Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

Association suisse des professionnels de la protection des eaux

Associazione svizzera dei professionisti della protezione delle acque

Swiss Water Association

BETRIEB VON OZONANLAGEN AUF ARA: ERKENNEN VON KRITISCHEN ENTWICKLUNGEN IM EINZUGSGEBIET

Empfehlung

Stand: 10. August 2021

2021

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.

Autoren

Pascal Wunderlin, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen», Glattbrugg
Julie Grelot, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen», Glattbrugg

Projektteam

Christian Abegglen, ERZ, Zürich
Antoine Benacloche, Stadt Neuchâtel
Hélène Bleny (früher BAFU), jetzt uwe, Luzern
Damian Dominguez, BAFU, Bern
Edith Durisch-Kaiser, AWEL, Zürich
Claude-Alain Jaquerod DGE, Lausanne
Nadir Kheyar, SECOE, Genève
Hugues Lecoultre, SENE, Neuchâtel
Patrick Locher, AWA, Bern
Valentin Lanz, AFU, Herisau
Reto Manser, AWA, Bern
Jonas Margot, RWB, Yverdon
Pauline Perdaems, SIG, Genève
Alessandro Piazzoli, Envilab AG, Zofingen
Pascal Ramaciotti, SIG, Genève
Max Schachtler, ARA Neugut, Dübendorf
Denis Thonney, SIGE, Vevey
Urs von Gunten, Eawag, Dübendorf

Herausgeber

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

Titelfoto

Klärwerk Werdhölzli, ERZ, Zürich

Bezugsquelle

VSA, Europastrasse 3, Postfach, CH-8152 Glattbrugg,
Telefon 043 343 70 70, sekretariat@vsa.ch, www.vsa.ch

INHALT

1 Zusammenfassung 5

2 Hintergrund 6

3 Gesetzliche Grundlagen 6

4 Oxidationsnebenprodukte 7

5 Relevante Akteure 7

6 Vorgehen und zu überwachende Aspekte 8

6.1 Allgemeine Anmerkungen 8
6.2 Einzugsgebiet 10
6.2.1 Periodischer Austausch zwischen den relevanten Akteuren im ARA-Einzugsgebiet etablieren 10
6.2.2 Aktuelle Übersicht über abwasserrelevante Industrie-/Gewerbebetriebe 10
6.3 ARA und Ozonung 11
6.3.1 Erkennen von Industrieeinflüssen anhand der ARA-Betriebsdaten 12
6.3.2 Erkennen von Industrieeinflüssen anhand der Betriebsdaten der Ozonung 12
6.4 Bekannte, problematische Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen 12
6.5 Unbekannte, toxische Oxidationsnebenprodukte 12

7 Umsetzung der Überwachung 14

7.1 Einbezug des bestehenden Wissens 14
7.1.1 ARA mit überschaubarem, unproblematischem Einzugsgebiet 14
7.1.2 ARA mit komplexerem Einzugsgebiet und/oder möglichen problematischen (industriell-gewerblichen) Einflüssen auf die Ozonung 14
7.2 Anpassung der Überwachung und Ableitung des weiteren Vorgehens 16
7.2.1 Unauffälliges Abwasser: Ozonung weiterhin geeignet 16
7.2.2 Veränderungen der Abwasserzusammensetzung mit möglichen Auswirkungen auf die Ozonung 16

8 Probenahme und Repräsentativität 17

9 Zentrale Sammlung der Daten 17

10 Auskunft bei Fragen und Unklarheiten 17

11 Anhang 18

11.1 Anhang 1: Beispielhafte Illustration der Kommunikationsabläufe 18
11.2 Anhang 2: Erkennen von Industrieeinflüssen auf ARA und möglichen Auswirkungen auf die Ozonung 19
11.3 Anhang 3: Vorschläge für mögliche Massnahmen 24

1 ZUSAMMENFASSUNG

Die Ozonung hat sich als Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Abwasserreinigungsanlagen (ARA) bewährt. Bei der Ozonung von Abwasser mit einer speziellen Belastung (z.B. bedeutende Industrieabwassereinleitungen) können neben dem erwünschten Spurenstoffabbau jedoch auch problematische Oxidationsnebenprodukte (z.B. Bromat, Nitrosamine) in relevanten Mengen gebildet werden. **Der VSA empfiehlt daher den kantonalen Fachstellen sowie den ARA-Betreibern mit Ozonung, die Abwasserzusammensetzung und deren Eignung für die Ozonung gezielt zu überwachen.** Dieses Vorgehen umfasst folgende Bereiche:

- Einzugsgebiet (präventives Vorgehen)
- ARA und Ozonung
- Bekannte, problematische Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen im ARA Zu-/Ablauf
- Unbekannte, toxische Oxidationsnebenprodukte im ARA-Ablauf

Bei komplexen Einzugsgebieten oder bei möglichen problematischen (industriell-gewerblichen) Einflüssen auf die Ozonung ist die Überwachung entsprechend anzupassen und zu intensivieren. Bestehen Hinweise, dass sich die Abwasserzusammensetzung verändert hat, ist zu prüfen, ob die Auswirkungen auf die Ozonung kritisch sind. Kritische Entwicklungen sind insbesondere, wenn unerwünschte Oxidationsnebenprodukte (z.B. Bromat, Nitrosamine) in relevanten Mengen entstehen oder die Toxizität durch die Behandlung mit Ozon zunimmt. In solchen Situationen ist die Ursache zu identifizieren und nötigenfalls sind entsprechende Massnahmen zu treffen.

Dieses Dokument richtet sich an die Vollzugsbehörden, an die Betreiber von Ozonanlagen auf kommunalen ARA, an die kommunalen Entscheidungsträger und an weitere relevante Akteure, wie beispielsweise Industriebetriebe mit abwasserrelevanten Prozessen.

5

2 HINTERGRUND

Organische Spurenstoffe oder Mikroverunreinigungen (in diesem Dokument als MV bezeichnet) können in unseren Flüssen und Seen nachteilige Auswirkungen auf Wasserlebewesen und die Trinkwasserressourcen haben. Mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination dieser Stoffe aus dem kommunalen Abwasser wird die Wasserqualität in den Gewässern signifikant verbessert. Als mögliche Verfahren steht die Adsorption an Aktivkohle oder die Ozonung zur Verfügung[1]. Neben anderen Verfahren ist die Ozonung ein etabliertes, geeignetes und wirtschaftliches Verfahren für diese Anwendung.

Die Verfahrenswahl ist unter Berücksichtigung der jeweiligen spezifischen Randbedingungen durchzuführen. Das können beispielsweise die Platzverhältnisse auf einer ARA oder das bestehende biologische Reinigungsverfahren sein. Bei Verfahren mit Aktivkohle ist darauf zu achten, dass der Verlust von Aktivkohle in das Gewässer minimal ist. Es ist daher empfohlen, bei diesen Verfahren den Feststoff-Anteil im Ablauf der ARA mit GUS- und Trübungsmessungen als auch mit direkten Aktivkohle-Schlupf-Messungen zu überwachen[2].

Eine spezifische Randbedingung bei der Ozonung ist die Abwasserzusammensetzung. Denn bei kommunalen Abwässern mit einer speziellen Belastung, z.B. aufgrund bedeutender Industrie- oder Gewerbeabwassereinleitern, können durch die Ozonung problematische Stoffe, sogenannte Oxidationsnebenprodukte, in relevanten Mengen gebildet werden. Daher wird im Rahmen der Verfahrenswahl abgeklärt, ob ein bestimmtes Abwasser für eine Ozonbehandlung geeignet ist[3]. **Damit allfällige relevante Veränderungen auch nach der Inbetriebnahme der Ozonung erkannt werden, ist die Abwasserzusammensetzung gezielt zu überwachen.** Dazu wurde das vorliegende Dokument erarbeitet.

In diesem Dokument wird die Inbetriebnahme als der Zeitpunkt definiert, wo die Ozonung zuverlässig funktioniert und der Reinigungseffekt von 80% bezüglich organischer Spurenstoffe stabil eingehalten wird. Eine Abweichung vom «gewohnten Betrieb» wird als eine dauerhafte Änderung der Abwasserzusammensetzung verstanden. Einmalige Ereignisse wie Störfälle oder Havarien werden in diesem Dokument nicht betrachtet und müssen im Einzelfall beurteilt werden.

Empfehlung des VSA

Der VSA empfiehlt das in diesem Dokument beschriebene Vorgehen zum Erkennen von kritischen Entwicklungen in der Abwasserzusammensetzung durchzuführen, wenn eine Ozonung auf der kommunalen ARA in Betrieb ist. Im Falle von relevanten Veränderungen der Abwasserzusammensetzung ist deren Auswirkung auf die Ozonung zu prüfen und bei Bedarf sind entsprechende Massnahmen zu treffen. Auf diese Weise ist langfristig ein sachgemässer Gewässerschutz sichergestellt.

3 GESETZLICHE GRUNDLAGEN

Bei der Umsetzung einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur MV-Elimination gelten u.a. folgende gesetzliche Grundlagen: Art. 3 Gewässerschutzgesetz (GSchG[4]; Sorgfaltspflicht) und Art. 6 GSchG (Verschmutzungsverbot).

Sie sagen aus, dass keine Stoffe in ein Gewässer eingebracht werden dürfen, die nachteilige Einwirkungen haben oder das Gewässer verunreinigen können. Demzufolge ist die Bildung von problematischen beziehungsweise unerwünschten Stoffen (sogenannte Oxidationsnebenprodukte) bei der Behandlung eines Abwassers mit Ozon zu minimieren.

