

Betrieb von Ozonanlagen auf ARA: Erkennen von kritischen Entwicklungen im Einzugsgebiet

EMPFEHLUNG



In Schweizer Kläranlagen werden Ozonanlagen nur realisiert, wenn das Abwasser als geeignet eingestuft wird. Durch Veränderungen im Einzugsgebiet (z.B. ein neuer Industriebetrieb oder eine sich ändernde industrielle Aktivität) kann sich jedoch die Abwasserzusammensetzung signifikant ändern. Aus diesem Grund empfiehlt der VSA, dass nach der Inbetriebnahme die Eignung der Abwasserzusammensetzung für eine Ozonung überwacht wird, einerseits anhand einer proaktiven Kommunikation zwischen den relevanten Akteuren und andererseits anhand eines parameterbasierten Monitorings.

Impressum

Redaktion J. Grelot, P. Wunderlin (VSA)

Fachliche Begleitung C. Abegglen (ERZ/VSA), A. Benacloche (Stadt Neuchâtel), H. Bleny (BAFU), D. Dominguez (BAFU), E. Durisch-Kaiser (AWEL), C. Jaquerod (Kanton VD), N. Kheyar (Kanton GE), H. Lecoultre (Kanton NE), P. Locher (Kanton BE), V. Lanz (Kanton AR), R. Manser (Kanton BE), J. Margot (RWB), P. Perdaems (SIG), A. Piazzoli (Envilab), P. Ramaciotti (SIG), M. Schachtler (ARA Neugut), D. Thonney (SIGE), U. von Gunten (Eawag)

Die vorliegende Publikation wurde mit aller Sorgfalt und nach bestem Wissen erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität kann jedoch keine Gewähr übernommen werden. Haftungsansprüche gegen den VSA wegen Schäden materieller oder immaterieller Art, welche durch die Benützung und Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen könnten, werden ausgeschlossen.

Titelbild: Klärwerk Werdhölzli, ERZ

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
1. Ausgangslage.....	6
2. Gesetzliche Grundlagen.....	7
3. Präventives Vorgehen	8
3.1. Relevante Akteure: Wer macht was und ist wofür zuständig?	8
3.2. Relevante Entwicklungen im Einzugsgebiet.....	9
3.3. Kommunikationskonzept und wichtige Instrumente zum proaktiven Vorgehen	9
3.4. Beispielhafte Illustration der Abläufe.....	11
3.5. Beurteilung der relevanten Industrien und Stoffe	12
4. Parameterbasiertes Monitoring.....	14
4.1. Überwachung anhand vorhandener Betriebsparameter der ARA und Ozonung	14
4.2. Messung zusätzlicher Überwachungsparameter	17
4.3. Häufigkeit und Repräsentativität der Messungen	19
4.4. Gesamtbeurteilung der Überwachungsparameter	20
5. Mögliche Massnahmen	21
6. Fazit	22
7. Literaturverzeichnis.....	23

Zusammenfassung

Die Ozonung hat sich als Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf Abwasserreinigungsanlagen (ARA) bewährt. Bei der Ozonung von Abwasser können, abhängig von der Abwasserzusammensetzung, neben dem erwünschten Spurenstoffabbau jedoch auch problematische Oxidationsnebenprodukte gebildet werden. In Schweizer ARA werden Ozonanlagen nur realisiert, wenn das Abwasser gemäss der VSA-Empfehlung „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“ (VSA, 2017) als geeignet eingestuft wird. Diese Abklärungen entsprechen einer „Momentaufnahme“. Durch Veränderungen im Einzugsgebiet (z.B. ein neuer Industriebetrieb oder eine sich ändernde industrielle Aktivität) kann sich die Abwasserzusammensetzung signifikant ändern. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass auch nach der Inbetriebnahme die Abwasserzusammensetzung und deren Eignung für eine Ozonung überwacht werden.

Diese Überwachung wird einerseits sichergestellt, indem eine proaktive Kommunikation zwischen den relevanten Akteuren im Einzugsgebiet gepflegt wird (präventives Vorgehen). Wichtige Informationsflüsse in diesem Zusammenhang sind:

- ein direkter Austausch zwischen dem Klärwerter und den relevanten Industriebetrieben,
- ein regelmässiger Austausch zwischen dem Kanton und der Gemeinde,
- ein konstanter Austausch zwischen den kantonalen Fachstellen sowie
- ein regelmässiger Austausch zwischen den kantonalen Fachstellen und den relevanten Industriebetrieben.

Unterstützende Instrumente zum präventiven Vorgehen sind:

- der vom Kanton/der ARA erstellte Industrie-Kataster mit Informationen zu Grösse, Aktivität, Prozessen, Stoffen und Frachten der Industriebetriebe im Einzugsgebiet der ARA,
- eine von der Plattform laufend aktualisierte Liste¹ mit bekannten und relevanten Industrie-Branchen und Prozessen in Bezug auf die Ozonung und
- die Anforderungen an die Überwachung, welche in der Einleitbewilligung der Kläranlage, respektive in der Betriebsbewilligung der Industriebetriebe angeordnet werden können.

Andererseits ist der Betrieb der Ozonung mit geeigneten Parametern zu überwachen, um eine allfällige Abweichung vom gewohnten Betrieb rechtzeitig feststellen zu können. Anhand der vorhandenen Parameter (Betriebsparameter der ARA und der Ozonung, siehe Tab. 1) können allfällige Änderungen der Abwasserzusammensetzung erkannt werden. Ein Monitoring von zusätzlichen Überwachungsparametern (z.B. Bromat, siehe Tab. 2) gibt weitere Hinweise darüber, ob eine Änderung der Abwasserzusammensetzung problematisch für die Ozonung ist.

Falls eine Änderung der Abwasserzusammensetzung auftritt, die auf eine neue oder sich ändernde Industrie im Einzugsgebiet zurückzuführen ist, können die zuständigen Behörden entsprechende Massnahmen anordnen. In diesem Dokument werden mögliche Sofortmassnahmen, mittel- und langfristige Massnahmen an der Quelle und auf der ARA vorgeschlagen.

