARA mit Über- schreitun- gen. Summe b) und d).
		a) Mit EMV- Stufe	b) Ohne EMV- Stufe	c) Abgel- tungsbe- rechtigte	d) Nicht ab- geltungsbe- rechtigte		
Eingehalten	Einleitung in See	21	40	3	9	73	
	< 0.025 (RQ <0.5)	44	66		2	112	
	0.025-0.05 (RQ 0.5-1)	12	60		1	73	
Überschrit- ten	0.05-0.1 (RQ 1-2)	9	46		8	63	54
	0.1-0.25 (RQ 2-5)	15	52	1	11	79	63
	0.25-0.5 (RQ 5-10)	8	45	4	10	67	55
	> 0.5 (RQ >10)	9	72	8	30	119	102
	Zwischensumme «Überschritten»	41	215	13	59	328	274
Nicht berech- net	Kein Wert für Q ₃₄₇	4	55		4	63	59
Zwischensumme «Überschritten» inkl. nicht berechnete ARA		45	270	13	63	391	333
Gesamt		122	436	16	75	649	

- a) Modelliert mit MV-Stufe, da sie nach den Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) bis 2040 ausbauen werden.
- b) Modelliert ohne MV-Stufe, da sie die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht erfüllen

ARA, die umleiten: Diese ARA werden gemäss Meldung der kantonalen Behörden bis 2040 voraussichtlich aufgehoben und ihr Abwasser wird auf eine andere ARA umgeleitet.

- c) Da diese ARA die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen ist der Zusammenschluss abgeltungsberechtigt.
- d) Diese ARA erfüllen die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht und der geplante Zusammenschluss ist nicht abgeltungsberechtigt.

- g) Entspricht der Anzahl ARA, die für die Motion von Interesse sind, da sie die aktuell geltenden Kriterien nicht erfüllen, aber zu Überschreitungen führen, siehe Tab. 3 mittlere Spalte.

Das Modell sagt für 286 bis 328 (Spalte «e») ARA eine Überschreitung des Diclofenac Grenzwertes vorher.

- Darunter hat es 35 bis 41 ARA (Spalte «a»), die bis 2040 über eine Stufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen verfügen werden. Bei diesen könnten trotzdem Überschreitungen auftreten, weil...
 - ...die Grundlast im Gewässer, bedingt durch oberliegende ARA-Einleitungen, zu hoch ist.
 - ... die Eliminationsleistung der MV-Stufe nicht ausreichend hoch ist. Das ist der Fall bei Aktivkohleanlagen ab einem Abwasseranteil von rund 13% (90%-Quantil der Inputfracht an Diclofenac) bis 21% (mediane Inputfracht an Diclofenac).
- Von den 91 ARA, die eine Umleitung auf eine in der Nähe liegende ARA planen, überschreiten 65 bis 72 ARA vor dem Zusammenschluss noch den Diclofenac-Grenzwert (Spalte «c» und «d»).

7.5 Details zu ARA, die zu Überschreitungen des Abwasseranteils führen

Tab. 9: Einteilung der ARA, je nach modelliertem kumuliertem Abwasseranteil im Gewässer unterhalb der ARA. Es wurde der bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasseranteil berechnet. Im Vergleich zu Tab. 4 sind hier alle ARA aufgelistet, d.h. jene, die die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen und jene, die es nicht tun.

Anteil bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser	Anzahl ARA					
	ARA		ARA, die umleiten		e) Gesamt	f) Zusätzlich identifizierte ARA mit Überschreitungen. Summe b) und d).
	a) Mit EMV-Stufe	b) Ohne EMV-Stufe	c) Abgeltungsrechtigte	d) Nicht abgeltungsrechtigte		
<2%	93	150	3	11	257	
2-3%	6	42		3	51	45
3-5%	7	30		4	41	34
5-10%	8	40	1	12	61	52
> 10%	4	119	12	41	176	160
Zwischensumme >3%	19	189	13	57	278	246
Zwischensumme >2%	25	231	13	60	329	291
Nicht berechnet,	4	55	3	4	63	59
Zwischensumme >3%, inkl. nicht berechnete ARA	23	244	16	61	341	305
Zwischensumme >2%, inkl. nicht berechnete ARA	29	286	16	64	292	350
Gesamt	122	436	16	75	649	

- a) Modelliert mit MV-Stufe, da sie nach den Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) bis 2040 ausbauen werden.
- b) Modelliert ohne MV-Stufe, da sie die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht erfüllen

ARA, die umleiten: Diese ARA werden gemäss Meldung der kantonalen Behörden bis 2040 voraussichtlich aufgehoben und ihr Abwasser wird auf eine andere ARA umgeleitet.

