



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

eawag
aquatic research ooo



Konzept

Erfolgskontrolle des Ausbaus von Abwasserreinigungsanlagen mit einer Eliminationsstufe für Mikroverunreinigungen

Dezember 2025

Autor/-innen:

Rebekka Gulde, Pascal Wunderlin (VSA-Plattform *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen*)
Silwan Daouk (VSA-Plattform *Wasserqualität*), Irene Wittmer (vorher VSA, jetzt AWA-Bern)
Christian Stamm (Eawag)
Miriam Reinhardt (BAFU, Sektion *Hydrogeologische Grundlagen*)
Anke Hofacker, Urs Schönenberger (BAFU, Sektion *Wasserqualität*)
Saskia Zimmermann-Steffens (BAFU, Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*)

1. Hintergrund

Mikroverunreinigungen (MV) wie Arzneimittel, Pestizide und weitere Chemikalien werden in konventionellen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) schlecht abgebaut. Das eingeleitete Abwasser führt in Gewässern zu erhöhten Konzentrationen und zu hohen Frachten dieser MV. Mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination von MV (MV-Stufe), in welcher das Abwasser entweder mit Ozon, Aktivkohle oder einer Kombination aus beiden behandelt wird, kann eine Vielzahl von MV aus dem Abwasser entfernt und deren Eintrag in die Gewässer reduziert werden. Das Schweizer Parlament beschloss deshalb 2014, anhand gesetzlich definierter Kriterien ausgewählte ARA mit einer solchen MV-Stufe auszurüsten. Diese gesetzlichen Anforderungen traten am 1.1.2016 in Kraft.

Die Ziele des schweizweiten Ausbaus der ARA mit einer MV-Stufe sind:

- Schutz der Wasserlebewesen,
- Schutz der Trinkwasserressourcen (Seen und Grundwasser),
- Reduktion der Frachten von MV in den Gewässern, um die Verantwortung der Schweiz als Oberlieger wahrzunehmen.

Um diese Ziele zu erreichen, definiert die Gewässerschutzverordnung (GSchV), welche ARA ausgebaut werden müssen. 75% der Investitionskosten der Massnahmen werden über eine Abwasserabgabe mitfinanziert, welche alle an eine ARA angeschlossenen Einwohnerinnen und Einwohner dem Bund entrichten. Vom MV-Ausbau betroffen sind ARA, die die folgenden Kriterien erfüllen (GSchV, Anhang 3.1, Ziffer 2, Nummer 8):



- Anlagen ab 80'000 angeschlossenen Einwohnern;
- Anlagen ab 24'000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen;
- Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, die in Fliessgewässer einleiten mit einem Abwasseranteil von mehr als 10%¹.
- Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, wenn eine Reinigung aufgrund besonderer hydrogeologischer Verhältnisse erforderlich ist.

Die Kantone haben anhand dieser Kriterien insgesamt rund 140 ARA festgelegt, die Massnahmen ergreifen müssen. Diese ARA sind verpflichtet, zukünftig einen Reinigungseffekt von 80% für MV einzuhalten.

Zusätzlich zu diesem Ausbauplan nahm das Schweizer Parlament 2021 die Motion 20.4261 an. Diese fordert, dass alle ARA, durch deren Einleitungen Grenzwerte für MV im Gewässer überschritten werden, Massnahmen treffen müssen und dass die Abwasserabgabe zur Mitfinanzierung dieser Massnahmen angepasst wird. Derzeit wird die entsprechende Gesetzesvorlage erarbeitet. Es könnten somit weitere 300 ARA betroffen sein [Gulde 2024a]. Das vorliegende Konzept fokussiert auf das laufende ARA-Ausbauprogramm, kann aber einfach erweitert werden, um auch die Wirkung der zusätzlichen Massnahmen im Sinne der Motion 20.4261 zu überprüfen.

Bund und Kantone müssen die Auswirkung der Massnahmen des GSchG prüfen und die Öffentlichkeit darüber informieren (Erfolgskontrolle; Art. 50 GSchG). Sie müssen folglich eine Erfolgskontrolle des ARA-Ausbaus durchführen. Gemäss Botschaft zur «Verursachergerechten Finanzierung der Elimination von Spurenstoffen im Abwasser» [Botschaft GSchG 2013] soll zudem «nach einer ersten Umsetzungsphase von z. B. zehn Jahren überprüft werden», ob der Schutz der Ökosysteme und der Trinkwasserressourcen ausreichend verbessert wurde.

2. Struktur des Konzepts

Das vorliegende Konzept beschreibt, wie und anhand welcher Parameter die Erfolgskontrolle auf nationaler Ebene geschehen soll. Welche der beschriebenen Auswertungen tatsächlich durchgeführt werden, hängt von den personellen und finanziellen Ressourcen ab. Das Konzept dokumentiert die notwendigen Arbeiten für die Datenerhebung und Auswertung der nationalen Erfolgskontrolle.

Erfolgskontrolle = Umsetzungskontrolle + Wirkungskontrolle

¹ Die 10% beziehen sich auf den Anteil des bezüglich organischen MV ungereinigten Abwassers am Minimalabfluss (Q_{347}) des Gewässers.



Die Erfolgskontrolle beinhaltet zum einen eine Umsetzungskontrolle, die untersucht, ob der ARA-Ausbau korrekt umgesetzt wird. Zum anderen beinhaltet sie eine Wirkungskontrolle, die überprüft, ob sich der ARA-Ausbau wie vorgesehen positiv auf die Gewässer auswirkt. Letztere untersucht, ob die obengenannten Ziele des ARA-Ausbaus erreicht werden.

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht über die Erfolgskontrolle und die zugehörigen Auswertungen, die in Kapitel 3 für die Umsetzungskontrolle auf ARA und in Kapitel 4 für die Wirkungskontrolle im Gewässer im Detail beschrieben sind.

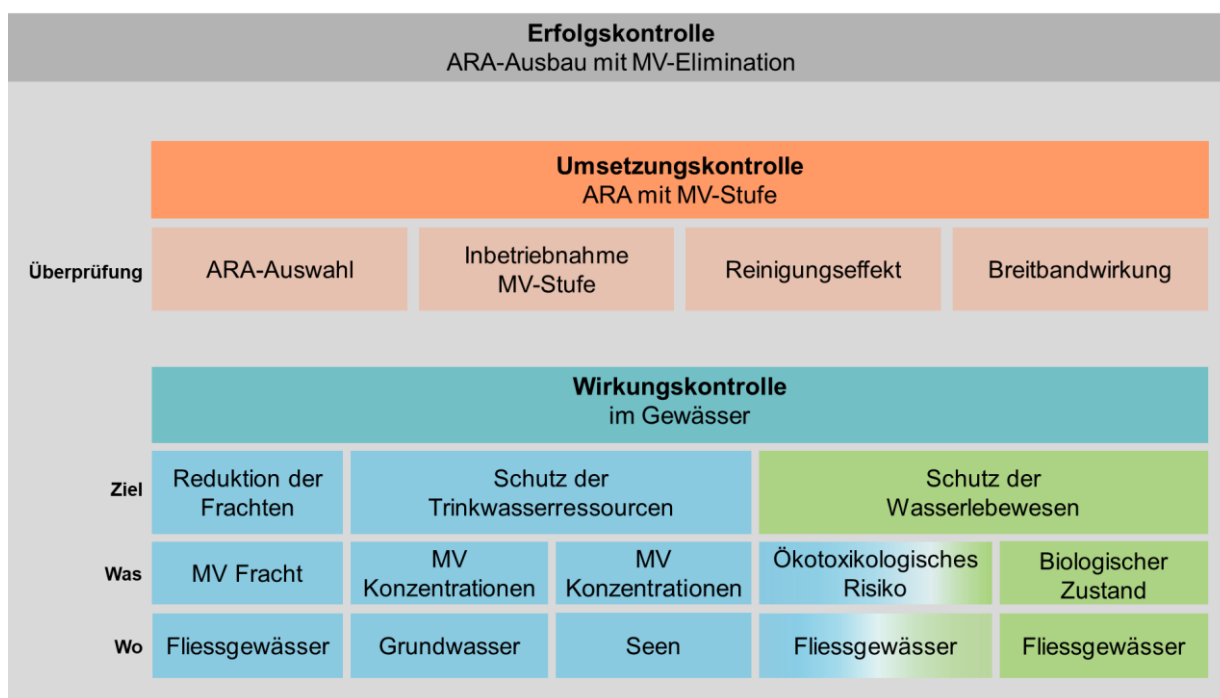


Abbildung 1: Übersicht über das Konzept zur Erfolgskontrolle des Ausbaus von ARA mit MV-Stufe. Die Erfolgskontrolle umfasst sowohl die Umsetzungskontrolle (= korrekte Umsetzung des ARA-Ausbaus) als auch die Wirkungskontrolle (= Auswirkungen auf die Gewässer)

Für die verschiedenen Auswertungen der Erfolgskontrolle werden jeweils unterschiedliche MV betrachtet. Welche MV dies sind und wie sie ausgewählt wurden, ist in den folgenden Unterkapiteln beschrieben. Anhang A gibt einen Überblick über die gewählten MV je nach Auswertung.

Neben der Wirkungskontrolle auf nationaler Ebene kontrollieren auch einzelne ARA oder Kantone die Wirkung des MV-Ausbaus auf Gewässer auf lokaler Ebene. Dies ist nicht Teil des hier präsentierten nationalen Konzepts. Als Hilfestellung fasst Anhang C jedoch Überlegungen zusammen, die bei einer lokalen Wirkungskontrolle berücksichtigt werden sollten.