Dieses Dokument richtet sich an die Betreiber von Ozonanlagen auf kommunalen Kläranlagen, an die Vollzugsbehörden (kantonale Fachstellen), an die kommunalen Entscheidungsträger sowie weitere relevante Akteure.

¹ Auf www.micropoll.ch verfügbar

Table 1. Zusammenfassung der zu überwachenden Betriebsparameter und deren Untersuchungshäufigkeit.

Betriebsparameter ARA	Untersuchungshäufigkeit
Nitrit-N	gemäß GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41
CSB/BSB ₅	
DOC	
P-Werte	
pH-Wert	gemäß den kantonalen Vorgaben
Schwermetalle im Klärschlamm	
Betriebsparameter Ozonung	Untersuchungshäufigkeit
O ₃ -Produktion	online Messung soweit möglich (ansonsten punktuelle wöchentliche Erhebung)
O ₃ -Dosierung	
ΔUV	

Table 2. Zusammenfassung der Überwachungsparameter und deren Untersuchungshäufigkeit.
IBN = Inbetriebnahme, EZG = Einzugsgebiet

Überwachungsparameter Ozonung	Untersuchungshäufigkeit	
Nach IBN Ozonung	im 1. Jahr (Evaluation «Normalbetrieb»)	ab 2. Jahr
Bei kritischen Änderungen im EZG	im 1. Jahr	ab 2. Jahr falls Änderung unproblematisch
<i>Im Zulauf der Ozonung²</i>		
Bromid	Identisch wie organische Spurenstoffe gemäß GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41	Identisch wie organische Spurenstoffe: Häufigkeit reduzieren gemäß GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41
Bromat	8 bis 12mal pro Jahr	Wenn Bromid ≥ 100 µg/l, Häufigkeit wie im 1. Jahr
Nitrosamine		Mindestens 2mal pro Jahr zusätzliche Messung bei Verdacht
<i>Im Ablauf der Nachbehandlung</i>		
Bromat	8 bis 12mal pro Jahr	Wenn Bromid ≥ 100 µg/l, Häufigkeit wie im 1. Jahr
Nitrosamine		Mindestens 2mal pro Jahr zusätzliche Messung bei Verdacht
<i>Im Zu- und Ablauf der Ozonung und im Ablauf der Nachbehandlung</i>		
Biotests	Individuell zu beurteilen, bei konkretem Verdacht empfohlen	

² Eine Probenahme im Zulauf der Ozonung ist vorzuziehen. Falls diese nicht vorhanden ist, kann ein Probenehmer im Zulauf der ARA verwendet werden.

1. Ausgangslage

Mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen (MV) auf einer Kläranlage wird eine grosse Bandbreite von Stoffen aus dem Abwasser eliminiert und die Wasserqualität signifikant verbessert. Als mögliche Verfahren steht die Adsorption an Aktivkohle und/oder die Ozonung zur Verfügung.

Die Ozonung eliminiert eine grosse Bandbreite an organischen Spurenstoffen und verbessert somit die Qualität des gereinigten Abwassers. Zudem nehmen die Konzentrationen an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) und Nitrit durch die Behandlung mit Ozon ab. Weiter sind Geruchsentfernung, Desinfektion und Entfärbung positive Effekte der Ozonung. Labile, toxische Reaktionsprodukte werden durch die auf die Ozonung folgende Nachbehandlung (z.B. Sandfilter) eliminiert. Die Ozonung ist eine wirtschaftliche Lösung zur Elimination von Mikroverunreinigungen. Dieses Verfahren wurde auf verschiedenen Kläranlagen grosstechnisch realisiert und funktioniert seither gut und stabil.

Es ist jedoch bekannt, dass sich gewisse Abwasserinhaltsstoffe, insbesondere diejenigen von bestimmten Industrie- oder Gewerbeabwassereinleitern, nicht für eine Ozonung eignen. In diesen Fällen können stabile, toxische Oxidationsnebenprodukte³ (z.B. Bromat) in relevanten Mengen gebildet werden, was unerwünscht ist. Daher sollen spätestens im Rahmen des Vorprojekts die «Abklärungen zur Verfahrenseignung der Ozonung» (VSA, 2017) durchgeführt werden. Die künftigen Entwicklungen und Veränderungen im Einzugsgebiet (z.B. eine sich ändernde industrielle Aktivität) können zum Zeitpunkt dieser Abklärungen nur schwer abgeschätzt werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, sowohl bei der Verfahrenswahl wie auch später beim Betrieb einer Ozonung auf der entsprechenden ARA, eine proaktive Kommunikation zwischen allen relevanten Akteuren im Einzugsgebiet zu etablieren. Somit können Änderungen im Einzugsgebiet mit potenziellen Auswirkungen auf den Betrieb der Ozonung mit einem präventiven Vorgehen frühzeitig (z.B. bei einem Baugesuch) evaluiert und geeignete Massnahmen getroffen werden (siehe Abb. 1, links). Zudem ist der Betrieb der Ozonung mit geeigneten Parametern zu überwachen, um langfristig eine Verbesserung der Abwasserqualität aufrechtzuerhalten (beziehungsweise um rechtzeitig eine dauerhafte „Abweichung vom Normalbetrieb“⁴ feststellen zu können; siehe Abb. 1, rechts). Würde sich die Abwasserzusammensetzung zu „Ungunsten“ der Ozonung verändern, müssten entsprechende Massnahmen getroffen werden, um weiterhin einen sachgemässen Gewässerschutz zu gewährleisten.

Es haben sich bereits einzelne Kantone mit der Thematik auseinandergesetzt. So z.B. hat das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich die Richtlinie „Betriebsüberwachung der Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe auf Zürcher ARA“ (AWEL, 2018) veröffentlicht. Darin werden unter anderem bei Ozonanlagen auch Bromid-, Bromat- und ggf. Nitrosamine-Messungen verlangt.