[1] Wunderlin, P., Meier, A., Grelot, J. (2017). Elimination von Mikroverunreinigungen auf ARA – Aktueller Stand der Verfahren und künftige Entwicklungen. Aqua & Gas 11/2017: 60-70.
[2] VSA (2019). Aktueller Stand Beurteilung Aktivkohle-Rückhalt. www.micropoll.ch
[3] VSA (2021). Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» Version 2. www.micropoll.ch
[4] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG) vom 24. Januar 1991 (Stand am 1. Januar 2021), 814.20

Die zuständige Behörde überprüft periodisch, ob die Industrie- und Gewerbebetriebe und die ARA die Einleitanforderungen einhalten und ob diese einen sachgemässen Gewässerschutz gewährleisten (Art. 15 GSchV[5]).

Die Einleitbewilligungen für Industrieabwasser erteilen die kantonalen Vollzugsbehörden gestützt auf Anhang 3.2 GSchV. Kann die ARA aufgrund von Industrieabwassereinleitungen ihre Einleitanforderungen nicht einhalten oder wird der ARA-Betrieb gestört, verschärft die Behörde die Vorgaben beim verantwortlichen Industriebetrieb (Art. 7 Abs. 2 GSchV).

4 OXIDATIONSNEBENPRODUKTE

Bei einer Ozonung werden die MV durch Ozon und OH-Radikale umgewandelt. Typischerweise bleiben unproblematische Umwandlungsprodukte der Spurenstoffe, sogenannte Transformationsprodukte, zurück. Diese haben keine oder deutlich geringere Effekte als die Ausgangssubstanz.

Zusätzlich entstehen sogenannte Oxidationsnebenprodukte aus den organischen und anorganischen Abwasserinhaltsstoffen. Die meisten davon sind biologisch abbaubar und lassen sich durch die biologisch aktive Nachbehandlungsstufe[6] (z.B. Sandfiltration) wieder eliminieren. Beispiele solcher Stoffe sind Aldehyde, Ketone oder organische Säuren[7]. Bei der Behandlung von Abwässern mit stark industriell-gewerblichem Einfluss können zudem relevante Mengen an problematischen (potenziell toxischen) Oxidationsnebenprodukten wie Bromat oder Nitrosaminen gebildet werden. In der Nachbehandlungsstufe werden diese nur ungenügend abgebaut. Eine Ozonbehandlung ist bei diesen Abwässern nicht geeignet.

5 RELEVANTE AKTEURE

Industriell-gewerbliche Aktivitäten im Einzugsgebiet einer ARA können sich auf den Betrieb der Ozonung auswirken. In Tabelle 1 werden die wichtigsten Akteure benannt und deren Rollen beschrieben. In einzelnen Kantonen oder Gemeinden kann dies abweichen.

Tabelle 1. Übersicht über die Akteure und deren Zuständigkeiten bei der Realisierung und dem Betrieb der Ozonung (Normalfall Schweiz; Ausnahmen sind möglich wie z.B. Festlegung von betrieblichen Einleitbewilligungen durch Gemeinde).

Akteure	Aufgaben
Industrie-/Gewerbebetrieb	• Einhalten der vorgegebenen Einleitbedingungen. • Keine Störung oder Beeinträchtigung des Betriebs der öffentlichen Kanalisation und zentralen ARA verursachen. • Proaktive Kommunikation mit der jeweiligen ARA. • Meldepflicht gegenüber der kantonalen Behörde bei der Umstellung eines abwasserrelevanten Prozesses, der eine Anpassung der Einleitbewilligung erfordert. • Information an die Lieferanten von Chemikalien und Produkten, die bekannten und problematischen Inhaltsstoffe zu ersetzen.
ARA/Abwasserverband	• Einhalten der vorgegebenen Einleitbedingungen. • Proaktive Kommunikation mit relevanten Industriebetrieben im Einzugsgebiet.

[5] Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2021), 814.201
[6] VSA (2018). Verfahrensüberblick zur biologischen Nachbehandlung bei der Ozonung. www.micropoll.ch
[7] Lee, Y., von Gunten U. (2016). Advances in predicting organic contaminant abatement during ozonation of municipal wastewater effluent: reaction kinetics, transformation products, and changes of biological effects. Environmental Science: Water Research and Technology, 2, 421-442.

7

	• Meldung der kantonalen Behörde von ausserordentlichen Ereignissen mit (potenziell) negativen Auswirkungen auf den ARA-Betrieb (z.B. Betriebsstörungen) oder auf die Reinigungsleistung (Überschreitung von Einleitanforderungen).
Kantonale Behörde(n) **(Fachbereiche Abwasserreinigung und betrieblicher Umweltschutz)**	• Erteilung der Einleitbewilligung für Industrie-/Gewerbebetriebe und ARA. • Überprüfung, ob ein neuer Industriebetrieb oder bei einem bestehenden Betrieb die Umstellung eines abwasserrelevanten, industriellen Prozesses Auswirkungen auf die Ozonung hat. • Ordnet bei negativen Auswirkungen auf die ARA Massnahmen an. • Sensibilisierung der relevanten Industrie-/Gewerbebetriebe bezüglich der Ozonung auf der ARA.
Kommunale Behörde(n)	• Entscheidung über künftige Entwicklungen im Einzugsgebiet (z.B. Standortfördernde Massnahmen für Industriebetriebe). • Weiterleitung von gewässerschutzrelevanten Baugesuchen an die zuständige kantonale Behörde. • Initiierung der Kommunikation zwischen ARA und den relevanten Industriebetrieben.

Als weitere relevante Akteure sind die unterliegenden Trinkwasserversorger zu nennen. Denn unterliegende Trinkwasserfassungen können durch problematische Oxidationsnebenprodukte verunreinigt werden. Im Weiteren können sich solche Stoffe (z.B. Bromat) auf die Trinkwasseraufbereitung auswirken. Es ist daher zu empfehlen, bereits in der Planungsphase der MV-Stufe mit den entsprechenden Wasserversorgungen Kontakt aufzunehmen.

6 VORGEHEN UND ZU ÜBERWACHENDE ASPEKTE

6.1 Allgemeine Anmerkungen

Um relevante Veränderungen der Abwasserzusammensetzung rechtzeitig zu erkennen sind die abwasserrelevanten Aktivitäten im ARA-Einzugsgebiet zu überwachen. Dabei wird unterschieden zwischen einem präventiven Vorgehen und einem parameterbasierten Monitoring (Abbildung 1). Das Vorgehen gliedert sich in folgende vier Bereiche:

- **Einzugsgebiet** (präventives Vorgehen): eine aktuelle Übersicht über die abwasserrelevanten, industriell-gewerblichen Tätigkeiten im Einzugsgebiet ist notwendig. Dazu ist ein regelmässiger Austausch (mindestens einmal jährlich) zwischen ARA, den relevanten Industrie-/Gewerbebetrieben sowie der kommunalen Behörde und der kantonalen Behörde notwendig.
- **ARA und Ozonung** (parameterbasiertes Monitoring): Der Betrieb der ARA und der Ozonung wird anhand ausgewählter Parameter überwacht und gesteuert. Diese Daten liefern wichtige Informationen über Abweichungen der «gewohnten» Abwasserzusammensetzung.
- **Bekannte, problematische Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen** (parameterbasiertes Monitoring): Die bekannten und quantifizierbaren, problematischen Oxidationsnebenprodukte sind periodisch im ARA-Zu-/Ablauf zu überwachen. Dazu gehören Bromat und Nitrosamine, sowie die Vorläufersubstanz Bromid.

- **Unbekannte, toxische Oxidationsnebenprodukte** (parameterbasiertes Monitoring): Unbekannte, toxische Oxidationsnebenprodukte sind chemisch-analytisch nicht erfass- und quantifizierbar. Diese sind daher mittels geeigneter Biotests zu erfassen.

Der Kosten- und Zeitaufwand der Überwachung ist so gering wie möglich zu halten. Daher ist es wichtig, dass vorhandene und standardmässig erhobene Informationen und ARA-Betriebsdaten einbezogen werden. Zudem sind bereits etablierte Kommunikationswege (z.B. zwischen ARA und einzelnen relevanten Industriebetrieben im Einzugsgebiet) zu nutzen und bei Bedarf zu intensivieren. Der Kosten- und Zeitaufwand erhöht sich bei einem komplexen Einzugsgebiet oder bei relevanten Veränderungen der Abwasserzusammensetzung und entsprechenden weitergehenden Abklärungen.