3. Umsetzungskontrolle auf ARA

3.1 Überprüfung der ausgewählten ARA

Das BAFU überprüft, ob die Kantone jene ARA ausgewählt haben, auf welchen gemäss den Kriterien Massnahmen zur Elimination von MV getroffen werden müssen. Derzeit geschieht dies anhand von Planungsberichten, die die betroffenen Kantone zwischen 2016-2018 erstellt und beim Bund eingereicht haben. Zukünftig erfolgt die Überprüfung anhand sogenannter kantонаler Planungen, die durch die [Motion 20.4262](#) verlangt werden.

Steckbrief: Überprüfung der ausgewählten ARA

Basierend auf: Kantonale Planung

Auswertung durch: BAFU-Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*

3.2 Überprüfung der Inbetriebnahme der MV-Stufen

Das BAFU überprüft, ob auf den ausgewählten ARA die definierten Massnahmen innerhalb der geforderten Frist umgesetzt werden. Derzeit geschieht dies im Rahmen der Schlusszahlung des BAFUs an die Kantone, welche die Schlusszahlung an die Betreiber der ausgebauten ARA weiterleiten. Im Rahmen der Motion 20.4262 wird geprüft, künftig eine kantonal Berichterstattungspflicht zuhanden des BAFU betreffend die Umsetzung der Massnahmen einzuführen.

Steckbrief: Überprüfung der Inbetriebnahme der MV-Stufen

Basierend auf: Berichte der Kantone

Auswertung durch: BAFU-Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*

3.3 Überprüfung des Reinigungseffekts anhand von 12 Leitsubstanzen

ARA mit MV-Stufe müssen einen Reinigungseffekt von 80% über die gesamte ARA einhalten. Dies wird anhand von zwölf Leitsubstanzen periodisch überprüft. Die Anzahl der Überprüfungen pro Jahr ist abhängig von der Anlagengrösse. Die Leitsubstanzen wurden ausgewählt, um die technische Funktionsfähigkeit von ARA mit MV-Stufe zu überprüfen.

Folgende Kriterien führten zu dieser Substanzauswahl [Götz 2010]:

- Die Substanzen müssen Ausgangssubstanzen und keine chemischen oder biologischen Abbauprodukte von Ausgangssubstanzen sein,
- Kommen schweizweit verbreitet im Abwasser vor,
- Gelangen kontinuierlich in die ARA,
- Sind mit gängigen analytischen Methoden messbar,
- Werden in der biologischen Reinigungsstufe ungenügend abgebaut (d. h. zu weniger als 50%) und
- Werden mit Ozon und Aktivkohle in ähnlichem Masse eliminiert, und zwar gut bis sehr gut.

Die ökotoxikologische Wirkung der Substanzen war kein Kriterium bei der Auswahl.



Da die zwölf Leitsubstanzen unterschiedlich gut durch die beiden gängigen Verfahren zur Elimination von MV – Ozonung und Aktivkohlebehandlung – entfernt werden, sind sie in zwei Kategorien eingeteilt:

- Sehr gut eliminierbare Substanzen mit einer Elimination über die ganze ARA von über 80%: Amisulprid, Carbamazepin, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Hydrochlorothiazid, Metoprolol, Venlafaxin.
- Gut eliminierbare Substanzen mit einer Elimination zwischen 50 und 80%: Benzotriazol, Candesartan, Irbesartan sowie 4- und 5-Methylbenzotriazol.

Die Berechnung des Reinigungseffektes ist in einer Verordnung des UVEK geregelt [UVEK, 2016]. Diese gibt vor, dass der Reinigungseffekt anhand von mindestens sechs Leitsubstanzen berechnet werden muss. Die Leitsubstanzen müssen im Verhältnis 2:1 aus den Kategorien «sehr gut eliminierbar» und «gut eliminierbar» vertreten sein.

Der gesetzlich vorgeschriebene Reinigungseffekt liegt bei 80%. Das heisst, der Mittelwert der Einzeleliminationen aller zur Berechnung herangezogener Substanzen muss mindestens 80% betragen. Anhang F beschreibt weitere Details zur Bestimmung des Reinigungseffektes. Werden die Leitsubstanzen zu 80% entfernt, bedeutet dies, dass zahlreiche andere MV sowie deren unerwünschte Effekte auf Wasserlebewesen (z. B. Verweiblichung männlicher Forellen durch hormonaktive Stoffe) aus dem Abwasser entfernt werden.

Die Kantone rapportieren jährlich ans BAFU, ob die MV-Stufen in ihren Kantonen den gesetzlich geforderten Reinigungseffekt von 80% einhalten. Falls nicht, nennen sie die Gründe und die angeordneten Massnahmen. Das BAFU veröffentlicht diese Informationen auf seiner Webseite [BAFU 2023] und aktualisiert sie jährlich.

Der VSA trägt alle fünf Jahre die schweizweit gemessenen Daten zu den Leitsubstanzen und allenfalls weiteren gemessenen MV zusammen. Zusätzlich werden die relevanten Betriebsparameter der ARA erhoben, wie beispielsweise Betriebsmittelverbrauch und UV-Messungen. Der Reinigungseffekt wird ausgewertet und im Kontext der jeweiligen ARA-Situation interpretiert. Anhand solcher Betriebsparameter können kantonale Vollzugsbehörden plausibilisieren, ob eine ganzjährige Einhaltung des Reinigungseffektes realistisch ist, siehe Anhang B.

Steckbrief: Überprüfung des Reinigungseffektes anhand von 12 Leitsubstanzen

Messungen und Umsetzungskontrolle der jeweiligen ARA

Was: 12 Leitsubstanzen

Wann: 6-12x jährlich, ab Ausbau

Wo: Im Zu- und Ablauf von ARA mit MV-Stufe

Wer: ARA, Kantone, BAFU-Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*

Erweiterte Auswertung im Rahmen der Umsetzungskontrolle

Was: Reinigungseffekt im Vergleich verschiedener ARA und im Kontext der jeweiligen ARA-Situation

Wann: Alle 5 Jahre

Wer: VSA-Plattform *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen*



3.4 Überprüfung der Breitbandwirkung der verschiedenen MV-Verfahren im Betrieb

Die in der Schweiz eingesetzten Verfahren zur Elimination von MV behandeln ihr Abwasser entweder mit Ozon, Aktivkohle oder einem Kombiverfahren. Diese Verfahren wurden ausgewählt, da sie sich in intensiven Vorversuchen als wirksam gegenüber zahlreichen MV erwiesen haben (Breitbandwirkung).

Die tatsächliche Breitbandwirkung der im Vollmassstab betriebenen MV-Verfahren wurde bisher jedoch nur an einer Ozonanlage nachgewiesen [Bourgin 2018]. Für die Aktivkohleanlagen fehlen vergleichbare Daten im Vollmassstab. Dies besagt eine Analyse des VSA, der alle schweizweit verfügbaren Messungen von Mikroverunreinigungen im (un)gereinigten Abwasser zusammengetragen hat.

Ein Messprojekt der Eawag wird diese Lücken schliessen. Im Rahmen des Projektes wird ein möglichst breites Spektrum an MV gemessen. Ausgewählt wurden Substanzen, die:

- Bereits im Abwasser gemessen wurden,
- Messtechnisch quantitativ erfassbar sind und
- Basierend auf einer Kosten/Nutzen-Abwägung ausgewählt wurden, wobei auch ökotoxikologische und expositionsrelevante Aspekte (z. B. Vorkommen im Gewässer, siehe Kapitel 4.1.2) sowie die Kosten der Analyse einflussen.

Insgesamt werden im Projekt über 1000 MV mit sechs Analysemethoden (LC-MS/MS-Multianalyten, Pyrethroide, polare Stoffe, PFAS, EDTA und NTA sowie MTBE und Dioxan) erfasst. Beprobt werden zehn ARA, die eine MV-Stufe betreiben. Dies teilt sich auf in drei Ozonanlagen, drei Pulveraktivkohle-(PAK)-Anlagen, zwei Granulierte-Aktivkohle-(GAK)-Anlagen sowie zwei Kombinationsverfahren aus Ozonung und GAK.

Bestimmt werden die Eliminationsraten der gemessenen MV sowohl einzeln als auch aggregiert über alle Stoffe für die verschiedenen Verfahrensvarianten. Damit wird die Breitbandwirkung der jeweiligen MV-Verfahren bewertet, verglichen und dem Reinigungseffekt – gemessen anhand der zwölf Leitsubstanzen – gegenübergestellt. Die Eliminationsraten werden zudem für die Abschätzung der Frachtreduktion verwendet, siehe Kapitel 4.1.2.

Steckbrief: Überprüfung der Breitbandwirkung der verschiedenen MV-Verfahren im Betrieb

Messungen auf ARA

Was: Über 1000 abwasserbürtige MV mit 6 verschiedenen Analysemethoden

Wann: 2025, danach alle 10 Jahre

Wo: Im Zu- und Ablauf von rund 10 ausgewählten ARA mit verschiedenen MV-Verfahren

Wer: Eawag, BAFU-Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*

Auswertung im Rahmen der Umsetzungskontrolle

Was: Eliminationsraten der abwasserbürtigen Stoffe

Wann: 2026-2027, alle 10 Jahre

Wer: Eawag, VSA-Plattform *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen*, BAFU-Sektion *Siedlungswasserwirtschaft*



4. Wirkungskontrolle im Gewässer

Die Wirkungskontrolle überprüft, ob der ARA-Ausbau die drei vorgegebenen Ziele im Gewässer erreicht, siehe auch Kapitel 1: (i) Reduktion der Fracht, (ii) Schutz Trinkwasserressourcen, (iii) Schutz der Wasserlebewesen.