³ **Oxidationsnebenprodukte:** gebildet aus Reaktionen mit der Abwassermatrix (z.B. Bromat, NDMA); **Transformationsprodukte:** gebildet durch die Oxidation von organischen Spurenstoffen; **Reaktionsprodukte:** Oxidations- und Transformationsprodukte - es wird davon ausgegangen, dass bei kommunalem Abwasser Oxidationsnebenprodukte biologisch relevanter sind als Transformationsprodukte (Lee und von Gunten, 2016)

⁴ Eine Abweichung vom Normalbetrieb wird hier als eine langfristige Änderung der Abwasserzusammensetzung verstanden, die nicht unbedingt sichtbare Folgen auf die Abwasserreinigungsstufen der ARA hat. Einmalige Ereignisse wie Störfälle oder Havarien werden hier nicht betrachtet und müssen im Einzelfall beurteilt werden.

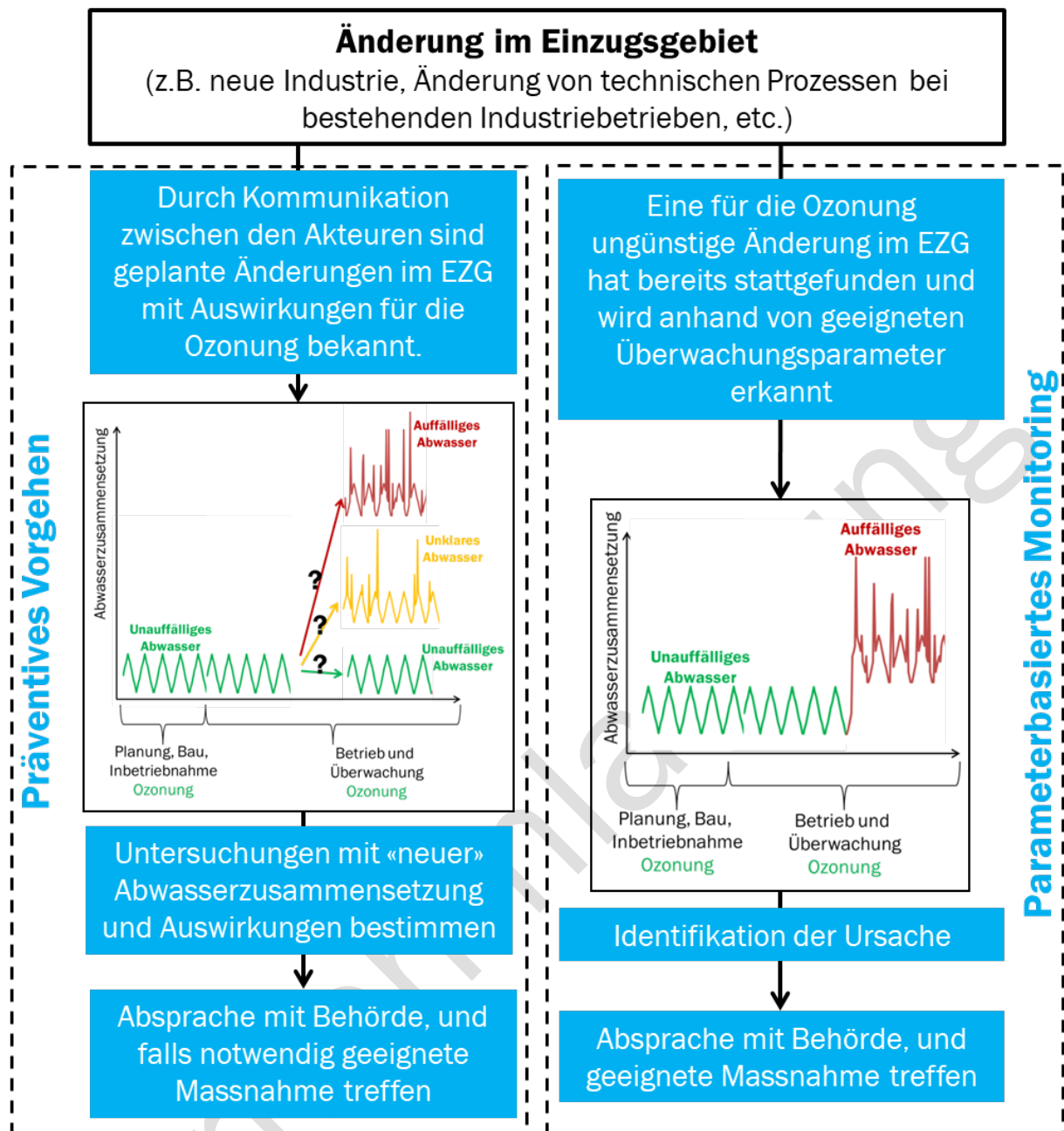


Abbildung 1. Änderungen im Einzugsgebiet (EZG) mit (potenziellen) Auswirkungen auf den Betrieb der Ozonung können mit einem präventiven Vorgehen frühzeitig (z.B. bei einem Baugesuch) evaluiert und geeignete Massnahmen getroffen werden (links). Bereits stattgefundenen Veränderungen mit Auswirkungen auf den Betrieb der Ozonung können nachträglich anhand von geeigneten Überwachungsparametern auf der ARA erkannt werden (rechts).

2. Gesetzliche Grundlagen

Bei der Umsetzung einer zusätzlichen Reinigungsstufe gelten u.a. folgende gesetzliche Grundlagen: Art. 3 Gewässerschutzgesetz (GSchG; 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 bzw. unerwünschten Stoffen (sogenannte Oxidationsnebenprodukte) durch die Behandlung eines Abwassers mit Ozon zu minimieren.