- c) Da diese ARA die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) erfüllen ist der Zusammenschluss abteilungsberechtigt.
- d) Diese ARA erfüllen die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht und der geplante Zusammenschluss ist nicht abteilungsberechtigt.
- e)
- f) Entspricht der Anzahl ARA, die für die Motion von Interesse sind, da sie die Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016) nicht erfüllen, aber zu Überschreitungen führen, siehe Tab. 4 mittlere Spalte.

7.6 Details zu der Grössenverteilung, der betroffenen ARA

Tab. 10: Grösseneinteilung der ARA nach angeschlossenen Personen. Angegeben sind ARA, die zu einem kumulierten Abwasseranteil von >3% bzw. >2% im Gewässer führen und nicht durch das ARA-Ausbauprogramm (2016) bereits verpflichtet wurden, d.h. die ARA, die in Tab. 10 in Spalte b), d) und f) angegeben sind.

Angeschlossene Personen	Anzahl ARA je Grössenklasse	
	ARA + ARA, die umleiten = Gesamt	
	ARA, die zu einem kumulierten Abwasseranteil von >3% führen und nach dem ARA-Ausbauprogramm (2016) noch nicht verpflichtet wurden.	ARA, die zu einem kumulierten Abwasseranteil von >2% führen und nach dem ARA-Ausbauprogramm (2016) noch nicht verpflichtet wurden.
ARA + ARA, die umleiten = Gesamt	189+57=246	231+60=291
<1'000	61+18=79	66+51=87
1'000-5'000	72+27=99	91+27=118
5'000-10'000	28+7=35	35+7=42
>10'000	28+5=33	39+5=44
Nicht berechnet	59	59
<1'000	44	44
1'000-5'000	12	12
5'000-10'000	0	0
>10'000	3	3

7.7 Details zu den betroffenen Fliesskilometern

5'000 Fliesskilometer der Schweizer Fliessgewässer beinhalten gereinigtes Abwasser.

Tab. 11: Belastete Fliesskilometer der Schweizer Fliessgewässer je nach ARA-Massnahmen. Als belasteten Fliesskilometer gezählt wurden Fliessstrecken mit einem Anteil von >2% bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser.

Fliesskilometer	Bedingungen	
3'000	ohne Massnahmen	
1'700	Kriterien des ARA-Ausbauprogrammes (2016)	
0	2% Kriterium	
300	2% Kriterium, nur ARA >1000 Eang	bei 120 der 300km gibt es Verbesserungen
800	2% Kriterium, nur ARA >5000 Eang	bei 70 der 800km gibt es Verbesserungen
180	3% Kriterium	bei 90 der 180km gibt es Verbesserungen
450	3% Kriterium, nur ARA >1000 Eang	bei 150 der 450km gibt es Verbesserungen
900	3% Kriterium, nur ARA >5000 Eang	bei 100 der 900km gibt es Verbesserungen

7.8 Auswirkungen einer Diclofenac-Reduktion im Zulauf beispielsweise aufgrund einer Rezeptpflicht

Statt 291 ARA würden mit einer Rezeptpflicht, die eine 50%-Reduktion bewirken würde, noch 231 ARA zu Überschreitungen des Diclofenac-Grenzwertes im Gewässer führen. Berechnet wurde dies über ein Abwasseranteilkriterium von 4%, statt 2%.

Vorgehen:

Für diese Sensitivitätsabklärung wurde das Szenario für das 90%-Quantil verwendet. Es wurde angenommen, dass die Diclofenac-Fracht halbieren würde, z.B. durch eine Rezeptpflicht. Die Konzentration von 2.5 µg/L würde sich halbieren auf 1.25 µg/L. Bei einem Grenzwert von 0.05 µg/L, würden demnach Überschreitungen ab einem Abwasseranteil von 4.0% auftreten.