4.1 Reduktion der Fracht

Im Abwasser befinden sich eine Vielzahl an MV, die unterschiedlich gut in den MV-Stufen entfernt werden. Welche Frachtreduktion durch den ARA-Ausbau in den Fliessgewässern erwartet werden kann, wird anhand der Informationen zur Inbetriebnahme der MV-Stufen (Kapitel 3.2) und der Messungen der MV-Frachten und Eliminationen in den ARA (siehe Kapitel 3.3 und 3.4) abgeschätzt. Die tatsächliche Veränderung der Fracht im Gewässer kann jedoch von dieser Schätzung abweichen, beispielsweise durch Prozesse im Gewässer wie Photoabbau oder Pufferung durch Seen. Um die tatsächliche Wirkung im Gewässer zu überprüfen, wird deshalb an geeigneten Messstellen der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) die geschätzte Frachtreduktion mit der effektiv gemessenen verglichen.

Diese Auswertungen werden einerseits für abwasserbürtige MV gemacht, die durch MV-Stufen (sehr) gut entfernt werden, siehe Kapitel 4.1.1. Es werden andererseits aber auch abwasserbürtige MV betrachtet, die weniger bzw. gar nicht durch die MV-Stufen eliminiert werden, siehe Kapitel 4.1.2.

Standortauswahl

Für die Untersuchung der Frachtreduktion eignen sich Messstationen in Fliessgewässern, die:

- Dauerhaft auf MV untersucht werden,
- Abflussproportional beprobt werden,
- Gereinigtes Abwasser enthalten,
- In deren Einzugsgebiet ARA ausgebaut werden, deren Abwasser einen signifikanten Anteil des Abwassers im jeweiligen Fliessgewässer ausmacht und
- Idealerweise verschiedene Einzugsgebiete abdecken, in Bezug auf Grösse und Vorhandensein von Seen.

In der Schweiz werden lediglich an den beiden Stationen Aare (Brugg) und Rhône (Porte du Scex) routinemässig abflussproportionale MV-Messungen gemacht. Hinzu kommt die Rheinüberwachungsstation (RÜS) bei Basel (Weil am Rhein). Dort werden zeitproportionale Tagesmischproben auf MV untersucht, aus denen ausreichend genaue Frachten berechnet werden können. Die Untersuchung der Frachtreduktion an diesen drei Stationen ist zwar möglich – insbesondere, weil der Rhein bei Basel das gereinigte Abwasser von rund drei Vierteln der Schweizer Bevölkerung enthält. Allerdings ist bei Aare (Brugg) und Rhein (Weil am Rhein) zu beachten, dass die vorgelagerten Seen (wie beispielsweise Bielersee bzw. Bodensee), wegen der langen Aufenthaltszeit des Wassers, eine Auswertung der Frachtreduktion komplizierter machen. Zudem erschweren dort auch ausländische Abwassereinträge die Interpretation der Schweizer Massnahmen, siehe Anhang E. Das BAFU prüft deshalb bis Mitte 2025, ob per Ende 2025 im Rahmen



von NAWA FRACHT an zusätzlichen Messstellen ein Monitoring der MV-Frachten in abflussproportionalen Proben durchgeführt werden kann. Die Messstationen Thur (Andelfingen), Murg (Frauenfeld) und bedingt auch Aare (Hagneck) sind hierfür potenziell geeignet, siehe Anhang E.

4.1.1 Mikroverunreinigungen, die (sehr) gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden

In dieser Auswertung sollen abwasserbürtige MV betrachtet werden, die (sehr) gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden. Ziel ist es, zu überprüfen, ob sich die durch den Ausbau erwartete Frachtreduktion in den Messdaten in den Fliessgewässern widerspiegelt.

Substanzauswahl

Zur Überprüfung der Frachtreduktion werden MV betrachtet, die die folgenden Kriterien erfüllen: MV, die:

- Schweizweit verbreitet und kontinuierlich durch das Abwasser eingetragen werden,
- Hauptsächlich über das Abwasser in die Gewässer gelangen,
- Routinemässig, z. B. im Rahmen des Dauermonitorings von NAWA, gemessen werden und im Gewässer in genügend hohen Konzentrationen vorliegen,
- In der biologischen Behandlung ungenügend entfernt werden und
- In den MV-Stufen gut bis sehr gut eliminiert werden.

Da seit spätestens 2020 alle Leitsubstanzen im Rahmen von NAWA gemessen werden, eignen sich diese zwölf Stoffe prinzipiell. Für neun dieser Leitsubstanzen sind die analytischen Standardmethoden empfindlich genug, um sie auch bei grösserer Verdünnung im Gewässer quantitativ zu erfassen. Hinzukommen zwei weitere NAWA-Stoffe, die gemäss Auswertungen der VSA-Plattform *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen* sowie [Götz 2010] die genannten Kriterien erfüllen. Geeignet sind also:

- Neun Leitsubstanzen: Benzotriazol, Candesartan, Carbamazepin, Diclofenac, Hydrochlorthiazid, Irbesartan, Metoprolol, Methylbenzotriazol und Venlafaxin
- Zwei NAWA-Stoffe: Sotalol und Sitagliptin

Zusätzlich zu diesen elf MV können zukünftig weitere Stoffe betrachtet werden, welche die Kriterien erfüllen.

Datenanalyse

Die Reduktion der Fracht kann folgendermassen analysiert werden:

- Als Referenzzeitraum dient eine mehrjährige Messperiode, bevor der erste Ausbau im Einzugsgebiet des jeweiligen Fliessgewässers stattgefunden hat. Bei Messstationen wie Aare (Brugg), bei welchen die erste MV-Stufe oberhalb der Messstelle bereits vor Messbeginn in Betrieb genommen wurde, kann lediglich der anschliessende Ausbau anderer ARA überprüft werden.
- Berechnet wird für jede der ausgewählten MV die Reduktion der Jahresfracht vor Ausbau in Bezug zu der Jahresfracht nach Ausbau [$\text{gemessene_Frachtreduktion} = (\text{Jahresfracht_vor_Ausbau} - \text{Jahresfracht_nach_Ausbau}) / \text{Jahresfracht_vor_Ausbau}$]. Bestehen



Messungen aus mehreren Jahren, wird die durchschnittliche Jahresfracht der jeweiligen Kategorie (vor Ausbau / nach Ausbau) verwendet.

- Die gemessene Frachtreduktion wird mit der erwarteten Frachtreduktion verglichen, um die Wirkung des ARA-Ausbaus zu beurteilen. Die erwartete Frachtreduktion kann beispielsweise mit dem Stoffflussmodell des VSA [Gulde 2024a, Stoffflussmodell-Webseite] berechnet werden. Dieses basiert auf der Anzahl und den Grössen der ARA, die bis zum jeweiligen Zeitpunkt eine MV-Stufe betreiben, und der Eliminationsrate der jeweiligen Substanz in den verwendeten Verfahren.

Weitere wichtige Aspekte, die für die Interpretation der Reduktion der jeweiligen MV beachtet werden müssen, sind in Anhang F aufgeführt.

Derzeit wird keine Aggregierung über die verschiedenen MV empfohlen, da ihre Reduktion, wie oben beschrieben, durch verschiedenste Faktoren beeinflusst wird. Sie sollen stattdessen einzeln betrachtet werden. Es ist mit zunehmender Erfahrung zu prüfen, ob eine Aggregierung möglich ist.

Die Untersuchung der Reduktion der Fracht durch den ARA-Ausbau soll alle fünf Jahre stattfinden.

Steckbrief: Frachtreduktion von Mikroverunreinigungen, die (sehr) gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden

Messungen

Was: 11 MV und ggfs. weitere

Wann: Ganzjährige Gewässermessungen

Wo: Abflussproportional beprobte Gewässermessstationen: Rhein (Weil), Aare (Brugg) und Rhône (Porte du Scex) und ggfs. weitere

Wer: BAFU-Sektionen *Wasserqualität* und *Hydrologische Grundlagen Gewässerzustand*, Amt für Umwelt Basel-Stadt

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Gemessene Frachtreduktion im Vergleich zur erwarteten Frachtreduktion

Wann: Alle 5 Jahre

Wer: BAFU-Sektion *Wasserqualität*, VSA-Plattformen *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen & Wasserqualität*

4.1.2 Weitere abwasserbürtige Mikroverunreinigungen

In dieser Auswertung sollen alle abwasserbürtigen MV, die im Gewässer gemessen werden, betrachtet werden. Darin enthalten sind auch solche, die von MV-Stufen kaum entfernt werden. Ziel ist es, abzuschätzen, welche Frachten nach dem ARA-Ausbau für die verschiedenen Stoffe noch zu erwarten sind und für welche Stoffe allenfalls weitere Massnahmen, beispielsweise an der Quelle, nötig sind. Beispiele hierfür sind EDTA oder diverse Röntgenkontrastmittel, für die nach ersten Abschätzungen eine geringe Reduktion durch den ARA-Ausbau erwartet wird.



Für diese Auswertung müssen die vor dem Ausbau gemessenen MV-Jahresfrachten mit ihrer erwarteten Elimination durch die MV-Stufen verrechnet werden. Dazu muss jedoch bekannt sein, wie gut die unterschiedlichen MV-Verfahren diese Stoffe entfernen. Dies wird nach der in Kapitel 3.4 beschriebenen schweizweiten Messkampagne bei ausgewählten ARA mit MV-Stufe der Fall sein [Gulde 2024c]. Während der ARA-Ausbau voranschreitet, können die so berechneten Frachtreduktions-Prognosen mit den tatsächlichen Messungen verglichen werden.