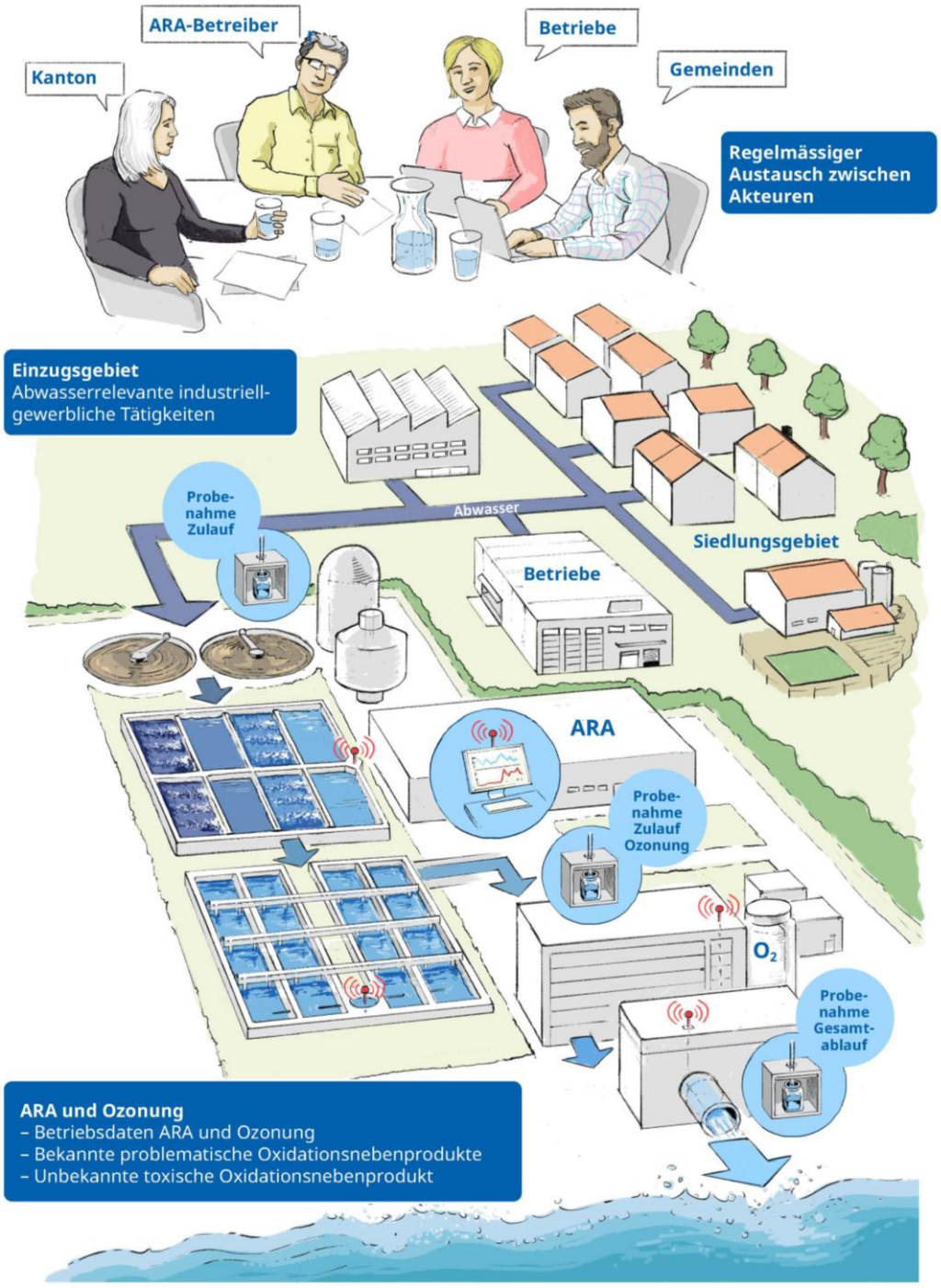

Abbildung 1. Abwasserrelevante industriell-gewerbliche Aktivitäten im ARA-Einzugsgebiet müssen bekannt sein. Dazu ist ein regelmässiger Austausch zwischen den Akteuren notwendig. Zudem lassen sich anhand ausgewählter Betriebsparameter der ARA und Ozonung, sowie anhand relevanter Oxidationsnebenprodukte die industriell-gewerblichen Einflüsse auf die Abwasserzusammensetzung erkennen.

9

6.2 Einzugsgebiet

6.2.1 Periodischer Austausch zwischen den relevanten Akteuren im ARA-Einzugsgebiet etablieren

Ein regelmässiger Austausch zwischen ARA, Industrie, kommunaler und kantonaler Behörde ist wichtig und wird bereits in vielen Fällen praktiziert. Diese Gespräche sind auch für die Ozonung zu nutzen. Nachfolgend ist eine Übersicht über die Informationsflüsse zwischen diesen Akteuren gegeben. Im Anhang 1: Beispielhafte Illustration der Kommunikationsabläufe ist beispielhaft illustriert wie dieses präventive Vorgehen in der Praxis umgesetzt wird.

- **Informationsfluss zwischen ARA und relevanten Industriebetrieben:** Ein direkter Kontakt zwischen der ARA und den relevanten Industriebetrieben im Einzugsgebiet ist wichtig. Vielmals werden solche Treffen bereits durchgeführt, weil dies nicht nur im Zusammenhang mit einer Ozonung wichtig ist. Die ARA lernt dabei die industriell-gewerblichen, abwasserrelevanten Prozesse kennen. Die Industriebetriebe ihrerseits entwickeln ein Verständnis über problematische Stoffe für den ARA-Betrieb. Ein gutes Vertrauensverhältnis ist eine wichtige Basis für eine konstruktive Zusammenarbeit. Es empfiehlt sich daher, dass solche Treffen regelmässig (z.B. einmal jährlich) stattfinden. Bei kleinen Kläranlagen ist eine Unterstützung durch die kantonale Behörde wichtig.
- **Informationsfluss zwischen kommunaler und kantonaler Behörde:** Die kommunale Behörde informiert die kantonale Vollzugsbehörde über abwasserrelevante, industriell-gewerbliche Veränderungen, von denen sie durch Baugesuche Kenntnis hat. Die kantonale Behörde prüft mögliche Auswirkungen auf die ARA beziehungsweise auf die Ozonung und erteilt die Einleitbewilligung.
- **Informationsfluss zwischen kantonaler Vollzugsbehörde und relevanten Industriebetrieben:** Die kantonale Vollzugsbehörde pflegt im Rahmen der behördlichen Überwachung einen periodischen Austausch mit den relevanten Industriebetrieben. Die Häufigkeit dieses Austauschs hängt von der Dynamik und Relevanz des jeweiligen Industriebetriebs ab und wird durch die kantonale Behörde definiert. Die kantonale Vollzugsbehörde leitet die relevanten Informationen bezüglich der Ozonung an diese Betriebe weiter und sensibilisiert diese hinsichtlich problematischer Abwasserinhaltsstoffe für die Ozonung.
- **Informationsfluss innerhalb der kantonalen Fachstellen:** Ein regelmässiger Austausch innerhalb der kantonalen Fachstellen (z.B. zwischen den Bereichen Abwasserreinigung, betrieblicher Umweltschutz, Gewässerqualität) ist zu empfehlen.

6.2.2 Aktuelle Übersicht über abwasserrelevante Industrie-/Gewerbebetriebe

Die kantonale Vollzugsbehörde kennt im Idealfall die industriell-gewerblichen Tätigkeiten im jeweiligen ARA-Einzugsgebiet sowie deren abwasserrelevante Prozesse. Bekannt sind den Behörden aber in den meisten Fällen nur die Konzentrationen und Frachten der Parameter mit numerischen Anforderungen gemäss GSchV Anhang 3.2[8]. Weitere Abwasserinhaltsstoffe wie beispielsweise Vorläufersubstanzen von problematischen Oxidationsnebenprodukten sind in der Regel unbekannt. Zudem kann sich die Abwasserzusammensetzung, abhängig von den industriell-gewerblichen Tätigkeiten, über die Zeit verändern (z.B. bei Lohnbetrieben).

Für die Ozonung können insbesondere Betriebe mit folgender Charakteristik relevant sein:

- **Betriebe mit hohen Frachten:** Solche Betriebe können Auswirkungen auf die ARA haben, weil sie einen relevanten Frachtanteil ausmachen. Umso relevanter sind solche Betriebe, wenn sie auf kleine oder mittelgrosse ARA einleiten mit entsprechend geringerer Verdünnung.
- **Betriebe mit grosser Stoffvielfalt:** Betriebe können sehr dynamisch sein bezüglich der stofflichen Zusammensetzung ihres Abwassers (z.B. Lohnhersteller), weil viele verschiedene Stoffe im Betrieb eingesetzt, hergestellt oder verarbeitet werden. Zudem können in einem Betrieb parallel mehrere Prozesse gleichzeitig ablaufen.

[8] Wunderlin, P., Gulde, R. (2021) Situationsanalyse «Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässer». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

- **Betriebe mit stossweisen Einleitungen (Chargenbetrieb):** Betriebe leiten ihr Abwasser entweder stossweise oder kontinuierlich ein. Insbesondere bei stossweisen Einleitungen gilt zu beachten, dass sich die Abwasserzusammensetzung entsprechend verändern kann.

Anhand folgender Aspekte sind potentiell relevante Industrie- und Gewerbebetriebe im ARA-Einzugsgebiet zu identifizieren (Aufzählung nicht abschliessend):

- Wie hoch sind die eingeleiteten Frachten an organischen Stoffen (CSB), Stickstoff und Phosphor in Bezug auf die Grösse der ARA? Hohe Frachten bedeuten jedoch nicht unbedingt negative Auswirkungen auf die Ozonung.
- Wie gross ist die Vielfalt an eingesetzten Stoffen in abwasserrelevanten Prozessen? Grosse Betriebe haben nicht zwingendermassen auch eine grosse Vielfalt an eingesetzten Stoffen.
- Wie umfassend ist das Wissen über Inhaltsstoffe im Betriebsabwasser? Grosse Betriebe im Bereich der chemisch-pharmazeutischen Industrie verfügen tendenziell über ein besseres Wissen über ihre eingesetzten Stoffe als andere Betriebe.
- Auf welche Abwasserinhaltsstoffe ist das betriebliche Abwassermanagement ausgerichtet? Problematischen Stoffen kann mit einem entsprechenden betrieblichen Abwassermanagement effektiv begegnet werden.
- Wie dynamisch ist der Betrieb? Grosse Betriebe haben nicht unbedingt eine hohe Stoffdynamik.
- Wie komplex ist das Einzugsgebiet? Wie viele abwasserrelevante Betriebe sind ansässig, die einen Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung der ARA haben können?

Im Fokus stehen Einleiter hinsichtlich Nitrosaminen und deren Vorläufersubstanzen (z.B. Amin-haltige Verbindungen), sowie hinsichtlich Bromid. Quellen von Nitrosaminen sind vielmals unbekannt. Anders sieht dies bei Bromid aus. Mögliche Bromid-Einleiter treten vor allem in folgenden Branchen auf (siehe auch[9,10]): Chemisch-pharmazeutische Industrie, Kehrichtverbrennungsanlagen mit nasser Rauchgaswäsche (Bromid stammt hier hauptsächlich aus Flammschutzmitteln), Deponien (Typ C, D und E), Sonderabfallverwertung, halboffene Kühlkreisläufe und weitere kleinere Quellen (z.B. chemische Toiletten). Eine nicht abschliessende Liste möglicher Quellen solcher Stoffe ist unter folgendem LINK verfügbar.