Beim Betrieb einer Ozonung gilt Art. 15 GSchV (Überwachung durch die Behörde). Gemäss diesem überprüft die zuständige Behörde periodisch, ob die Anforderungen an das von Industrien oder ARA eingeleitete Abwasser einen sachgemässen Gewässerschutz gewährleisten. Bei Bedarf werden Massnahmen angeordnet und wenn notwendig können die Einleitbewilligungen angepasst werden. Die Einleitbewilligungen für Industrieabwasser erteilen die Behörden nach Anhang 3.2 GSchV. Wenn durch die Einleitung von Industrieabwasser die Kläranlage die Anforderungen an die Einleitung in ein Gewässer nicht einhalten kann oder der Betrieb der Anlage gestört wird, können die Anforderungen an die Einleitung von Industrieabwasser verschärft werden (Art. 7 Abs. 2 GSchV).

3. Präventives Vorgehen

Die künftigen Entwicklungen und Veränderungen im Einzugsgebiet einer Kläranlage sind schwierig vorhersehbar. Aus diesem Grund ist es wichtig, Veränderungen proaktiv anzugehen und die Kommunikation unter den relevanten Akteuren aufrechtzuerhalten.

3.1. Relevante Akteure: Wer macht was und ist wofür zuständig?

Es ist wichtig, dass alle relevanten Akteure im Einzugsgebiet darüber informiert sind, dass eine Ozonung auf der kommunalen ARA in Betrieb ist. Dies setzt voraus, dass die zuständigen kommunalen und kantonalen Stellen einen proaktiven Austausch untereinander pflegen, um Veränderungen im Einzugsgebiet, welche die Ozonung betreffen, rechtzeitig zu erkennen und entsprechende Lösungen gemeinsam zu definieren. In Tabelle 3 werden die wichtigsten Akteure benannt und deren Zuständigkeiten in diesem Zusammenhang aufgezeigt. Von Kanton zu Kanton können sich die Abläufe sowie die zuständigen Stellen unterscheiden.

Tabelle 3. Übersicht der Akteure und deren relevanten Zuständigkeiten (Normalfall Schweiz; Ausnahmen sind möglich wie z.B. Festlegung Einleitbewilligungen durch Gemeinde)

Akteure	Für die Ozonung relevante Zuständigkeiten
Kommunale Behörde(n)	Entscheidung über künftige Entwicklungen im Einzugsgebiet Weiterleitung von gewässerschutzrelevanten Baugesuchen an die zuständige kantonale Fachstelle Verantwortlichkeit für die Kommunikation zwischen ARA und Industriebetrieben
Kantonale Behörde (Fachbereich Abwasserreinigung sowie Industrie und Gewerbe)	Festlegung der Einleitbewilligungen Überprüfung, ob ein neuer Industriebetrieb oder die Umstellung eines (bewilligungspflichtigen ⁵) industriellen Prozesses Auswirkungen auf die Ozonung haben können Falls nötig, Anordnung von Massnahmen
Industrie- und Gewerbebetriebe	Einhalten der Einleitbedingungen Keine Störung oder Beeinträchtigung des Betriebs der öffentlichen Kanalisation und zentralen ARA verursachen Meldepflicht bei der Umstellung eines Industrieprozesses, der eine Anpassung der Einleitbewilligung erfordert

⁵ Theoretisch ist jede Prozessänderung oder Änderung im Maschinenpark bewilligungspflichtig im Sinne der GSchG, wenn sie eine Änderung der Abwassermenge oder –zusammensetzung zur Folge hat. In der Praxis werden diese meistens nur im Rahmen von Baugesuchen gemeldet.

Kläranlagenbetreiber	Einhalten der Einleitbedingungen Proaktive Kommunikation mit relevanten Industriebetrieben Meldung von ausserordentlichen Ereignissen bei der kantonalen Behörde
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Weitere mögliche Akteure:

Zuständige Personen von Gewässerschutzfachstellen, etc. Bei unterliegenden Trinkwasserfassungen und –aufbereitungsanlagen, die durch in der Ozonung gebildete Stoffe beeinflusst werden können, wird empfohlen, frühzeitig Kontakt mit der Wasserversorgung aufzunehmen und den Informationsfluss aufrechtzuerhalten.

3.2. Relevante Entwicklungen im Einzugsgebiet

Neueinleiter hinsichtlich Bromid stehen speziell im Fokus. Als mögliche Bromid-Einleiter kommen vor allem folgende Branchen in Frage (siehe auch VSA, 2017; Soltermann et al., 2016):

- Chemische Industrie
- Kehrlichtverbrennungsanlagen mit nasser Rauchgaswäsche (Bromid stammt hier hauptsächlich aus Flammschutzmitteln)
- Deponien (Typ C, D und E)
- Sonderabfallverwertung
- Weitere kleinere Quellen (z.B. chemische Toiletten).

Auch Neueinleiter von Nitrosaminen und Nitrosamin-Vorläufersubstanzen stehen im Fokus, da Nitrosamine selber einen Hinweis auf problematische Nitrosamin-Vorläufersubstanzen sein könnten. Nitrosamine können bei verschiedenen Bedingungen entstehen. Beispiele sind (1) das Vorhandensein von Aminen oder Nitrit in einem Abwasser mit tiefem pH (einzelnes Betriebsabwasser oder Mischung in Kanalisation) oder (2) das Vorhandensein von Aldehyden bei höherem pH. Weitere Forschungsarbeiten sind geplant, um den Wissensstand in diesem Bereich zu erhöhen.

Die VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ führt eine Liste der potentiellen Quellen (Prozesse und Industrien) von für die Ozonung problematischen Substanzen (Nitrosamin-Vorläufersubstanzen, Bromid und evtl. weitere). Diese Liste wird regelmässig aktualisiert und ist auf der Homepage www.micropoll.ch verfügbar.