Zusammenfassend sind also MV zur Abschätzung der Frachtreduktion geeignet, wenn:

- Sie in Fließgewässern regelmässig und in ausreichend hohen Konzentrationen gemessen werden,
- Ihre Eliminationsraten aus der biologischen Reinigung und aus den verschiedenen MV-Stufen bekannt sind und
- Sie hauptsächlich durch das Abwasser in die Gewässer gelangen.

Geeignete MV-Messungen stammen bisher nur von den drei genannten Fließgewässerstationen an Rhein (Weil), Aare (Brugg) und Rhône (Porte du Scex). Dies, weil an diesen Stationen über die Stoffauswahl von NAWA TREND hinaus ganzjährig hunderte von abwasserbürtigen MV gemessen werden.

Steckbrief: Frachtreduktion für weitere abwasserbürtige Mikroverunreinigungen

Messungen im Fließgewässer

Was: Frachten der MV im Gewässer

Wann: Jährlich seit Messbeginn

Wo: Rhein (Weil), Aare (Brugg) und Rhône (Porte du Scex) und ggfs. weitere

Wer: BAFU-Sektionen *Wasserqualität* und *Hydrologische Grundlagen Gewässerzustand*, Amt für Umwelt Basel-Stadt

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Abschätzung der Frachtreduktion durch den ARA-Ausbau sowie Vergleich mit Messungen

Wann: 2027, danach alle 10 Jahre

Wer: BAFU Sektion *Wasserqualität*, VSA-Plattformen *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen* & *Wasserqualität*

4.2 Schutz der Trinkwasserressourcen

4.2.1 Grundwasser

80% des Trinkwassers in der Schweiz wird aus Grundwasser gewonnen. Insbesondere entlang der mittelgrossen und grossen Fließgewässer infiltrieren signifikante Mengen von Flusswasser in den Untergrund (Uferfiltration) und tragen dort wesentlich zur Erneuerung der Grundwasserressourcen bei. Mit dem Flusswasser können allerdings auch abwasserbürtige MV ins Grundwasser gelangen. Für das Grundwasser besonders relevant sind persistente und mobile Substanzen, die bei der Uferfiltration nicht zurückgehalten werden.



Wie sich der ARA-Ausbau auf die Qualität der flussnahen Grundwasservorkommen auswirkt, wird im Rahmen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA erfasst (BAFU 2019). Das Messnetz von NAQUA enthält insgesamt mehr als 100 flussnahe Messstellen, die durch Flusswasserinfiltrat gespiesen werden. Werden ARA im Einzugsgebiet dieser Fliessgewässer mit einer MV-Stufe ausgerüstet, verbessert dies die Wasserqualität der Fliessgewässer und somit die Qualität des Grundwassers.

Um die Wirkung des ARA-Ausbaus auf die Grundwasser-Qualität zu verfolgen, kommen ausschliesslich diejenigen abwasserbürtigen MV in Frage, die an einer grösseren Zahl von NAQUA-Messstellen in ausreichend hohen Konzentrationen im Grundwasser auftreten (BAFU 2024).

Die Konzentrationen der einzelnen MV im Grundwasser werden durch den ARA-Ausbau unterschiedlich stark sinken, da diese in der MV-Stufe je nach Verfahren unterschiedlich gut eliminiert werden [Götz 2010, IKS 2010]:

- Gute bis sehr gute Elimination («Leitsubstanzen»): Benzotriazol, Candesartan, Carbamazepin, Hydrochlorthiazid
- Teilweise gute bis sehr gute Elimination: Acesulfam (nur Ozon), Lamotrigin (nur Aktivkohle), Sulfamethoxazol (nur Ozon)
- Schlechte Elimination: Amidotrizoesäure

Die Konzentrationen der MV, die verfahrensunabhängig (sehr) gut in der MV-Stufe eliminiert werden, sollten landesweit im Grundwasser am deutlichsten sinken. Weniger gut bzw. schlecht eliminierbare MV zeigen gleichzeitig auf, ob ggf. weitere Massnahmen zur Reduktion der Emissionen dieser MV erforderlich sind.

Voraussetzung für die langfristige Eignung der MV für die Wirkungskontrolle ist zudem, dass der Verbrauch dieser MV und damit ihr Eintrag in die Kläranlagen mit den Jahren weitgehend konstant bleibt. Dies wird regelmässig anhand der Konzentrationen im ungereinigten Abwasser geprüft, siehe Kapitel 3.

Wie schnell und in welchem Ausmass die Konzentrationen dieser Substanzen im Grundwasser an den einzelnen Messstellen abnehmen werden, hängt davon ab,

- Wie schnell sich das Grundwasser erneuert,
- Wie gross der Anteil von Flusswasser im Grundwasser ist,
- Wie gross der Anteil an gereinigtem Abwasser im Flusswasser ist und
- Wie viele ARA im Einzugsgebiet der Fliessgewässer mit einer MV-Stufe ausgerüstet werden.

Im Vergleich zu den Fliessgewässern wird die Wirkung im Grundwasser weniger und erst mit grösserer Verzögerung sichtbar werden.

Um die Auswirkung des ARA-Ausbaus auf die Grundwasserqualität aufzuzeigen, entwickelt das BAFU einen Indikator zu abwasserbürtigen Substanzen im Grundwasser (analog Indikator PSM-Metaboliten). Dieser Indikator wird die entsprechenden Daten der einzelnen Messstellen und



Substanzen aggregieren und aufzeigen, ob und in welchem Ausmass die Konzentrationen der abwasserbürtigen MV im Grundwasser langfristig zurückgehen.

Steckbrief: Schutz Trinkwasserressourcen – Grundwasser

Messungen

Was: Carbamazepin¹, Benzotriazol¹, Sulfamethoxazol², Acesulfam³, Candesartan⁴, Hydrochlorthiazid⁴, Lamotrigin⁴ sowie Amidotrizoessäure⁵

Wann: Messungen seit: 2013¹, 2014², 2015³, 2020⁴, 2021⁵

Wo: NAQUA-Messstellen, an denen Flusswasser ins Grundwasser infiltriert

Wer: Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (BAFU-Sektion *Hydrogeologische Grundlagen*, Kantone)

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Indikator abwasserbürtige Substanzen im Grundwasser, BAFU-Website

Wann: Ab 2025, jährliche Aktualisierung

Wer: BAFU-Sektion *Hydrogeologische Grundlagen*

4.2.2 Seen

Für die Überprüfung der Auswirkungen des ARA-Ausbaus auf die Seen ist zurzeit keine spezifische Wirkungskontrolle geplant. Dies weil die MV-Konzentrationen in Seen in der Regel sehr tief sind [BAFU 2022]. Darum lässt sich die Wirkung des ARA-Ausbaus direkt in den Seen nur schwer beobachten. Ein spezifisches Monitoring der Seen auf nationaler Ebene erscheint vor diesem Hintergrund nicht verhältnismässig.

Es soll jedoch geprüft werden, ob die vorhandenen MV-Messdaten aus Seen zusammengetragen und ausgewertet werden sollen. Untersucht werden könnte, ob sich die Konzentrationen von MV in Seen durch den ARA-Ausbau über die Zeit verändern. Dabei sollten nur abwasserbürtige MV betrachtet werden, die im Gewässer stabil sind (z. B. keine Untersuchung von Stoffen wie Diclofenac, die photolytisch instabil sind).

Steckbrief: Schutz Trinkwasserressourcen – Seen

Messungen

Was: MV-Daten aus Seen

Wann: Zu klären, je nach Datensatz: 2016-2025

Wo: Zu klären

Wer: Kantone, See-Kommissionen

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Änderung der Konzentration stabiler Stoffe

Wann: Sammlung vorhandener Messdaten: 2025-2026; Auswertung: 2026-2027

Wo: Seen, für welche Daten zur Verfügung stehen und als Trinkwasserressource genutzt werden

Wer: BAFU-Sektion *Wasserqualität*, VSA-Plattform *Wasserqualität*



4.3 Schutz der Wasserlebewesen

Um die Wirkung des ARA-Ausbaus auf die Wasserlebewesen zu beurteilen, kann sowohl die Konzentration von ökotoxikologisch relevanten MV, siehe Kapitel 4.3.1, als auch der biologische Zustand betrachtet werden, siehe Kapitel 4.3.2.

4.3.1 Ökotoxikologisches Risiko durch MV in Fliessgewässern

Das Risiko, welches MV für Wasserlebewesen darstellen, wird anhand von ökotoxikologischen Grenzwerten oder Qualitätskriterien beurteilt. Werden diese Grenzwerte oder Qualitätskriterien überschritten, ist ein negativer Effekt auf aquatische Lebewesen nicht auszuschliessen. Für drei hauptsächlich aus dem Abwasser stammende MV existieren ökotoxikologische Grenzwerte: Azithromycin, Clarithromycin und Diclofenac. Auf Basis dieser Stoffe kann die Wirkung des ARA-Ausbaus auf die Wasserlebewesen beurteilt werden. Weitere abwasserbürtigen MV werden in die Analyse aufgenommen, wenn für sie zukünftig ein Grenzwert definiert oder ein robustes Qualitätskriterium durch das Oekotoxzentrum hergeleitet wird.

Eine Beurteilung der Wirkung des ARA-Ausbaus auf die Wasserlebewesen kann an Fliessgewässern durchgeführt werden, wenn:

- Sie gereinigtes Abwasser enthalten,
- In ihrem Einzugsgebiet eine ARA ausgebaut wird und
- Langjährige Messdaten mit Zweiwochenmischproben (berechnet oder gemessen) bestehen.