Für priorisierte Branchen und Prozesse[11] erarbeitet die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» gemeinsam mit Expertinnen und Experten in den kommenden Jahren eine Übersicht über die abwasserrelevanten Mikroverunreinigungen. Denn neben Bromat und den Nitrosaminen können aber auch andere Stoffe für die Ozonung relevant sein. Es empfiehlt sich daher bei den identifizierten Betrieben im Einzugsgebiet die abwasserrelevanten Stoffe genauer zu betrachten und diese hinsichtlich der Relevanz für die Ozonung zu beurteilen. Dazu kann die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» beigezogen werden.

6.3 ARA und Ozonung

Der Betrieb und das Monitoring der ARA und der Ozonung erfolgen anhand ausgewählter Parameter. Diese Daten sind hilfreich, um industriell-gewerbliche Einflüsse auf die Abwasserzusammensetzung zu erkennen. Es empfiehlt sich daher, ausgewählte Parameter während mindestens einem Jahr bei stabilem Betrieb (i.d.R. nach der Inbetriebnahme der Ozonung) zu analysieren. Auf diese Weise lässt sich der «gewohnte Betrieb» charakterisieren und normale Schwankungen lassen sich besser von anderen Einflüssen unterscheiden. Deutliche Abweichungen (z.B. periodisch wiederkehrende oder über eine längere Zeit andauernde Abweichungen) bei diesen Betriebsparametern, die nicht anderweitig erklärbar sind,

[9] VSA (2021). Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» Version 2. www.micropoll.ch
[10] Soltermann, F., Abegglen, Ch., Götz, Ch., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2016). Bromid im Abwasser: Bromatbildung bei der Ozonung – Einschätzung der zukünftigen Situation. Aqua & Gas 10/2016: 64–71.
[11] Wunderlin, P., Gulde, R. (2021). Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässer. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

11

liefern Hinweise auf eine potentiell relevante Veränderung der Abwasserzusammensetzung. Nicht zwingerdermassen sind solche Abweichungen jedoch auch problematisch für die Ozonung. Weitergehende Abklärungen sind daher notwendig (siehe Kapitel 7). Es empfiehlt sich daher geeignete (Betriebs-)Parameter laufend zu erfassen, auszuwerten und zu beurteilen. Solche Parameter müssen jedoch nicht zwingend zusätzlich erhoben werden, falls dies nicht bereits gemacht wird.

6.3.1 Erkennen von Industrieeinflüssen anhand der ARA-Betriebsdaten

Im ARA-Zu- und Ablauf werden Betriebsparameter regelmässig überwacht. Geeignete Parameter zum Erkennen von industriell-gewerblichen Einflüssen sind beispielsweise:

- Leitfähigkeit im typischen Tages-, Wochen-, Monatsgang im ARA-Zulauf
- Zulauf-Frachten an Stickstoff und Kohlenstoff…
    - im typischen Tages-, Wochen, Monatsgang
    - in Bezug auf die angeschlossenen Personen
    - im Verhältnis zueinander

Eine Zusammenstellung von weiteren geeigneten Parametern sowie von einzelnen Fallbeispielen ist im Anhang 2: Erkennen von Industrieeinflüssen auf ARA gegeben.

6.3.2 Erkennen von Industrieeinflüssen anhand der Betriebsdaten der Ozonung

Der Betrieb der Ozonung wird anhand von ausgewählten Parametern erfasst und gesteuert. Deutliche Abweichungen dieser Betriebsdaten vom «gewohnten» Rahmen können auf Veränderungen der Abwasserzusammensetzung hindeuten, sofern andere Ursachen auszuschliessen sind. Mögliche Parameter sind:

- O_2-Verbrauch / O_3-Produktion (in kg/d)
- Spezifische O_3-Dosierung (in mgO_3/mgDOC)
- UV-Absorbanz im Zu-/Ablauf der Ozonung
- Elimination von «ozonresistenten» Stoffen[12] (z.B. Sucralose; in %)

6.4 Bekannte, problematische Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen

Bekannte, problematische Oxidationsnebenprodukte (z.B. Bromat) und deren Vorläufersubstanzen (z.B. Bromid) sind im gereinigten Abwasser periodisch zu überwachen (siehe Kapitel 7). Liegen Bromid oder Nitrosamine in erhöhten Konzentrationen vor, sind auch weitere potentiell problematische Abwasserinhaltsstoffe nicht auszuschliessen.

6.5 Unbekannte, toxische Oxidationsnebenprodukte

Unbekannten, toxische Oxidationsnebenprodukte können nur anhand von (öko)toxischen Summenwirkungen erfasst werden. Eine chemisch-analytische Erfassung ist nicht möglich, weil die Stoffe unbekannt sind. Ein Minimalset an möglichen Biotests wurde im Dokument «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung»[13] empfohlen (siehe Tabelle 2). Diese Tests sind auch zum Monitoring des Betriebs der Ozonung geeignet. Es können aber auch andere, geeignete Biotests oder online Biotest-Systeme zum Einsatz kommen. Solche Untersuchungen sind bei einem konkreten Verdacht oder bei komplexen Einzugsgebieten anzuwenden (siehe Kapitel 7).

Tabelle 2. Übersicht über die Biotests, die verwendeten Testorganismen, sowie die nachweisbaren Effekte (nach Langer und Kienle, 2016[14]).

[12] Anmerkung: anhand solcher Stoffe kann indirekt die OH-Radikal-Exposition ermittelt werden. Eine Abweichung der OH-Radikal-Exposition von unproblematischen Referenzabwässern gibt einen Hinweis auf eine Veränderung der Abwasserzusammensetzung. Alternative Stoffe für Sucralose sind im Einzelfall festzulegen.
[13] VSA (2021). Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» Version 2. www.micropoll.ch
[14] Langer, M. und Kienle, C. (2016). Effektmessung: Ökotoxikologische Biotests zur Beurteilung der Abwasserbehandlung. 79./80. VSA-Fortbildungskurs: Mikroverunreinigungen, Emmetten.

Biotest	Testorganismus	Effekte
Ames-Test	Bakterien (Salmonellen)	Vererbbare Veränderung des Erbguts (Mutagenität).
Chronischer Fortpflanzungstest mit Wasserflöhen	Wasserfloh	Hemmung der Fortpflanzung, verringertes Überleben.
Kombinierter Algentest	Grünalgen	Hemmung der Photosynthese (u.a. Wirkung bestimmter Herbizide) und des Wachstums.

13

7 UMSETZUNG DER ÜBERWACHUNG

7.1 Einbezug des bestehenden Wissens

Zur Festlegung der konkreten Umsetzung ist das bestehende Wissen (z.B. aus den «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung») zu nutzen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einem…

- überschaubaren, unproblematischen Einzugsgebiet, und
- einem komplexeren Einzugsgebiet und/oder möglichen problematischen (industriell-gewerblichen) Einflüssen auf die Ozonung.

7.1.1 ARA mit überschaubarem, unproblematischem Einzugsgebiet

Bei ARA mit einem überschaubaren, unproblematischen Einzugsgebiet ist folgendes, minimales Überwachungskonzept zu empfehlen:

- Periodischer Austausch (mindestens einmal jährlich) zwischen ARA, den relevanten Industrie-/Gewerbebetrieben und der kommunalen und kantonalen Behörde.
- Priorisierte Betriebsparameter der ARA und der Ozonung laufend erfassen, auswerten und beurteilen.
- Untersuchung der bekannten, problematischen Oxidationsnebenprodukte (Bromat, Nitrosamine) und deren Vorläufersubstanzen (Bromid) gemäss nachfolgenden Angaben.
- Biotestes sind optional durchzuführen oder bei konkretem Verdacht.

Bei der Untersuchung von bekannten, problematischen Oxidationsnebenprodukten und deren Vorläufersubstanzen ist zwischen dem ersten und allen weiteren Betriebsjahren zu unterscheiden (siehe Tabelle 3):

- **Im ersten Betriebsjahr sind erhöhte Untersuchungsintervalle zu empfehlen.** Dies dient zur Evaluierung des «gewohnten» Betriebs der Ozonung und beinhaltet auch die Bestimmung der spezifischen Bromat- und Nitrosamine-Bildung. Ein Testbetrieb bei verschiedenen spezifischen Ozondosen ist mit der kantonalen Behörde abzusprechen.
- **Ab dem zweiten Betriebsjahr kann die Untersuchungshäufigkeit der Parameter reduziert werden.** Voraussetzung dazu ist, dass das Abwasser im ersten Jahr unauffällig war. Falls die Bromidkonzentrationen im Zulauf der Ozonung unauffällig sind (d.h. < 100 µg/l in den 48h-Mischproben) müssen auch keine zusätzlichen Bromat-Messungen im Ablauf der Nachbehandlung durchgeführt werden, ausser bei Abwässern mit hoher Bromat-Ausbeute (siehe[15]). Eine zusätzliche Erfassung der Bromat-Konzentration im Zulauf ist bei erhöhten Bromat-Ablaufkonzentrationen zu empfehlen (um die Konzentration an gebildetem Bromat zu berechnen).

7.1.2 ARA mit komplexerem Einzugsgebiet und/oder möglichen problematischen (industriell-gewerblichen) Einflüssen auf die Ozonung

Bei einem komplexeren Einzugsgebiet und/oder mit möglichen problematischen (industriell-gewerblichen) Einflüssen auf die Ozonung ist das Überwachungskonzept zu erweitern. Der Einbezug der Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen (und allfälliger weiterer Expertinnen und Experten) ist zu prüfen.