3.3 Kommunikationskonzept und wichtige Instrumente zum proaktiven Vorgehen

Es wird empfohlen, dass die Gemeinde und die ARA schon bei der MV-Verfahrenswahl den Kontakt mit den anderen relevanten Akteuren aufnehmen. Während der Bauphase und nach der Inbetriebnahme sind folgende Informationsflüsse und Instrumente wichtig.

Allgemeiner Informationsfluss zwischen allen Akteuren

Im Idealfall treffen sich alle relevanten Akteure (kantonale Fachstellen, Industriebetriebe, Gemeinde und ARA-Betreiber) einmal jährlich für einen Austausch. Dabei sollen die Auswirkungen der Ableitung von Stoffen aus verschiedenen Betrieben sowie die Prozess- oder Rezepturänderungen im Betrieb, die einen Einfluss auf die Abwasserzusammensetzung bzw. auf die Ozonung haben, besprochen werden. Falls ein solches Treffen nicht möglich ist, sollte mindestens einmal pro Jahr ein direkter Kontakt zwischen dem ARA-Betreiber und den einzelnen, relevanten Industriebetrieben stattfinden. Zuständig für den Aufbau und die Erhaltung dieser Austausche ist die Gemeinde, bzw. der Kanton. Insbesondere sind folgende Kommunikationswege wichtig (diese sind im Kap. 3.4 illustriert):

- Austausch ARA-Industriebetriebe (A1 in Abb. 2)
Ein direkter Informationsfluss zwischen der ARA und den relevanten Industriebetrieben im Einzugsgebiet sollte wenn möglich aufgebaut werden (siehe auch „Best-practice“ Beispiel⁶). Es ist auch möglich, dass die Industriebetriebe die relevanten Informationen (z.B. Abfluss, Stoffe, Konzentrationen, Anzahl Überschreitungen, etc.) mittels der jährlichen Berichte an die kantonale Fachstelle übermitteln, welche diese Informationen gegebenenfalls an die Gemeinde und ARA weiterleitet. Die ARA bzw. die Gemeinde spielt hier eine zentrale Rolle. In kleineren Gemeinden, bei welchen das Fachwissen fehlt oder wenn eine ARA das Abwasser von mehreren Gemeinden reinigt, kann diese Rolle allenfalls vom Kanton übernommen werden.
- Austausch Kanton-Gemeinde (A2 in Abb. 2)
Die Gemeinde teilt dem Kanton laufend betriebliche Veränderungen und Entwicklungen bei Industrie- und Gewerbebetrieben mit. Dies passiert teilweise schon anhand der Baugesuche. Der Kanton aktualisiert laufend den Industrie-Kataster und informiert die Gemeinde/den Abwasserverband über die relevanten industriellen Aktivitäten und sensibilisiert sie bezüglich der Wichtigkeit der Überwachung einer Ozonung.
- Austausch kantonale Fachstellen (A3 in Abb. 2)
Ein konstanter Austausch zwischen den kantonalen Fachstellen, die für Abwasserreinigung, Industrie und Gewerbe, Standortförderung, Raumentwicklung, Gewässerqualität und Trinkwasser zuständig sind, wird empfohlen.
- Austausch kantonale Fachstellen mit relevanten Industriebetrieben (A4 in Abb. 2)
Ein konstanter Austausch der kantonalen Fachstellen mit den relevanten und potenziell problematischen Industrieeinleitern und ein regelmässiges Monitoring des Abwassers der betroffenen Betriebe werden empfohlen.

Unterstützende Instrumente zum proaktiven Vorgehen

- Industrie-Kataster (B1 in Abb. 2)
Ein Industrie-Kataster mit Informationen zu Grösse, Aktivität, Prozesse, Stoffe und Frachten der Industriebetriebe im Einzugsgebiet der ARA bietet eine Hilfe, um die Entwicklungen im Einzugsgebiet im Auge zu behalten. Dieser Kataster wird in der Regel vom Kanton erstellt, jedoch kann es in Einzelfällen vorkommen, dass der ARA-Betreiber einen Kataster des Einzugsgebiets erstellen muss.
- Liste der bekannten und relevanten Industrie-Branchen und Prozessen (B2 in Abb. 2)
Die Plattform stellt eine Liste⁷ der nach aktuellem Stand des Wissens für die Ozonung relevanten Industrien, Prozesse und Stoffe zur Verfügung. Diese Liste kann bei der Erteilung von Einleitbewilligungen mit entsprechenden Auswirkungen auf die Abwasserzusammensetzung herangezogen werden. Die Auswirkungen auf die kommunale Kläranlage/Ozonung und insbesondere die Frachten, die diese Einleitungen bedeuten, müssen berücksichtigt werden.
- Anforderungen an die Überwachung (B3 in Abb. 2):
 - Auf der Kläranlage: Die Anforderungen an die Überwachung können in der Einleitbewilligung der Kläranlage als Auflage festgehalten werden. Der kantonalen

⁶ Auf www.micropoll.ch verfügbar

⁷ Auf www.micropoll.ch verfügbar

- Behörde steht es frei, die zu überwachenden Parameter sowie die Untersuchungshäufigkeit festzulegen (Vorschlag siehe Kap. 4.2).
- Beim Industriebetrieb: Eine Selbstkontrolle von Parametern (aus Tab. 6) kann durch die zuständige kantonale Fachstelle in der Betriebsbewilligung des Industriebetriebs angeordnet werden. Der Betrieb misst sein eigenes Abwasser bevor es in die Kanalisation eingeleitet wird. Die relevanten Parameter sollen individuell für jeden Betrieb ausgewählt werden.

Bei Unklarheiten oder Fragen zu den relevanten Branchen, Prozesse und Stoffe können jederzeit Experten (z.B. Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» - www.micropoll.ch) beigezogen werden.