Solche Messungen werden seit 2018 im Rahmen der Nationalen Beobachtung der Oberflächen-gewässerqualität (NAWA) schweizweit an Fliessgewässern durchgeführt [Doppler 2020]. Zusätzlich betreiben die Kantone weitere Messstellen nach derselben Methode [Wittmer 2024]. Anhang D listet 19 Messstellen auf, die aktuell die obenstehenden Bedingungen erfüllen.

Die Wirkung sollte anhand von folgenden Kenngrössen beurteilt werden:

- Die **Gesamtzahl an Überschreitungen** ökotoxikologischer Grenzwerte an allen untersuchten Fliessgewässern pro Jahr. Mit dieser Grösse kann aggregiert die gesamtschweizerische Veränderung über die Jahre verfolgt werden.
- Pro Fliessgewässer soll die messdatenbasierte **Risiko-Kennzahl** berechnet werden [Doppler 2024]. Damit kann die Verbesserung über die Jahre für jeden Messstandort beurteilt werden. Für die Berechnung wird zuerst für jede MV und Probe der Risikoquotient bestimmt. Dies ist der Quotient aus der gemessenen Konzentration und dem zugehörigen Grenzwert resp. Qualitätskriterium. Ist der Risikoquotient grösser als 1 kann ein Risiko für Gewässerorganismen nicht ausgeschlossen werden. Danach wird pro Probe die Summe der Risikoquotienten gebildet. Der Durchschnitt der Risikoquotienten-Summen aus einem Jahr ergibt die Risiko-Kennzahl für diesen Messstandort.



Die Kontrolle der Wirkung des ARA-Ausbaus auf die Wasserlebewesen anhand der ökotoxikologisch relevanten abwasserbürtigen MV soll alle fünf Jahre durchgeführt werden. Die Untersuchungen lehnen sich an der Studie von Gulde [2024b] zu Arzneimitteln an sowie an die Wirkungskontrolle des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel [Doppler 2024].

Steckbrief: Schutz der Wasserlebewesen – Ökotoxikologisches Risiko durch Mikroverunreinigungen in Fliessgewässern

Messungen

Was: Drei in der GSchV geregelte Arzneimittel und ggfs. weitere MV

Wann: Seit 2018 ganzjährig in Zweiwochenmischproben

Wo: 19 Fliessgewässer (NAWA TREND MV und kantonale Messstellen) und ggfs. weitere

Wer: BAFU, Kantone

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Gesamtzahl an Überschreitungen und Risiko-Kennzahl pro Jahr

Wann: Alle 5 Jahre

Wer: BAFU-Sektion *Wasserqualität*, VSA-Plattformen *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen & Wasserqualität*

4.3.2 Biologischer Zustand

Eine positive Auswirkung des ARA-Ausbaus auf den biologischen Gewässerzustand (Pflanzen und Tiere) ist mit den üblichen Methoden des Gewässermonitorings (MSK-Methoden) schwierig nachzuweisen. Der Grund dafür ist einerseits, dass die bestehenden Methoden nicht spezifisch auf die Belastung durch MV reagieren und andererseits, dass der biologische Zustand oft durch weitere Einflüsse wie beispielsweise diffuse Pestizideinträge oder den Klimawandel beeinflusst wird. Verschiedene Studien zeigen jedoch punktuell die positiven Auswirkungen eines ARA-Ausbaus auf das Gewässerökosystem [Ilg 2018].

Da die Erhebung der Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen einerseits Methoden benötigt, die noch nicht standardisiert sind und sich andererseits nicht alle Standorte für eine Erhebung der Auswirkungen eignen, wurden 2013 bzw. 2019 die Projekte EcolImpact und EcolImpact 2.0. lanciert. Eine vielversprechende Methode für die Erhebung der Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen scheint aktuell die Messung der Genexpression von Markern für Stress- und Schadstoffabwehr in Forellengewebe zu sein [Fischer 2019, Voisin 2023]. Ebenfalls untersucht werden ein Oligochäten-Index [Vivien 2023] sowie weitere ökotoxikologische Tests [Kienle 2023].

Bis jetzt kann kein standardisierter Test auf nationaler Ebene empfohlen werden [VSA 2022]. Es gibt aber neben der Eawag weitere Forschungsinstitute (Oekotoxzentrum, FHNW), die im Auftrag von Kantonen Untersuchungen dazu durchführen, welche Tests künftig für ein biologisches Monitoring geeignet sein könnten. Wiederholt zum Einsatz kamen bis anhin ein Östrogentest, sowie



ein Photosynthese-Hemm-Test. Weitere Erkenntnisse könnten künftig anhand der Genexpression von einheimischen Gammariden gewonnen werden.

Bis dato ist eine national einheitliche Überprüfung der Auswirkungen auf der biologischen Ebene nicht möglich. Es ist aber sinnvoll, die Aktivitäten – u. a. der Kantone – zu koordinieren und deren Wissen und die Erfahrungen sowie deren Erkenntnisse aus den Erhebungen periodisch zusammenzutragen und zu dokumentieren.

Steckbrief: Schutz der Wasserlebewesen – Biologischer Zustand

Messungen

Was: Ökotoxikologische Biotests und in-situ Untersuchungen

Wann: Vor und nach einem Ausbau. Nach 2, 5 und 10 Jahren, je nach Indikator.

Wo: Fließgewässer: Oberhalb und unterhalb von ARA, die eine MV-Stufe in Betrieb nehmen

Wer: Kantone, Eawag, Oekotoxzentrum, FHNW, Büros

Auswertung im Rahmen der Wirkungskontrolle

Was: Die VSA-Plattform *Wasserqualität* trägt das Wissen und Resultate zu Biotests und weiteren Untersuchungen zusammen und koordiniert, wo möglich, auch die Aktivitäten der Kantone.

Wann: 2025: Zusammentragen des Wissens und der Ergebnisse der Erhebungen, Erfahrungsaustausch;

Ab 2026: Wenn möglich, Entwicklung eines Sets an Indikatoren

Wer: VSA-Plattform *Wasserqualität*

5. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die für die Auswertungen der einzelnen Ziele der Erfolgskontrolle benötigten Daten werden mehrheitlich bis ca. 2026 zur Verfügung stehen (siehe Steckbriefe der jeweiligen Kapitel). Die VSA-Plattformen und das BAFU planen die Ergebnisse in einem zusammenfassenden Bericht bis 2028 zu publizieren. Trotzdem können einzelne Resultate auch bereits vorab in separaten Berichten veröffentlicht werden.

6. Literatur

Bundesamt für Umwelt BAFU (2019): Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA. Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901

Bundesamt für Umwelt BAFU (2022): Gewässer in der Schweiz, Zustand und Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2207: 90S.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2023): Abwasserfinanzierung / Abwasserfonds

https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/abwasserfinanzierung_abwasserfonds.html

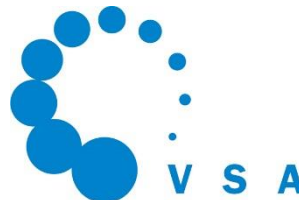
Bundesamt für Umwelt BAFU (2024): Arzneimittel im Grundwasser.

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-des-grundwassers/grundwasser-qualitaet/arzneimittel-im-grundwasser.html>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

eawag
aquatic research



Brander, A. et al. (2024) MV-Stufen stabil betreiben: Hilfreiche Betriebsparameter. Aqua & Gas 1/2024: 54 – 61.

Botschaft GSchG (2013) Botschaft zur Änderung des Gewässerschutzgesetzes – Verursachergerechte Finanzierung der Elimination von Spurenstoffen im Abwasser, S. 5558 [BBl 2013 5549 \(admin.ch\)](#)

Bundesrat (2017) – Massnahmen an der Quelle zur Reduktion der Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.2090 Hêche vom 7. März 2012

Doppler, T. et al. (2020) Mikroverunreinigungen im Gewässermonitoring. Aqua & Gas 7/8-2020:44-53.

Doppler, T. et al. (2024) Pestizide in Bächen und Flüssen – Wirkung des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel. Aqua & Gas 7+8/2024: 63-69.

Fischer, M. et al (2019) Repeatability and reproducibility of the RTgill-W1 cell line assay for predicting fish acute toxicity. Toxicological Sciences 169(2), 353–364.

Gulde, R. et al. (2024a) Grenzwertüberschreitungen im Gewässer mit ARA-Ausbau beseitigen – Stoffflussanalyse identifiziert betroffene ARA, VSA.

Gulde, R. et al. (2024b) Arzneimittel in Gewässern – Massnahmen an weiteren ARA notwendig. Aqua & Gas 3/2024: 36-42.

Gulde, R. et al. (2024c) Mikroverunreinigungen im kommunalen Abwasser – Ziele und Konzept für ein ARA-Screening. Präsentation vom 11.6.24.

Götz, C. et al. (2010) Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Dübendorf, Eawag.

IKSR (2010) Auswertungsbericht Röntgenkontrastmittel. Bericht Nr. 187.

IKSR (2022) Reduzierung von Mikroverunreinigungen im Rheineinzugsgebiet – Monitoring und Bewertungssystem. Bericht Nr. 287.

Ilg, C. et al. (2018) Überwachung der Auswirkung der Kläranlagen Optimierung auf die Fauna und Flora von Gewässern - Stand des Wissens

Kienle, C. et al. (2023) Beurteilung der Wasserqualität mittels Biotestbatterie. Aqua & Gas 4:24-33

Stoffflussmodell-Webseite <https://github.com/blosloos/SSM/wiki>

Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2016) Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen vom 3. November 2016 (SR814.201.231).