In solchen Fällen ist eine regelmässige Durchführung von Biotests empfohlen. Zudem können weitere, im jeweiligen Einzelfall problematische Oxidationsnebenprodukte sowie deren Vorläufersubstanzen in das Untersuchungsprogramm aufgenommen werden. Zur gezielten Eva-

[15] VSA (2021). Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» Version 2. www.micropoll.ch

luierung eines potentiell problematischen Einleiters kann die Durchführung der «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» genutzt werden. Treten wiederholte Auffälligkeiten auf, sollten die «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» alle paar Jahre wiederholt werden.

Tabelle 3. Übersicht über empfohlene Parameter (zu messen im Zulauf zur Ozonung und im Ablauf der Nachbehandlung) und über empfohlene Messintervalle. Dabei wird unterschieden zwischen (i) dem 1. Jahr nach Inbetriebnahme (IBN) der Ozonung oder von relevanten Änderungen der Abwasserzusammensetzung und (ii) ab dem 2. Jahr nach IBN der Ozonung oder der letzten festgestellten relevanten Änderung der Abwasserzusammensetzung.

(Überwachungs-)Parameter Ozonung	**Untersuchungshäufigkeit**	
Nach Inbetriebnahme (IBN) der Ozonung	Im 1. Jahr (Evaluation «gewohnter» Betrieb)	Ab 2. Jahr (falls Untersuchungen im Vorjahr unproblematisch)
Bei relevanter Änderung der Abwasserzusammensetzung	Im 1. Jahr	Ab 2. Jahr (falls Änderung unproblematisch)
Untersuchungen im Zulauf der Ozonung[16]		
Bromid	Identisch mit Untersuchungshäufigkeit der organischen Spurenstoffe gemäss GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41	Identisch mit Untersuchungshäufigkeit der organischen Spurenstoffe: Häufigkeit reduzieren gemäss GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41
Bromat	Bei erhöhten Konzentrationen im Ablauf der Nachbehandlung, in Absprache mit der kantonalen Behörde	Bei erhöhten Konzentrationen im Ablauf der Nachbehandlung, in Absprache mit der kantonalen Behörde
Nitrosamine	8 bis 12mal pro Jahr	In Absprache mit der kantonalen Behörde
Untersuchungen im Ablauf der Nachbehandlung		
Bromat	8 bis 12mal pro Jahr	• Wenn Bromid ≥ 100 µg/l, Häufigkeit wie im 1. Jahr • Wenn Bromid < 100 µg/l, keine Messung nötig
Nitrosamine		In Absprache mit der kantonalen Behörde
Untersuchungen im Zu-/Ablauf der Ozonung und im Ablauf der Nachbehandlung		
Biotests	• Regelmässige Durchführung bei ARA mit komplexem Einzugsgebiet und/oder möglichen industriellen-gewerblichen Einflüssen auf die Ozonung. • Optional bei ARA mit überschaubarem, unproblematischem Einzugsgebiet.	

[16] Eine Probenahme im Zulauf der Ozonung ist vorzuziehen. Falls diese nicht vorhanden ist, kann ein Probenehmer im Zulauf der ARA verwendet werden.

15

7.2 Anpassung der Überwachung und Ableitung des weiteren Vorgehens

7.2.1 Unauffälliges Abwasser: Ozonung weiterhin geeignet

Falls im Rahmen der Überwachung keine relevanten Veränderungen der Abwasserzusammensetzung festgestellt wurden und sich keine problematischen Oxidationsnebenprodukte in relevanten Mengen bilden, ist die Ozonung nach wie vor geeignet und entspricht einem sachgemässen Gewässerschutz (Abbildung 2). In diesem Fall sind keine weitergehenden Abklärungen oder Massnahmen notwendig. Die Überwachung der Ozonung ist im gewohnten Rahmen weiterzuführen.

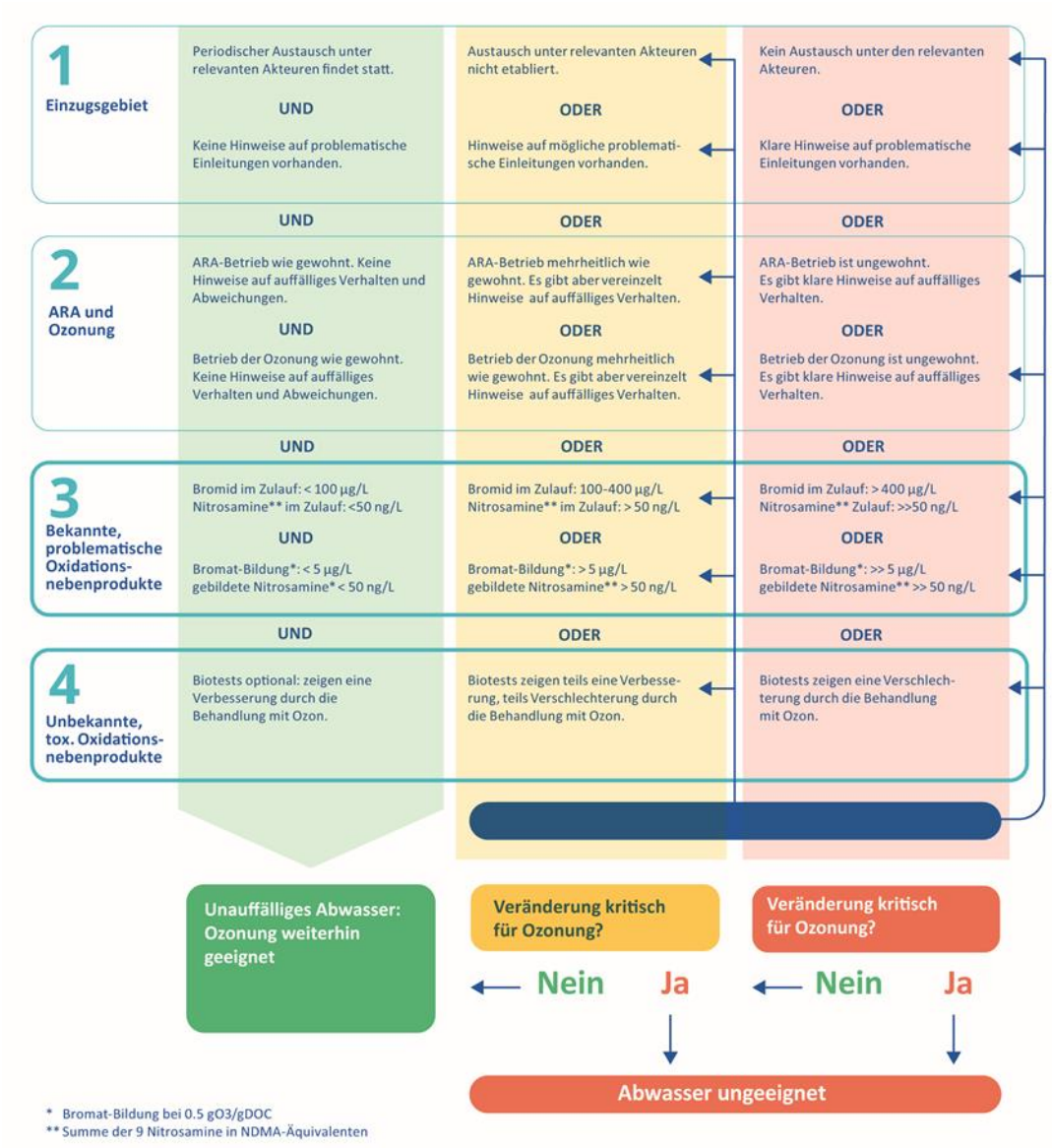

Abbildung 2. Überwachungsparameter und deren Beurteilung.

7.2.2 Veränderungen der Abwasserzusammensetzung mit möglichen Auswirkungen auf die Ozonung

Es kann vorkommen, dass einzelne oder mehrere Hinweise (z.B. bekannte Änderungen im Einzugsgebiet, Hinweise aus der Analyse der ARA-Betriebsdaten) auf eine veränderte Abwasserzusammensetzung hindeuten (in Abbildung 2 als «gelb» oder «rot» eingestuft). In solchen Situationen ist zu prüfen, ob die Auswirkungen auf die Ozonung kritisch sind. Dies kann durch eine wiederholte Durchführung von gewissen Abklärungen (z.B. regelmässigere Messung von Bromid, Bestimmung der Bromat-Ausbeute oder Durchführung von Biotests) erfolgen oder zu weitergehenden Untersuchungen (z.B. Ermittlung der Ozon- und OH-Radikal-Exposition

im Labor) führen. Kritisch ist die Veränderung der Abwasserzusammensetzung, wenn unerwünschte Oxidationsnebenprodukte (z.B. Bromat, Nitrosamine) übermässig gebildet werden oder die Toxizität durch die Behandlung mit Ozon zunimmt. Die Ursache(n) sind zu identifizieren und allfällige Massnahmen zu prüfen. Vorschläge für mögliche Massnahmen sind im Anhang 3: Vorschläge für mögliche Massnahmen aufgelistet. Konkrete Massnahmen sind jedoch im Einzelfall, in Absprache mit der zuständigen Vollzugsbehörde, und unter Einbezug weiterer betroffener Akteure zu erarbeiten. Das Ziel besteht darin, langfristig einen sachgemässen Gewässerschutz zu gewährleisten.

Zur Überprüfung der getroffenen Massnahmen ist das Monitoring insbesondere der problematischen Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen während rund eines Jahres zu intensivieren (siehe Tabelle 3):

- **Im ersten Jahr nach einer kritischen Veränderung der Abwasserzusammensetzung** sind erhöhte Untersuchungsintervalle bezüglich Bromid, Bromat, den Nitrosaminen und allfälligen weiteren, im Einzelfall zu definierenden Parametern zu empfehlen.
- **Ab dem zweiten Jahr nach der letzten festgestellten Änderung der Abwasserzusammensetzung** kann die Untersuchungshäufigkeit der Parameter reduziert werden. Die Voraussetzung dazu ist, dass das Abwasser im ersten Jahr unauffällig war.