3.4 Beispielhafte Illustration der Abläufe

Nachfolgend ist anhand von zwei Beispielen illustriert, wie die im Kap. 3.3 beschriebenen Kommunikationsabläufe zu verstehen sind und wie die zur Verfügung stehenden Instrumente in den Entscheidungsprozess integriert werden können. Es wird zwischen folgenden zwei Szenarien unterschieden:

- 1) **Normalbetrieb** - auf der Kläranlage ist eine Ozonung im Bau oder in Betrieb (siehe Abb. 2 links)
- 2) **Veränderung im EZG** - auf der Kläranlage ist eine Ozonung in Betrieb und im Einzugsgebiet tritt eine industrielle Veränderung auf (siehe Abb. 2 rechts). In dem Fall können folgende zwei Situationen unterschieden werden:

Situation 2.1 - Umstellung von technischen Prozessen mit Auswirkungen auf die Abwasserzusammensetzung:

Bei der Umstellung von Produktions- oder Abwasserprozessen eines bestehenden und bekannten Industrie- oder Gewerbebetriebs mit einer gültigen Einleitbewilligung ist eine wichtige Voraussetzung, dass eine Änderung der Abwasserzusammensetzung (welche für die ARA/Ozonung relevant sein kann) möglichst frühzeitig erkannt wird. Im Idealfall wird eine Umstellung proaktiv durch den Einleiter an die betroffene ARA und die zuständigen Behörden kommuniziert. Auf diese Weise kann der Einfluss auf die Ozonung vorgängig eruiert werden (z.B. Durchführung von Tests zur Evaluation der Ozoneignung). Falls notwendig können entsprechende Massnahmen getroffen werden (z.B. Anpassung der bestehenden Einleitbewilligung des Industrie-/Gewerbebetriebs).

Situation 2.2 - Neue Industrie- und Gewerbebetriebe (oder andere für eine ARA/Ozonung potenziell problematische Neu-Einleiter) im Einzugsgebiet:

Neue Betriebe, die sich zukünftig im Einzugsgebiet niederlassen wollen, haben noch keine Einleitbewilligung. Vor ihrer Ansiedlung sollte daher geprüft werden, ob ihr Abwasser negative Auswirkungen auf die Abwasserreinigung (insbesondere die Ozonung) hat. Dies ist relativ schwierig, da dieser Betriebsstandort noch nicht existiert, und die veränderte Abwasserzusammensetzung schwierig abschätzbar ist. Notwendige Abklärungen und Abschätzungen in diesem Zusammenhang sind mit den zuständigen Fachstellen frühzeitig zu diskutieren (es kann in einem solchen Fall beispielsweise auf Erfahrungen mit ähnlichen Betrieben abgestützt werden). Eine andere Möglichkeit ist eine Einleitbewilligung mit Vorbehalt (mit konkretem Bezug auf die kritischen Stoffe), d.h. falls sich durch das industrielle