Vivien, R. et al. (2023) OligoGen : Développement de méthodes oligochètes génétiques pour évaluer la qualité biologique des sédiments de cours d'eau.

Voisin, A.-S. et al. (2023): Biomarqueurs moléculaires: Application pour la surveillance de la qualité de l'eau avec la truite de rivière. Aqua & Gas 4: 42-48

VSA (2022) Elimination von Mikroverunreinigungen auf ARA – Wirkungskontrolle im Gewässer. Merkblatt. VSA. Glattbrugg.

Lab'Eaux, VSA (2024) Methode zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern. Organische Mikroverunreinigungen - numerische Anforderungen Anhang 2 GSchV. Interkantonale Empfehlung.

Wunderlin, P. et al. (2024) Mikroverunreinigungen aus dem häuslichen Abwasser entfernen: Erkenntnisse aus sieben Jahren Überprüfung Reinigungseffekt. Aqua & Gas 1/2024: 46–53.



Anhang A

Ausgewählten Mikroverunreinigungen in den verschiedenen Auswertungen der Erfolgskontrolle

Für die verschiedenen Auswertungen werden unterschiedliche MV betrachtet. Welche MV für welche Auswertung ausgewählt wurden, ist in Tabelle A.1 dargestellt. Die Kriterien für die Auswahl sind in den Unterkapiteln beschrieben und in Tabelle A.2 zusammengefasst. Die Tabelle zeigt auch, dass einige MV, beispielsweise manche Leitsubstanzen, für mehrere Auswertungen verwendet werden.

Tabelle A.1: Auswahl der MV, die für die verschiedenen Auswertungen der Erfolgskontrolle geeignet sind.

	Kapitelnummer	3.3	3.4	4.1.1	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3.1
	Kapitel	Überprüfung des Reinigungseffekts anhand von 12 Leitsubst.	Überprüfung der Breitbandwirkung der verschiedenen MV-Verfahren	Reduktion der Fracht - MV, die (sehr) gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden	Reduktion der Fracht - weitere abwasserbürtige MV	Schutz Trinkwasserressourcen - Grundwasser	Schutz Trinkwasserressourcen - Seen	Schutz der Wasserlebewesen - Ökotoxikologisches Risiko
Leitsubstanzen sehr gut eliminierbar.	Amisulprid	x	x					
	Carbamazepin	x	x	x		x		
	Citalopram	x	x					
	Clarithromycin	x	x					x
	Diclofenac	x	x	x				x
	Hydrochlorothiazid	x	x	x		x		
	Metoprolol	x	x	x				
	Venlafaxin	x	x	x				
Leitsubstanzen gute eliminierbar.	Benzotriazol	x	x	x		x		
	Candesartan	x	x	x		x		
	Irbesartan	x	x	x				
	Methylbenzotriazol	x	x	x				
	Acesulfam		x		x	x		
	Amidotrizoesäure		x		x	x		
	Azithromycin		x		x			x
	Lamotrigin		x		x	x		
	Sitagliptin		x	x				
	Sotalol		x	x				
	Sulfamethoxazol		x		x	x		
	ggfs. einige weitere MV, die die jeweiligen Kriterien erfüllen	x		x			x	x
	Viele weitere MV, die die Kriterien erfüllen		>500		>100			



Tabelle A.2: Kriterien für die Auswahl der MV je nach Auswertung der Erfolgskontrolle

Kapitelnummer	3.3	3.4	4.1.1	4.1.2	4.2.1	4.2.2	4.3.1
Kapitel	Überprüfung des Reinigungseffekts anhand von 12 Leitsubstanzen	Überprüfung der Breitbandwirkung der verschiedenen MV-Verfahren	Reduktion der Fracht-MV, die gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden	Reduktion der Fracht-weitere abwasserbürtige MV	Schutz Trinkwasserressourcen - Grundwasser	Schutz Trinkwasserressourcen - Seen	Schutz der Wasserlebewesen - Ökotoxikologisches Risiko
Schweizweit verbreitet im Abwasser	x	(x)	x	(x)			
Kontinuierlich im Abwasser	x		x				
Eintrag über die Jahre konstant	(x)		x		x	x	
Eintrag in die Gewässer hauptsächlich über das Abwasser	(x)	(x)	x	x	x	x	x
In ausreichend hohen Konzentrationen	im Abwasser	(x)	in Fließgewässern	in Fließgewässern	im Grundwasser	x	
Im Abwasser nachgewiesen		x		x			
Elimination in der biologischen Reinigung sowie den MV-Stufen bekannt	x		x	x		x	
Ungenügender Abbau in der biologischen Reinigungsstufe	x		x		(x)	x	
Gute bis sehr gute Elimination in den MV-Stufen	x		x			x	
Werden langfristig analysiert	im Abwasser		in Fließgewässern (z.B. in NAWA)	in Fließgewässern	im Grundwasser (in NAQUA)	(im See)	in Fließgewässern (z.B. in NAWA)
Werden punktuell analysiert		x				im See	
Ökotoxikologischer Grenzwert oder robustes Qualitätskriterium vorhanden		(x)		(x)		(x)	x
Ökotoxikologisch oder expositionsrelevant		(x)		(x)		(x)	

Legende

- x Kriterium muss zwingend erfüllt sein
- (x) Kriterium nicht zwingend, bevorzugt jedoch die Auswahl
- Explizit im Kapitel genannt
- Nicht explizit genannt, aber dennoch gültig



Anhang B

Plausibilisierung der ganzjährigen Einhaltung des Reinigungseffektes anhand von Ersatzparametern

Die ARA muss den gesetzlich geforderten Reinigungseffekt von 80% jederzeit einhalten und nicht nur zum Zeitpunkt der Probenahme. Um zu plausibilisieren, ob die MV-Stufen so betrieben wurden, dass eine ganzjährige Einhaltung des Reinigungseffektes realistisch ist, nutzen kantonale Vollzugsbehörden und ARA-Betreiber Ersatzparameter, wie beispielsweise:

- Anzahl Betriebsstunden der wichtigen Aggregate (z.B. Ozongenerator, Aktivkohledosierung) und Filterlaufzeiten bei GAK-Filtern
- Austauschintervalle der Aktivkohle in den einzelnen GAK-Zellen
- Anzahl und Art der aufgetretenen Störungen der wichtigen Aggregate
- Stromverbrauch der MV-Stufe
- Verbrauch von Ozon und Aktivkohle

Es empfiehlt sich, dass die zuständigen Vollzugsbehörden diese Betriebsdaten – oder eine Auswahl daraus – ergänzend zu den Leitsubstanzen beiziehen, um die Reinigungsleistung zu überprüfen.

Die Plattform *Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen* trägt periodisch (alle fünf Jahre) die zur Plausibilisierung geeigneten Ersatzparameter bei ARA und den Kantonen zusammen und wertet sie aus.



Anhang C

Checkliste - Überprüfung der Auswirkungen einzelner ARA

Viele Betreiber und Kantone überlegen sich, zusätzlich zur nationalen Wirkungskontrolle eine Wirkungskontrolle bei ihren ARA. Im Folgenden sind deshalb einige Überlegungen zusammengefasst, die dabei bedacht werden können.

Stoffliche Belastung

Die Überprüfung der Auswirkungen eines ARA-Ausbaus sollte sich in einem ersten Schritt auf die Reduktionen der stofflichen Belastung stützen. Dazu dienen in 1. Priorität die obligatorischen Messungen der Leitsubstanzen im ARA Zu- und Ablauf, siehe Kapitel 3.

Plant man chemisch Erhebungen im Gewässer, ist es wichtig zu beachten, dass eine Trockenperiode beprobt wird. Wenn möglich, sollen dabei 24h oder gar längere Mischproben untersucht werden. Falls man die Überschreitung der Grenzwerte beurteilen möchte, müssen zwingend mindestens 8-mal Zwei-Wochenmischproben genommen werden (Wittmer et al. 2024). Die Probenahmestellen sollten möglichst nah oberhalb und unterhalb der ARA-Einleitung liegen, aber eine Durchmischung des gereinigten Abwassers mit dem Flusswasser bereits garantieren, beispielsweise bei den biologischen Untersuchungsstellen BO1 und BU1.

Checkliste für die Planung von stofflichen Untersuchungen im Gewässer:

- Vor- und nach dem ARA-Ausbau Untersuchungen machen
- Für die Überprüfung der Grenzwerte ist es zwingend nötig, acht Zwei-Wochenmischproben zu nehmen. Wenn das nicht möglich ist, dann bei Niedrigwasser mind. 4 Stichproben nehmen.
- Nebst den Leitsubstanzen sollen mindestens die drei in der GSchV geregelten Arzneimittel und evtl. weitere Stoffe untersucht werden.

Solche Untersuchungen machen nur Sinn, wenn:

- Das Verdünnungsverhältnis ARA/Gewässer nicht zu gross ist.
- Die betrachtete ARA einen substanziellen Anteil zur MV-Fracht im Gewässer beiträgt (Wie viele ARA liegen im Oberlauf?).

Biologische Auswirkungen

Eine offizielle schweizweite Koordination der biologischen Wirkungskontrollen ist zurzeit nicht vorgesehen. Das vorliegende Konzept soll eine Basis für ein möglichst einheitliches Vorgehen bilden. Auch für Standorte, die nicht Teil des EcolImpact 2.0 sind.