8 PROBENAHME UND REPRÄSENTATIVITÄT

Eine Probenahme über 24 Stunden (für ARA-Betriebsparameter) und über 48 Stunden (für Untersuchungen, die mit der Beprobung für die Überprüfung des Reinigungseffekts zusammenfallen) ist ausreichend, da es um den täglichen Betrieb geht und mehrere Proben über das Jahr verteilt untersucht werden (siehe Tabelle 3). Bei online erfassbaren Parametern ist der Vorteil der zeitlichen Auflösung zu nutzen. Grundsätzlich ist bei der Probenahme darauf zu achten, dass diese repräsentativ für das Einzugsgebiet ist und die relevanten Einleiter miterfasst sind (z.B. an unterschiedlichen Wochentagen beproben, Saisonalität berücksichtigen).

Bei einer Änderung der Abwasserzusammensetzung empfiehlt sich eine Probenahme über einen längeren Zeitraum, da industriell-gewerbliche Einleitungen vielmals stossweise erfolgen. Dies ist im Einzelfall in Absprache mit der kantonalen Vollzugsbehörde festzulegen.

9 ZENTRALE SAMMLUNG DER DATEN

Periodisch werden die Erfahrungen und erhobenen Daten im Zusammenhang mit der Umsetzung dieser Empfehlung in anonymisierter Form der Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» zur Verfügung gestellt. Damit können die Erkenntnisse laufend verbessert und das in diesem Dokument beschriebene Vorgehen bei Bedarf überarbeitet werden.

10 AUSKUNFT BEI FRAGEN UND UNKLARHEITEN

Bei Fragen und Unklarheiten zu diesen Abklärungen, bei komplexen Situationen oder bei schwer interpretierbaren Daten kann die Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» beigezogen werden.

17

11 ANHANG

11.1 Anhang 1: Beispielhafte Illustration der Kommunikationsabläufe

Nachfolgend ist anhand von zwei Beispielen illustriert, wie die im Kapitel 6.2.1 beschriebenen Kommunikationsabläufe zu verstehen sind und wie sie in den Entscheidungsprozess zu integrieren sind.

Ausgangslage

Bei einer ARA tritt eine Veränderung der Abwasserzusammensetzung mit kritischen Auswirkungen auf die Ozonung auf. In einem Fall ist dies auf eine Umstellung von abwasserrelevanten Tätigkeiten bei einem bestehenden Betrieb zurückzuführen (siehe nachfolgend «Situation 1»). In einem anderen Fall ist dies auf einen neu angesiedelten Betrieb zurückzuführen (siehe nachfolgend «Situation 2»).

Situation 1: Umstellung von abwasserrelevanten Tätigkeiten bei einem bestehenden Industriebetrieb mit Auswirkungen auf die Abwasserzusammensetzung

Stellt ein Betrieb mit gültiger Einleitbewilligung einen abwasserrelevanten Prozess um, sollten die Auswirkungen auf die Abwasserzusammensetzung der ARA und auf die Ozonung möglichst frühzeitig abgeklärt werden. Theoretisch ist jede Prozessänderung bewilligungspflichtig im Sinne der Gewässerschutzgesetzgebung, wenn sie eine Änderung der Abwassermenge oder der Abwasserzusammensetzung zur Folge hat. Solche Umstellungen müssen in diesen Fällen an die zuständige Vollzugsbehörde und im Idealfall auch an die betroffene ARA kommuniziert werden. Auf diese Weise ist es möglich den Einfluss auf die Ozonung vorgängig zu eruieren (z.B. im Rahmen der «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung»[17]). Falls notwendig können frühzeitig notwendige Massnahmen getroffen werden (z.B. Anpassung der bestehenden Einleitbewilligung des Industrie-/Gewerbebetriebs).

Situation 2: Neu angesiedelter Betrieb im ARA-Einzugsgebiet

Bei neu angesiedelten Betrieben bestehen keine vorgängigen Einleitbewilligungen oder Kenntnisse über deren spezifische Abwasserzusammensetzung. Im Rahmen der Prüfung der Auswirkungen auf die ARA sollten daher auch mögliche Auswirkungen auf die Ozonung abgeklärt werden. Dies ist im Vorfeld schwierig, da die resultierende Abwasserzusammensetzung abzuschätzen ist (es kann in einem solchen Fall beispielsweise auf Erfahrungen mit ähnlichen Betrieben abgestützt werden). Notwendige Abklärungen und Abschätzungen in diesem Zusammenhang sind mit den kantonalen Vollzugsbehörden frühzeitig zu diskutieren. Ebenfalls kann der Einbezug der Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen (und allfälliger weiterer Expertinnen und Experten) hilfreich sein. Im Baugesuch ist vom Einleiter daher möglichst anzugeben, ob problematische Vorläufersubstanzen (z.B. Bromid) im Abwasser zu erwarten sind. Die Vollzugsbehörde kann den Industriebetrieb in der Betriebsbewilligung dazu verpflichten, betriebliche Veränderungen (z.B. den Einsatz anderer Chemikalien in Prozessen) vorzeitig zu melden. Eine andere Möglichkeit ist eine Einleitbewilligung mit Vorbehalt (mit konkretem Bezug auf die kritischen Stoffe), d.h. falls sich durch das industrielle Abwasser Probleme bei der Ozonung ergeben, müssten Massnahmen ergriffen werden. In der Regel sind hier vor allem grosse Betriebe, mit grossen Abwasserfrachten im Fokus. Denn bei diesen Betrieben ist die Verdünnung mit dem restlichen kommunalen Abwasser gering.

[17] VSA (2021). Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» Version 2. www.micropoll.ch

11.2 Anhang 2: Erkennen von Industrieeinflüssen auf ARA und möglichen Auswirkungen auf die Ozonung

Tabelle A1. Gängige Beobachtungen auf ARA und deren Ursachen (Auszug aus[18] - nicht abschliessend). Mögliche Auswirkungen auf die Ozonung sind unter folgendem Link verfügbar.

Beobachtungen/Auswirkungen	Ursache(n)	Mögliche Branche(n)
Belastungsspitzen an organischen Stoffen	• Organische Stoffe aus der Produktion	• Lebensmittelverarbeitung (z.B. Käsereien, Gemüse-/Obstverarbeitung). • Chemisch-pharmazeutische Industrie (z.B. Ethanol für Extraktionen; Nährlösungen bei biotechnologischen Prozessen).
Erhöhte Stickstoff-Frachten im Zulauf	• Brünieren (Nitrit) • Milch-/Fleischverarbeitung (Ammonium) • Pöckelung in der Fleischverarbeitung (Nitrit)	• Lebensmittelverarbeitung • Metalloberflächenbehandlung
Erhöhte Salzfrachten (z.B. Bromid, Chlorid) im Zulauf	• Aus Betriebsmitteln stammend (z.B. chemisch-physikalische Sonderabfallverwertung) • Abgangsgruppe bei Synthese-Prozessen in der chemisch-pharmazeutischen Industrie	• Entsorgungsbetriebe (Kehrichtverbrennung, Sonderabfallverwertung, Deponie) • Chemisch-pharmazeutische Industrie
pH-Schwankungen (Stösse) im ARA-Zulauf	• Reinigungsprozesse • Fehlerhafte Chargenneutralisation	• Lebensmittelverarbeitung • Chemisch-pharmazeutische Industrie
Erhöhte Phosphor-Ablaufwerte	• Phosphor-Stösse beim Einsatz von Phosphorsäure zur Reinigung. • Phosphonate sind nicht gut ausfällbar (z.B. mit $FeCl_3$)	• Lebensmittelverarbeitung • Chemisch-physikalische Behandlung von flüssigen Sonderabfällen
Schaumbildung in der Biologie	• Reinigungsprozesse (Tenside) • Entschlichten (Schlichtemittel – z.B. Polyvinylalkohol - insbesondere bei kalten Temperaturen nicht gut abbaubar) • Einleitung von Löschschaum	• Textilveredlung • Produktion/ Anwendung von oberflächenaktiven Substanzen
Erhöhte Feststoffgehalte im Zulauf	• Gemüse-/Früchteverarbeitung, Schlachthöfe (Blut bei Fehlentsorgung) • Mechanische Bearbeitung von Metallen • Zellulose aus der Karton-/Papierverarbeitung	• Lebensmittelverarbeitung • Metallverarbeitung • Herstellung/Verarbeitung von Papier/Karton

[18] Wunderlin, P., Gulde, R. (2021). Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässer. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg.

Beispiel 1: Interpretation der ARA-Zulauffrachten mit Hilfe einer Wochenganglinie

Abbildung A1 zeigt einen Wochengang der CSB-Zulauffracht einer ARA. In diesem Beispiel war die Belastung am Sonntag deutlich geringer als die Belastung unter der Woche, mit Spitzenwerten am Dienstag und Mittwoch. Dies ist auf einen Industriebetrieb zurückzuführen, welcher das Abwasser in dieser Woche hauptsächlich dienstags und mittwochs eingeleitet hat. Die genaue Abwasserzusammensetzung dieses Betriebs kann wichtige Hinweise für die Ozonung liefern. Als nächster Schritt könnte der Betrieb identifiziert und das Betriebsabwasser auf weitere Inhaltsstoffe untersucht werden. Dies ist auch eine wichtige Erkenntnis für die Probenahme: die Proben für das parameterbasierte Monitoring sind an den Tagen mit erhöhter Belastung zu nehmen.