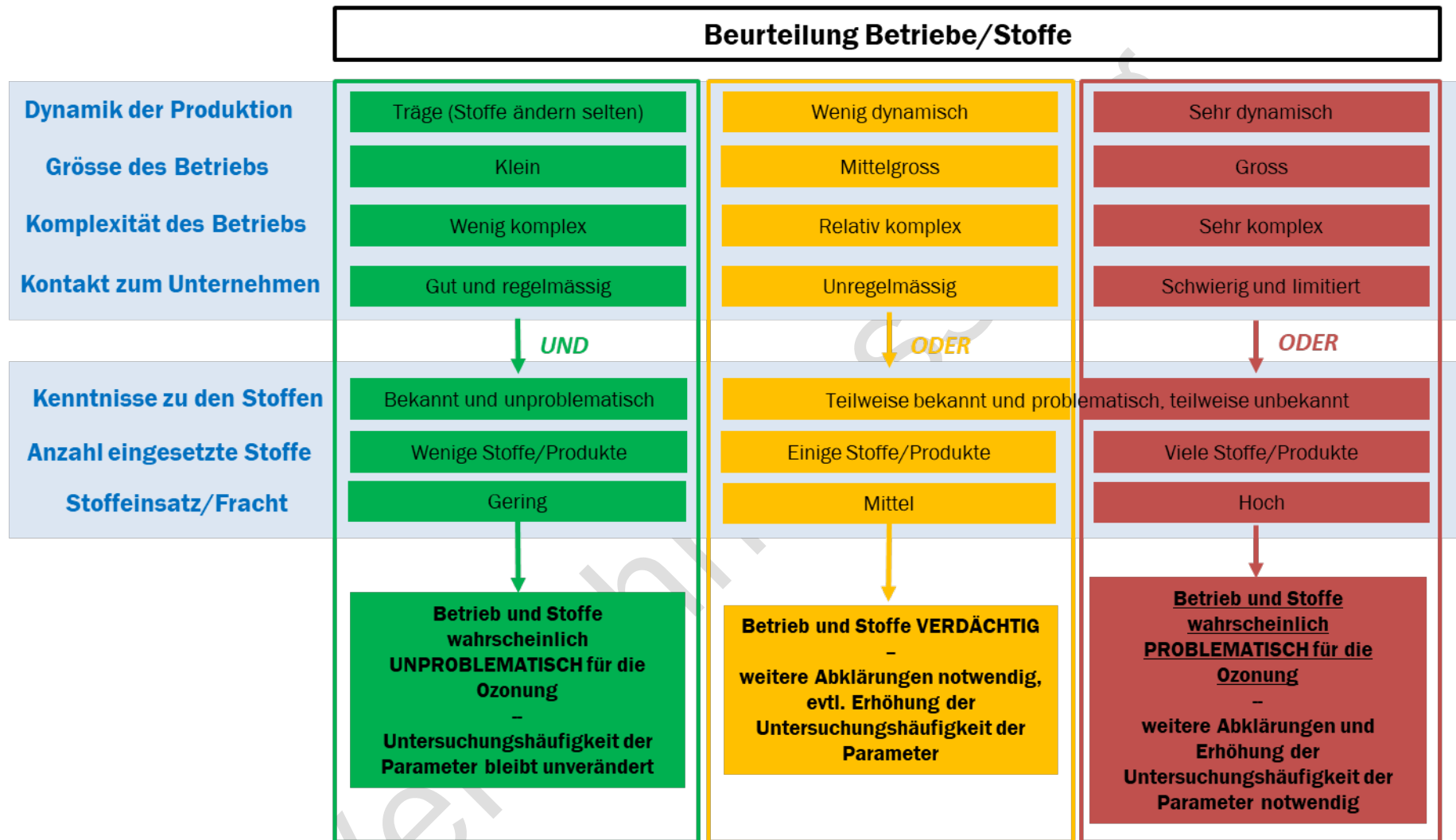


Abbildung 3. Beurteilungsmatrix der Relevanz der Industrien und eingesetzten Stoffe, sowie Einfluss auf die weiteren Abklärungen und die Untersuchungshäufigkeit der Überwachungsparameter

4. Parameterbasiertes Monitoring

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf das parameterbasierte Monitoring auf der Kläranlage eingegangen. Anhand von geeigneten Betriebsparametern kann in der Regel erkannt werden, wenn die Ozonung aufgrund einer Veränderung der Abwasserzusammensetzung vom gewohnten Betriebszustand abweicht („Abweichung vom Normalbetrieb“ – siehe Definition S. 7). Nachfolgend wird auf mögliche Parameter eingegangen welche für die Überwachung der Ozonung relevant sind. Das vorgeschlagene, dreistufige Vorgehen (siehe Abb. 4) wird in den aufgeführten Kapiteln erläutert. Das Ziel muss sein, kritische Veränderungen in der Abwasserzusammensetzung frühzeitig zu erkennen, die Ursachen abzuklären und bei Bedarf Massnahmen einzuleiten.

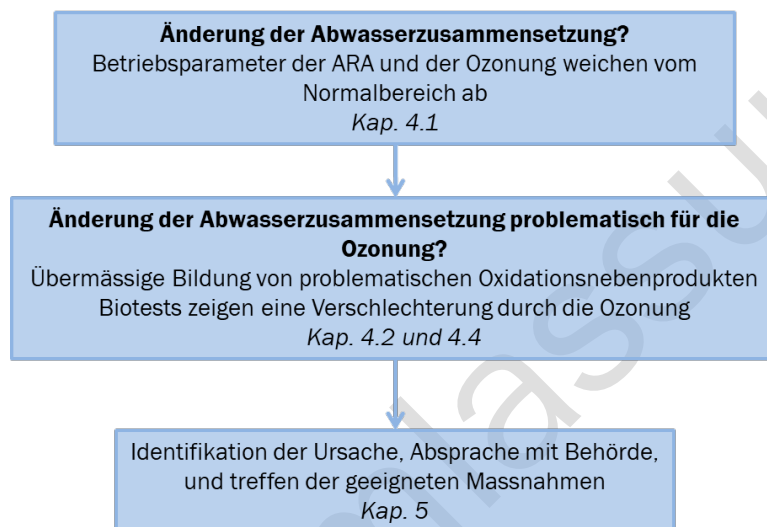


Abbildung 4. Dreistufiges Vorgehen, um zu erkennen, ob sich die Abwasserzusammensetzung geändert hat, ob diese Änderung problematisch für die Ozonung ist und was die Ursache und die geeigneten Massnahmen sind.

4.1. Überwachung anhand vorhandener Betriebsparameter der ARA und Ozonung

Auf der ARA werden regelmässig Parameter für den alltäglichen Betrieb oder für die Überwachung durch die kantonale Behörde (Einhaltung der Einleitbedingungen) erhoben. Es ist somit ein umfangreicher Datensatz vorhanden, der eine solide Datengrundlage darstellt. Abweichungen vom «normalen» Betrieb können auf eine Änderung der Abwasserzusammensetzung hindeuten, welche auch problematisch für die Ozonung ist. Daher können diese Parameter als zusätzliche Überwachungsparameter dienen, insbesondere wenn der ARA-Betreiber das Einzugsgebiet und somit die üblichen Schwankungen der Abwasserzusammensetzung kennt, und betriebliche Ursachen der ARA ausgeschlossen werden können. Die nachfolgende Auflistung geeigneter Betriebsparameter ist als Empfehlung zu verstehen: falls die Messwerte dieser Betriebsparameter vorhanden sind, können sie zur Überwachung der Abwasserzusammensetzung genutzt werden. Diese Messungen müssen jedoch nicht neu erhoben werden, falls sie nicht vorhanden sind.

Überwachung anhand der Betriebsparameter der ARA

Die Standardparameter werden anhand von Sammelproben oder online überwacht und können auf einzelne Industrien/Branchen hindeuten (siehe Tab. 4). Wenn bei diesen Parametern im Laufe der Zeit Veränderungen auftreten, die nicht auf andere Ursachen zurückzuführen sind, muss die

Untersuchungshäufigkeit der Überwachungsparameter (siehe Kap. 4.2; Tab. 6) erhöht werden und falls notwendig Massnahmen getroffen werden.