Ein Signal in den biologischen Untersuchungen ist nur zu erwarten, wenn die Einflüsse von anderen Faktoren wie i) weitere ARA im Oberlauf, ii) grosse Verdünnung, iii) intensive Landwirtschaft im Einzugsgebiet nicht zu gross sind. Potenzielle Standorte für biologische Erhebungen erfüllen daher, wenn möglich, folgende Kriterien (Design aus EcolImpact Studie - [link](#)):



- Abwasseranteil oberhalb 0%
- Abwasseranteil unterhalb > 20%
- Siedlungsanteil im Einzugsgebiet < 20%
- Spezialkulturenanteil am Einzugsgebiet < 10% (Spezialkulturen = Obst, Gemüse, Reb-
bau, Beeren etc.)

Wenn die ARA diese Kriterien nicht erfüllt, ist es unter Umständen nicht sinnvoll, aufwändige biologische Erhebungen durchzuführen.

Biologische Wirkungskontrolle stellen, wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, eine Herausforderung dar. Im Folgenden sind verschiedene Überlegungen dazu zusammengefasst:

- Wenn immer möglich sollte die Wirkungskontrolle vor und nach der Massnahme durchgeführt werden. Rückschlüsse auf mögliche Auswirkungen sind sonst schwierig zu ziehen.
- Wirkungskontrollen sollten zu Beginn oder noch besser zusammen mit der Massnahme geplant werden.
- Biologische Wirkungskontrollen sind an Standorten, an welchen weitere Ursachen die Biologie belasten, limitiert. Weitere Ursachen für die Belastung können sein: weitere ARA im Einzugsgebiet, intensiv genutzte landwirtschaftliche Gebiete.
- Ebenfalls können die Aussagen limitiert sein, wenn mehrere Massnahmen gleichzeitig ergriffen werden, sei dies i) auf der ARA selbst (z.B. zusätzliche Denitrifikationsstufe), ii) bei der untersuchten Stelle im Gewässer (z.B. Renaturierungen) oder iii) im Einzugsgebiet (z.B. Pestizidreduktionsmassnahmen in der Landwirtschaft)
- Ebenfalls limitiert sind die Aussagen, wenn sich der Abwasserstrom aufgrund eines Zusammenschlusses massgeblich erhöht.
- Herkömmliche Methoden sind für die Beurteilung des Einflusses von Mikroverunreinigungen oft zu wenig aussagekräftig (z.B. IBCH oder Diatomeen-Index eignen sich nicht).

Auswahl der Untersuchungsstellen

Als Untersuchungsdesign hat sich ein Vorgehen in Anlehnung an das BACI-Design (Before-After-Control-Impact) als zielführend erwiesen (Design aus EcolImpact Studie - [link](#)). Abbildung C gibt eine Übersicht zum Vorgehen. Im Gewässer werden drei biologische Untersuchungsstellen vorgeschlagen, zwei oberhalb (BO1, BO2) und eine Unterhalb der ARA (BU1). Die zwei Stellen oberhalb der ARA dienen als Kontrolle für die natürliche Variation.

Bei der Auswahl der Stellen muss darauf geachtet werden, dass

- Die Messstellen morphologisch ähnlich sind.
- Wenn möglich keine weiteren Quellen zwischen BO1 und BU1 vorkommen. Weitere Quellen können z.B. landwirtschaftliche Drainagerohre oder Mischwasserüberläufe sein. In der Regel haben ARA aber eigene Mischwasserüberläufe, dieser Einfluss kann daher oft nicht ganz ausgeschlossen werden.



- An der Stelle unterhalb (BU) eine vollständige Durchmischung des Gewässers und der Einleitung vorliegt.

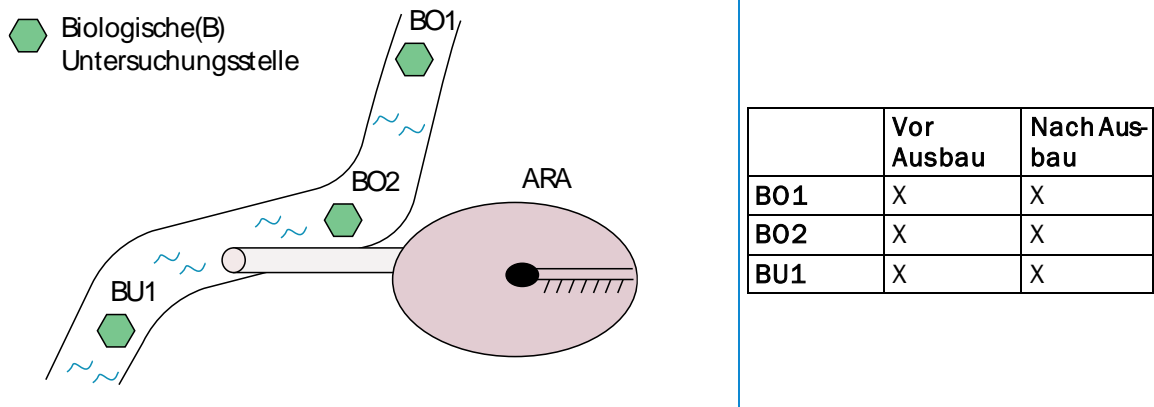


Abbildung C: Studiendesign für biologische Untersuchungen zur Wirkungskontrolle eines ARA-Ausbaus.

Zeitpunkt der Untersuchung

Die drei Probenahmestellen sollten mindestens einmal 1 Jahr vor und 2 Jahren nach dem Ausbau der ARA untersucht werden. Ob sich gewisse Änderungen erst nach einigen Jahren zeigen, und daher ein erneuter Untersuch nach 5 oder 10 Jahren Sinn macht, ist zurzeit noch ungeklärt

Wie bereits oben erwähnt hat in der Regel jede ARA einen Mischwasserüberlauf, es ist daher von Vorteil, die Probenahme in einer Trockenperiode zu machen. Eine Probenahme in einer Trockenperiode hilft zudem, die Einflüsse landwirtschaftlicher Einträge gering zu halten [Götz 2010].



Anhang D

Fliessgewässer-Messstellen mit ARA im Einzugsgebiet

Tabelle D: Details zu 19 Fliessgewässer-Messstellen mit ARA im Einzugsgebiet

Name Fliessgewässer	Name Messstation	Quelle	Abwasseranteil bei Q347	
			vor ARA-Ausbau	2040, nach ARA-Ausbau ²
Aare	Brugg	NAWA	8%	3%
Aubonne	Allaman, Le Coulet	Kt. VD	14%	2%
Birs	Birskopf	NAWA	10-20%	5-10%
Boiron de Morges	Lac	NAWA	10-20%	Rund 10%
Broye	Domdidier	Kt. VD	10-20%	1-5%
Furtbach	Nach ARA Otelfingen	NAWA	80%	16%
Glatt (Thur)	Niederuzwil, Buechental	Kt SG	20-50%	0%
Glatt (Zürich)	Rheinsfelden	NAWA	61%	11%
Landgraben	Trasadingen	NAWA	50-100%	0%
Mönchaltorfer Aa	Mönchaltorf	NAWA	96%	0%
Rhein	RÜS, Weil am Rhein	NAWA	7.2%	3%
Rheintaler Binnenkanal	St. Margrethen	Kt SG	9%	6%
Rhône	Porte du Scex	NAWA	2%	1%
Thièle	Yverdon, Les Parties	Kt.VD	1-5%	1-5%
Thur (Andelfingen)	Andelfingen, Brücke	NAWA	20%	9%
Thur (Niederbüren)	Niederbüren, Golfplatz	Kt. SG	10-20%	
Urtenen	Kernenried	NAWA	54%	0%
Vedeggio	Agno, Muzzano	NAWA	62%	0%
Venoge	Ecublens, Les Bois	NAWA	28%	10%

Die Messungen dieser Fliessgewässer-Messstellen wurden von [Gulde 2024b] ausgewertet.

² Damit ist der Anteil bezüglich organischer Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser gemeint.



Anhang E

Eignung von NAWA-FRACHT-Messstationen als zusätzliche Standorte für die Untersuchung der Frachtreduktion

Wie im Haupttext beschrieben eignen sich derzeit drei Schweizer Gewässermessstationen Rhein (Weil), Aare (Brugg) und Rhône (Porte du Scex) zur Untersuchung der Frachtreduktion durch den ARA-Ausbau. Dies, weil die Mikroverunreinigungen in abflussproportionalen Zweiwochenmischproben, bei Aare und Rhône, oder zumindest in täglichen zeitproportionalen-Proben, im Rhein, gemessen werden. Allerdings hat diese Auswahl an Messstationen Schwachstellen. Die Stationen Rhein (Weil am Rhein) und Aare (Brugg) haben grosse Einzugsgebiete mit rund 440 resp. 180 Schweizer ARA. Die Reduktion der Fracht wird hier erst sichtbar, wenn mehrere ARA ausgebaut worden sind, die gemeinsam einen relevanten Anteil des Abwassers im Fluss behandeln. Da die beiden Flüsse auch grosse Seen in ihren Einzugsgebieten haben, ist die Wirkung des Ausbaus von ARA vor den Seen entweder um die jeweilige Aufenthaltszeit des Wassers im See verzögert messbar oder sie ist für MV, die mit der Zeit im Gewässer abgebaut werden, gar nicht messbar. Der Rhein beinhaltet zudem gereinigtes Abwasser aus Deutschland und Österreich. Dies erschwert die Zuordnung von beobachteten Effekten zu den Schweizer Massnahmen. Daher wären zusätzliche abflussproportionale Messstationen an Fließgewässern ohne Seen im Einzugsgebiet wünschenswert.

Prinzipiell geeignet dafür sind die NAWA-Fracht-Messstationen, da sie eine abflussproportionale Probenahme für die Nährstoff-Messung durchführen. Die folgende Tabelle E zeigt, welche der NAWA-Fracht-Messstationen auch für die Untersuchung der Frachtreduktion durch den ARA-Ausbau geeignet sind.