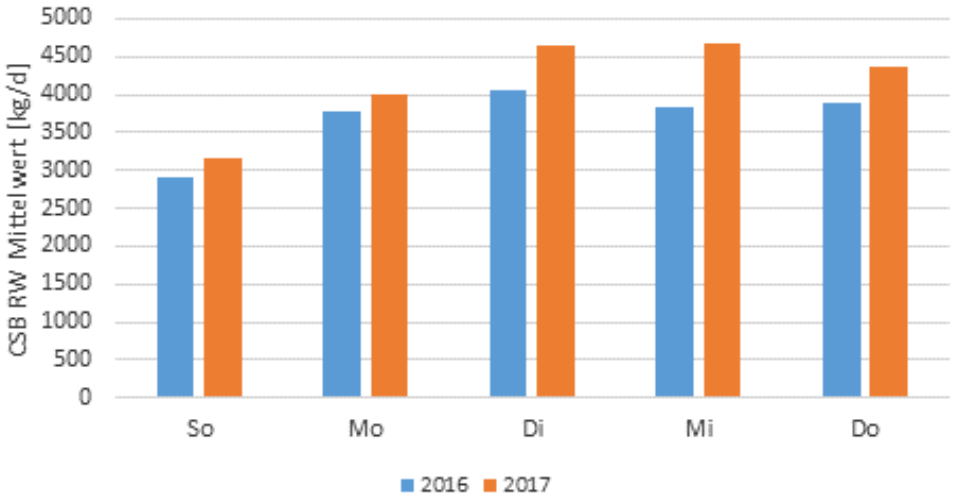

Abbildung A1. Wochengang der CSB-Zulauf-Fachten (Quelle: E. Hungerbühler, HBT)

Zusätzlich zum Wochengang lassen sich auch industrielle Einflüsse anhand der Jahresgänge ableiten. In Abbildung A2 sind die CSB-Konzentrationen im ARA-Ablauf dargestellt. Diese wurden rechnerisch ermittelt anhand der GUS-Ablaufwerte, unter der Annahme, dass 1 mg GUS rund 0.85 mg CSB entspricht (bei einer Phosphor-Simultanfällung). Die Daten zeigen den Einfluss eines Betriebs mit erhöhten CSB-Frachten. Auffällig sind Phasen mit vergleichsweise tiefen CSB-Ablaufwerten, welche auf längere Betriebsunterbrüche während den Sommerferien und an Weihnachten zurückzuführen sind (in Abbildung A2 rot gekennzeichnet). Weitergehende Abklärungen bei diesem Betrieb hinsichtlich der eingesetzten Stoffe können wichtige Hinweise für die Ozonung liefern.

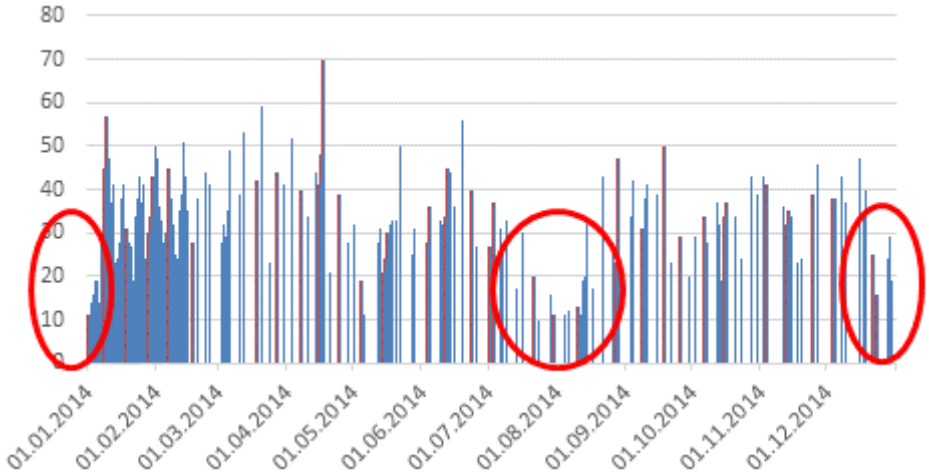

Abbildung A2. Jahresganglinien der CSB-Konzentrationen im ARA-Ablauf. Rot gekennzeichnet sind längere Betriebsunterbrüche (Quelle: E. Hungerbühler, HBT)

Beispiel 2: Belastung der ARA im Vergleich mit typischen pro Kopf-Werten

ARA-Summenparameter wie CSB, gesamter Stickstoff oder gesamter Phosphor liefern Rückschlüsse auf industrielle Aktivitäten. Dazu lässt sich beispielsweise die ARA-Zulauffracht mit typischen Einwohnerwerten vergleichen[19] und auf die angeschlossenen Personen hochrechnen. Idealerweise ergeben diese umgerechneten Frachten die gleichen Einwohnerwerte. Grössere Abweichungen nach oben deuten auf spezielle Verhältnisse hin. In der Abbildung A3 sind beispielsweise erhöhte CSB-Frachten im ARA-Zulauf über das ganze Jahr und insbesondere im November erkennbar. Diese sind auf eine industrielle Einleitung zurückzuführen.

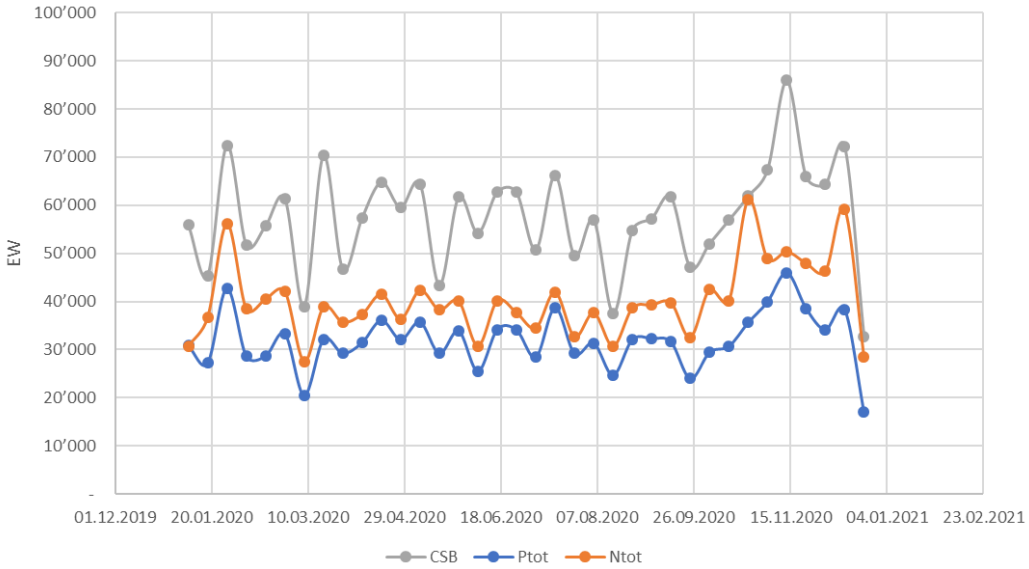

Abbildung A3. Jahresganglinien einer kommunalen ARA mit industriel-gewerblichen Einleitern (Datenquelle: AIB)

Dasselbe Beispiel zeigt Abbildung A4. Hier sind die jährlichen ARA-Zulauffrachten von CSB, Ammonium und gesamt Phosphor in Einwohnerwerte umgerechnet. Es fällt auf, dass die in Einwohnerwerte umgerechneten CSB-Frachten tendenziell höher liegen als für Ammonium und Gesamt-Phosphor. Diese Abweichungen deuten auf industrielle Einleitungen von bedeutenden Kohlenstoff-Frachten hin.

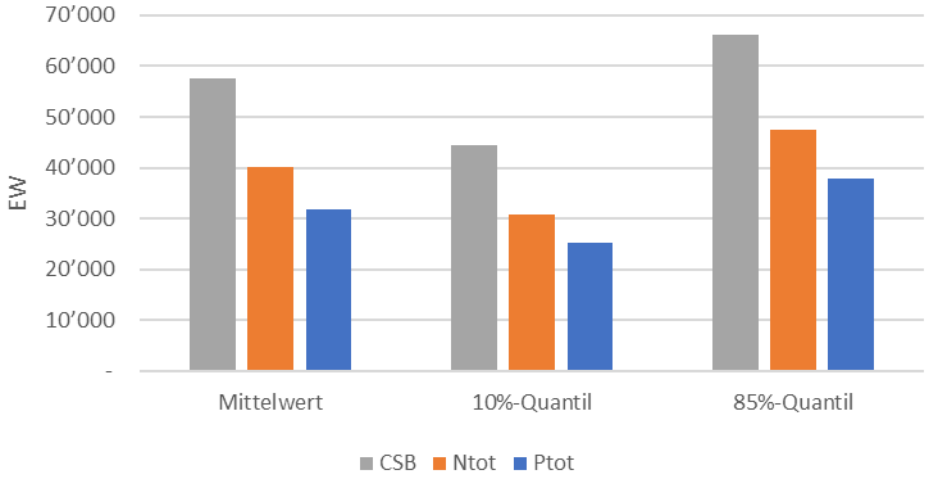

Abbildung A4. Jährliche ARA-Zulauffrachten mit erhöhter Kohlenstoffbelastung (Datenquelle: AIB)

[19] Typische 85%-Werte von ARA-Zulauffrachten für kommunales Abwasser sind: 120 g CSB/EW/Tag, 11 g N_{tot}/EW/Tag, 1.8 g P_{tot}/EW/Tag

Beispiel 3: Zusammenhang zwischen TOC, CSB und DOC

In Abbildung A5 sind für den Zeitraum von 1.1.2020 bis 1.1.2021 die Zulaufkonzentrationen von TOC und CSB dargestellt, sowie die Ablaufkonzentrationen von DOC. Das Einzugsgebiet dieser ARA ist relativ stark industriell geprägt.