Thur (Andelfingen) ist geeignet: Die Thur bei Andelfingen führt das gereinigte Abwasser von knapp 400'000 Personen mit sich. Im Gegensatz zu den bestehenden NAWA-FRACHT-MV-Stationen an Aare (Brugg) und Rhein (Weil) hat sie den Vorteil, dass das Einzugsgebiet überschaubar, aber auch nicht sehr klein ist und, dass es keine Seen enthält. Zudem wird nach Abschluss des Ausbaus über die Hälfte des gereinigten Abwassers in der Thur (Andelfingen) von MV-Stufen behandelt werden. Es sind zwar bereits vier MV-Stufen in Betrieb, aber die verbleibenden Ausbauten werden noch über einen Drittel der Gesamtabwassermenge, die in die Thur bei Andelfingen fliesst, behandeln. Zudem werden die Anlagen nicht zeitnah in Betrieb gehen, so dass es möglich ist, genug Messdaten vor den verbleibenden Ausbauten zu sammeln und die Wirkung der Ausbauten zu beobachten.

Murg (Frauenfeld) ist geeignet, hat aber ein kleines Einzugsgebiet: Die Murg führt das Abwasser von gut 50'000 Personen, welches von drei ARA gereinigt wird. Das EZG ist damit eher klein. Wie bei der Thur befinden sich keine Seen im EZG der Murg. Zwei der drei ARA im Einzugsgebiet wurden für den ARA-Ausbau ausgewählt, wobei die ARA Aardorf bereits eine Ozonung betreibt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

eawag
aquatic research ooo



Die geplante MV-Stufe der ARA Münchwilen wird aber noch über 40% der Gesamtabwassermenge, die in die Murg bei Frauenfeld eingeleitet wird, behandeln. Damit könnte auch an dieser Messstation die Wirkung des ARA-Ausbaus der ARA Münchwilen beobachtet werden

Aare (Hagneck) ist bedingt geeignet, da sich die beiden Stauseen Schiffenen- und Wohlensee im Einzugsgebiet befinden: Ginge es nur um die beiden grossen Seen, Brienzer und Thunersee, wäre diese Messstation trotz dieser geeignet, da nur 20% des Abwassers durch die beiden grossen Seen fliesst und alle geplanten MV-Stufen unterhalb von Brienzer und Thunersee liegen. Jedoch befinden sich vor der Messstation noch der Schiffenen- und der Wohlensee. Diese sind zwar viel kleiner, aber es ist unklar, wie stark sich Gewässerprozesse in diesen Seen auf die Mikroverunreinigungen auswirken. Acht der neun geplanten MV-Stufen befinden sich vor diesen beiden Stauseen. Abgesehen davon wäre die Aare bei Hagneck für die Untersuchung der Frachtreduktion geeignet. Denn bisher ist erst eine der geplanten neun MV-Stufen in Betrieb. Die acht verbleibenden Ausbauten werden noch über Dreiviertel der Gesamtwassermenge, die in die Aare vor Hagneck eingeleitet wird, behandeln.

Tabelle E: Eignung von NAWA-FRACHT-Messstationen als zusätzliche Standorte für die Untersuchung der Frachtreduktion

Messstation	Zeitraum	Messungen in NAWA TREND	Nährstoff-Messungen	MV-Messung, Beprobung proportional zu	Abfluss (m³/s)	Anteil Abwasser bei Niedrigwasser (%)	Eignung zur Untersuchung der Frachtreduktion	Begründung
Thur - Andelfingen	unbefristet	X	X	Zeit	47	23	ja	Siehe Text Anhang E
Murg - Frauenfeld	2023-20XX	X	X		4.1	38	ja	Siehe Text Anhang E
Aare - Hagneck	unbefristet	X	X		177	5	bedingt	Siehe Text Anhang E
Reuss - Mellingen	2024-20XX	X	X		140	8	nein	Relevante Abwassermenge fliesst durch See
Glatt - Rheinsfelden	unbefristet	X	X	Zeit	8.2	46	nein	Relevante Abwassermenge fliesst durch See
Rhein - Rekingen	unbefristet	X	X		443	4	nein	Relevante Abwassermenge fliesst durch See und relevante Abwassermenge stammt aus dem Ausland.
Rhône - Chancy	unbefristet	X	X		342	5	nein	Relevante Abwassermenge fliesst durch See und relevante Abwassermenge stammt aus dem Ausland.
Rhein - Diepoldsau	unbefristet	X	X		233	3	nein	Abwassermenge, die durch eine MV-Stufe fließen wird, ist gering im Vergleich zur Gesamtabwassermenge. Zudem stammt eine relevante Abwassermenge aus dem Ausland.
Doubs Ocourt	2024-20XX		X		?	5	nein	Verdacht, dass Abwasser der MV-Stufe versickert
Ticino - Riazzino	2022-20XX	X	X		73	1	nein	keine MV-Stufe geplant im EZG
Inn - S-chanf	unbefristet	X	X		21	3	nein	keine MV-Stufe geplant im EZG
Kleine Emme - Littau	2024-20XX	X	X		15	6	nein	keine MV-Stufe geplant im EZG
Sitter - Appenzell	2023-20XX	X	X		3.7	0	nein	keine ARA im EZG
Lümpenbach - Alpthal	unbefristet		X		0.06	0	nein	keine ARA im EZG
Erlenbach - Alpthal	unbefristet		X		0.06	0	nein	keine ARA im EZG



Anhang F

Details bei der Auswertung der verschiedenen Messgrössen

Details zur Bestimmung des Reinigungseffektes

Zu Kapitel 3.3 Überprüfung des Reinigungseffekts anhand von 12 Leitsubstanzen.

Anzahl der Probenahmen zur Messung des Reinigungseffektes: Im ersten Jahr nach Inbetriebnahme werden ARA > 2'000 Einwohnerwerten (EW) mindestens viermal pro Jahr, Anlagen > 10'000 EW mindestens sechsmal pro Jahr und Anlagen > 50'000 EW mindestens zwölfmal pro Jahr beprobt.

Bei der Berechnung des Reinigungseffektes haben die Kantone eine gewisse Flexibilität bei der Substanzauswahl, denn die Substanz muss in ausreichend hoher Konzentration vorliegen. Das bedeutet, dass im ARA-Zulauf die Konzentration mindestens zehnmal höher sein muss als die Bestimmungsgrenze der Substanz im ARA-Ablauf. In diesem Fall ist die Berechnung einer 90%-igen Elimination sichergestellt. Sind weniger als sechs Substanzen in einer ausreichenden Konzentration vorhanden, können die Kantone, in Absprache mit dem BAFU, Ersatzsubstanzen bestimmen.

Bei der Berechnung der Fracht ist einiges zu beachten

Zu Kapitel 4.1.1 Reduktion der Fracht von Mikroverunreinigungen, die (sehr) gut durch den ARA-Ausbau entfernt werden:

Für die Auswertung soll die Reduktion der Jahresfracht vor Ausbau mit der nach Ausbau für jede MV verglichen werden $[\text{gemessene_Frachtreduktion} = (\text{Jahresfracht_vor_Ausbau} - \text{Jahresfracht_nach_Ausbau}) / \text{Jahresfracht_vor_Ausbau}]$. Im Zuge dieser Auswertung soll überprüft werden, ob die Methode der IKSR³, die das Programm Trendanalyst empfiehlt [IKSR 2022], geeignet ist.

Für die Interpretation der Fracht muss beachtet werden:

- ob der Eintrag der jeweiligen MV konstant geblieben ist. Dies kann beispielsweise durch die Messungen im ARA-Zulauf oder über Verkaufszahlen überprüft werden.
- ob die jeweilige MV im Gewässer abgebaut wird. Dies betrifft beispielsweise Diclofenac, welches durch das Sonnenlicht im Sommer abgebaut wird. Gerade in Seen ist dieser Abbau nahezu vollständig. Da die genannten Messstellen unterhalb von Seen liegen, können mit solchen Substanzen auch nur die Wirkung von MV-Stufen unterhalb von Seen

³IKSR: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

eawag
aquatic research ooo



überprüft werden [Gulde 2024b]. Auch Hydrochlorothiazid, Venlafaxin, Metoprolol, Sitagliptin und Sotalol könnten davon betroffen sein⁴.

- dass sich der Ausbau von ARA oberhalb von Seen an den Messstellen unterhalb der Seen verzögert um die Aufenthaltszeit der Seen auswirkt. Dies betrifft v.a. Substanzen, die in den Seen nicht signifikant abgebaut werden.

Ein homogener Datensatz ist erforderlich bei der Berechnung von Indikatoren

Bei der Berechnung von Indikatoren ist zu beachten, dass ein homogener Datensatz verwendet werden muss [Doppler 2024]. Das heisst, dass die gleichen Standorte, der gleiche Zeitraum im Jahr und die gleichen Stoffe betrachtet werden müssen. Zudem müssen die Daten pro MV auf Messungen mit den gleichen analytischen Bestimmungsgrenzen basieren.

⁴ Hinweise darauf geben die saisonalen Frachtverläufe an Aare und Rhein. In den Sommermonaten ist dort eine jeweils eine geringere Fracht als im Winter, obwohl dies in den Kläranlagen nicht so ist. Das deutet daraufhin, dass diese Mikroverunreinigungen ähnlich wie Diclofenac photolytisch abgebaut werden. Es ist zu überprüfen, ob diese Substanzen ebenfalls nahezu vollständig in den Seen abgebaut werden.