Die TOC-, CSB- und DOC waren anfangs 2020 leicht rückläufig, vermutlich bedingt durch die Corona-Pandemie. Über das gesamte Jahr betrachtet stiegen die TOC- (orange) und CSB (dunkelblau)-Zulaufkonzentrationen tendenziell an, während die DOC (hellblau)-Ablaufkonzentrationen eher rückläufig waren. Der Grund für diese entgegengesetzten Trends ist unklar. In diesem Fall lässt sich der Anteil an schwer abbaubarem CSB nicht über die CSB- und TOC-Messungen im ARA-Zulauf bestimmen, da die CSB/TOC-Konzentrationen im Zulauf keine Auffälligkeiten hinsichtlich des Anteils an schwer abbaubaren CSB zeigen. Der Industrie-Einfluss wird in diesem Beispiel also erst im Ablauf ersichtlich. Eine Messung des DOC im Ablauf ist daher unumgänglich. Im vorliegenden Fall wurden die Messungen des DOC von 2019 zu 2020 in etwa verdoppelt, um den Einfluss von Industrieeinleitern besser zu verstehen.

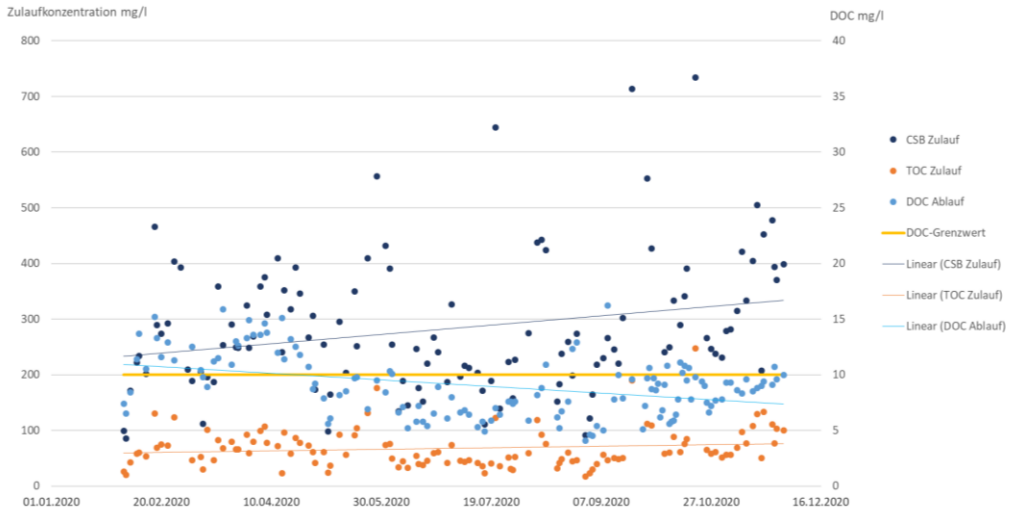

Abbildung A5. CSB- und TOC-Zulaufkonzentrationen und DOC-Ablaufkonzentrationen einer ARA mit stark industriell geprägtem Einzugsgebiet (Quelle: K. Biermann, AVG)

Beispiel 4: Interpretation der Schlammanalysen

Tabelle A2. Schwermetallgehalte von drei Kläranlagen, als % des Grenzwertes der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) ausgedrückt (Datenquelle[20]). Die ARA-Nummer korrespondiert mit der Nummerierung in [21].

Grenzwert (mg/kg TS)	5	60	600	20	80	500
ARA Nr.	**Cd**	**Co**	**Cu**	**Mo**	**Ni**	**Pb**
1	20%	33.3%	46.2%	25%	28.8%	5.8%
2	40%	11.7%	65.2%	45%	30%	4.6%
6	20%	13.3%	64.3%	30%	18.8%	8%
63	40%	8.3%	85.8%	40%	33.8%	5.8%
64	120%	26.7%	64.3%	25%	53.8%	16.2%

Metalle reichern sich im Klärschlamm an. Bei ARA mit entsprechenden Einleitungen im Einzugsgebiet sind somit die Metallgehalte im Klärschlamm erhöht. Zur Einordnung dieser Metallgehalte können die Grenzwerte der ChemRRV[21] herangezogen werden.

[20] Vriens, B. et al. (2017): Quantification of Element Fluxes in Wastewaters: A Nationwide Survey in Switzerland. Environmental Science and Techno-logy 51 (19), 10 943–10 953
[21] Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV) vom 18. Mai 2005, 814.81

Tabelle A2 zeigt für fünf ARA die Klärschlammgehalte von sechs Metallen. Die jeweiligen Gehalte sind in % des ChemRRV-Grenzwertes ausgedrückt. Liegen die Gehalte über dem ChemRRV-Grenzwert sind sie mit «rot» eingefärbt. Liegen diese deutlich darunter sind sie «grün» (<20%) beziehungsweise «orange» (>20% und <100%). Zu berücksichtigen ist, dass bei manchen ARA der Schadstoffgehalt im Schlamm natürliche (geologische) Ursachen haben kann.

Das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich erhebt jährlich bei jeder ARA im Kanton den sogenannten Schadstoffindex[22]. Dabei wird die Belastung an (Schwer-)Metallen ein bis vier Mal pro Jahr erhoben und daraus ein Schadstoffindex abgeleitet. Aufgrund solcher regelmässigen Messungen können langfristige Trends gut verfolgt und auffällige Einzugsgebiete und Quellen identifiziert werden.

[22] Abwasserreinigung in Zahlen 2019. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich. https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/abwasserreinigungsanlagen-ara/abwasser_in_zahlen_2019.pdf [Stand: 19.5.2021]

11.3 Anhang 3: Vorschläge für mögliche Massnahmen

Konkrete Massnahmen sind im Einzelfall, in Absprache mit der kantonalen Vollzugsbehörde, und unter Einbezug weitere betroffener Akteure (z.B. verantwortlicher Industrie-/Gewerbebetrieb) zu erarbeiten. Das Ziel besteht darin, langfristig einen sachgemässen Gewässerschutz zu gewährleisten.

Mögliche <u>Sofortmassnahmen</u> (kommen zum Einsatz, wenn die Auswirkungen der Ozonung als akut, kritisch zu beurteilen sind)

- Ozonung in Absprache mit der kantonalen Vollzugsbehörde vorübergehend abstellen, Ursache(n) identifizieren und Massnahmen prüfen.
- Im Falle von problematischen Oxidationsnebenprodukten in relevanten Mengen im ARA-Ablauf: betroffene unterliegende Trinkwasserwerke informieren und allfällige weitere Massnahmen treffen (z.B. vorübergehend die Förderung bei betroffener Trinkwasserfassung einstellen).

Nächste Schritte:

- Die Ursache konnte identifiziert und nachhaltig behoben werden: die Ozonung wird wieder in Betrieb genommen.
- Die Ursache konnte nicht identifiziert oder nachhaltig behoben werden: mittel- bis langfristige Massnahmen an der Quelle oder auf ARA sind notwendig (siehe weiter unten).

Mögliche <u>mittel- bis langfristige Massnahmen</u> an der <u>Quelle</u>

- Zweckmässige betriebliche Abwasservorbehandlung vor der Einleitung in die Kanalisation oder Separatableitung zur ARA zur zweckmässigen Separatbehandlung vor der Einleitung ins Gewässer.
- Kantonale Vorgabe von Frachtbegrenzungen und/oder Einleitwerten für bekannte, problematische Vorläufersubstanzen.
- Entsorgung des betrieblichen Abwassers nicht über die öffentliche Kanalisation: z.B. Ableitung auf eine andere ARA ohne Ozonung, Entsorgung des Betriebsabwassers als Sonderabfall (dabei sollte sichergestellt werden, dass das Abwasser behandelt/entsorgt wird, ohne den Betrieb einer anderen ARA zu beeinträchtigen; Art. 12 GSchG), Direkteinleitung in ein Gewässer (unter Einhalten der Anforderungen GSchV Anhang 3.2).
- Weitere Massnahmen auf Betriebsebene prüfen, z.B. Optimierung der betrieblichen Prozesse, welche zu diesem Abwasseranfall führen, Ersatz der problematischen Stoffe im Prozess durch Alternativprodukte, etc.

Mögliche <u>mittel- bis langfristige</u> Massnahmen auf der <u>ARA</u>

- Betriebsoptimierungen auf der ARA: z.B. BEAR-Regelstrategie[23], mehrstufiger LOD-Ozoneintrag[24], zusätzliche Dosierung von Wasserstoffperoxid zur Reduzierung der Bromat-Bildung[25] (letzteres ist noch nicht grosstechnisch erprobt).
- Ozondosis zwischenzeitlich reduzieren.
- Letztmögliche Massnahme: Ozonung ausser Betrieb nehmen und durch ein Aktivkohle-Verfahren ersetzen oder - wenn die neue Abwasserzusammensetzung dies erlaubt - um ein weiteres Verfahren (z.B. auf Basis von Aktivkohle) ergänzen (jeweils ohne Anspruch auf Abgeltung der zusätzlichen Investitionskosten). So kann beispielsweise die bestehende Sandfiltration zu einer granulierten Aktivkohlefiltration umgerüstet werden. Die anfallenden Kosten trägt der Verursacher gemäss Art. 31 GSchG.

Bei allen Massnahmen müssen die gesetzlichen Anforderungen gemäss GSchG und GSchV eingehalten werden.

[23] Schachtler, M., Hubaux, N., (2016) – BEAR – Innovative Regelstrategie der Ozonung. Aqua & Gas 5/2016: 84 – 93.
[24] Hubaux, N., Schachtler, M. (2016) – Mehrstufiger Ozoneintrag - LOD-Konzept. Reduzierung des Ozonverbrauchs bei gleichbleibender Elimination der Mikroverunreinigungen. Aqua & Gas 11/2016: 50 – 56.
[25] Soltermann, F., Abegglen, Ch., Tschui, M., Götz, C., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2019). Verminderung der Bromatbildung – Mögliche Strategien zur Minimierung der Bromat-Bildung bei der Abwasserbehandlung mit Ozon. Aqua & Gas 1/2019: 14-21.