Tabelle 4. *Empfohlene Betriebsparameter, die auf der ARA regelmässig gemessen werden und mögliche industrielle Ursachen.*

Betriebsparameter ARA	Einheit	mögliche industrielle Ursache
Nitrit-N	mgN/L	erhöhte Werte im ARA-Ablauf können auf eine durch Industrieabwasser überlastete biologische Reinigung hindeuten. Nitrit kann auch direkt mit Industrieabwasser eingeleitet werden
CSB/BSB ₅	mgO ₂ /L	erhöhte CSB-Werte im ARA-Ablauf können z.B. von dominanten Lebensmittel- oder Textilbetrieben stammen oder auf neue Industriebetriebe/industrielle Prozesse, die schwerabbaubare Organik produzieren, hindeuten
DOC	mgC/L	erhöhte Werte im ARA-Ablauf können auf neue Industriebetriebe oder neue industrielle Prozesse, die schwerabbaubaren DOC produzieren, hindeuten
pH-Wert	-	pH-Stösse sind in der Regel durch Reinigungs-/Desinfektionsprozesse, die Störung einer Neutralisierungsanlage oder Baustellenabwasser bedingt
P-Werte	mgP/L	erhöhte, nicht fällbare P-Konzentrationen im ARA-Ablauf (bei normalen GUS-Werten) sind ein Hinweis auf Phosphonate oder Hypophosphite aus der Industrie
Schwermetalle im Klärschlamm	mg/kgTS	erhöhte Werte können auf einen dominanten oberflächenbehandelnden Metall-Betrieb hindeuten (z.B. Galvanik): sie sind ein Indikator dafür, dass potentiell auch Nitrosamin-Vorläufersubstanzen im Abwasser enthalten sein können
<p>Weitere Die online Messung von verschiedenen Parametern (z.B. UV, Leitfähigkeit) gemessen im ARA-Zulauf oder im Zulauf der Biologie kann hilfreich sein: starke Schwankungen über kurze Zeit können auf Industrieleitungen hindeuten.</p>		

Die regelmässige Überwachung des Metallgehalts anhand von Schlammanalysen (z.B. im Schlammstapel) ist einfach (hohe Konzentrationen) und erzielt auch repräsentative Ergebnisse. Als Anhaltspunkt für die im Klärschlamm gemessene Schwermetall-Konzentrationen können die Werte aus der Untersuchung von 64 Schweizer Kläranlagen aus dem Jahr 2016 herangezogen werden (Vriens et al., 2018).

Als Untersuchungshäufigkeit wird die Vorgehensweise gemäss GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41 oder den kantonalen Vorgaben empfohlen. Bei Veränderungen im Einzugsgebiet kann es sinnvoll sein, dass zu Beginn (erste 1-2 Jahre nach der Veränderung) häufiger gemessen wird. Falls sich die Veränderungen als unproblematisch erwiesen haben, kann die Untersuchungshäufigkeit wieder auf die gesetzlich vorgeschriebene Anzahl Probenahmen reduziert werden.

Überwachung anhand der Betriebsparameter der Ozonung („Normalbetrieb“)

Nach Inbetriebnahme⁸ der Ozonung wird empfohlen, während mindestens einem Jahr den „Normalbetrieb“ anhand einer Überwachung geeigneter Parameter zu evaluieren. Auf diese Weise soll die Anlage in Bezug auf den gewöhnlichen Betrieb besser verstanden werden (u.a. Korrelation der UV-Absorbanzabnahme mit der MV-Elimination). In Zukunft kann somit eine allfällige Veränderung der Abwasserzusammensetzung besser erkannt und verstanden werden. Eine Abweichung vom Normalbetrieb kann durch eine Veränderung bei der Abwasserzusammensetzung bedingt sein, wenn gleichzeitig betriebliche Ursachen bei der ARA ausgeschlossen werden können. Eine Abweichung der Betriebsparameter deutet aber nicht unbedingt auf eine für die Ozonung problematische Änderung der Abwasserzusammensetzung hin. Diese Parameter sind daher nur als Orientierungshilfe zu verwenden. Gegebenenfalls muss die Untersuchungshäufigkeit der Überwachungsparameter (siehe Kap. 4.2; Tab. 6) erhöht und falls notwendig Massnahmen getroffen werden.

Betriebsparameter, die bei der Evaluierung des Normalbetriebs der Ozonung gemessen werden sollen und wichtige Angaben zum Betrieb liefern, sind in Tabelle 5 aufgelistet. Steigt beispielsweise der Sauerstoff- und Ozonverbrauch kontinuierlich an bei gleichbleibender Abbauleistung der 12 Leitsubstanzen und ist nicht anderweitig erklärbar, ist dies ein Indiz für eine erhöhte Ozon- und OH-Radikal-Zehrung des Abwassers. Wenn Abwasserinhaltsstoffe (z.B. DOC, Nitrit oder industrielle Substanzen) mehr Ozon und OH-Radikale zehren, dann sinkt die Eliminationseffizienz der organischen Spurenstoffe und es muss folglich mehr Ozon dosiert werden, um die geforderte Reinigungsleistung einhalten zu können.

Die Abnahme der UV-Absorbanz (ΔUV) bei 254 nm kann als online Messungen im Zu- und Ablauf der Ozonung berechnet werden (siehe auch VSA-Plattform, 2016; VSA-Plattform, 2018). Eine Veränderung der UV-Absorbanzabnahme, welche deutlich von den gewohnten Tages-, Wochen- und saisonalen Schwankungen abweicht, und nicht anderweitig erklärt werden kann, deutet auf eine Veränderung der Abwasserzusammensetzung hin. Die kontinuierliche Erfassung der UV-Absorbanz stellt möglicherweise eine wertvolle Ergänzung zu den andern (Betriebs-)Parametern dar. Auch UV-Absorbanzmessungen bei 254 nm anhand von 24h-Sammelproben im Zu- und Ablauf der Ozonung mittels Photometer können wertvolle Erkenntnisse liefern.

⁸ In diesem Dokument wird die Inbetriebnahme als der Zeitpunkt definiert, wo die Ozonung gut und stabil funktioniert und erwartet werden kann, dass der 80%-ige Reinigungseffekt eingehalten wird.

Tabelle 5. Empfohlene Parameter, die als Betriebsparameter der Ozonung regelmässig gemessen werden, und mögliche industrielle Ursachen

Betriebsparameter Ozonung	Einheit	Mögliche industrielle Ursache
O ₃ -Produktion	kg/d	eine erhöhte O ₃ -Produktion, die auf keine anderen Ursachen zurückzuführen ist (z.B. Abwasseranfall, erhöhte DOC- oder Nitrit-Konzentration im Zulauf), kann auf industrielle ozonzehrende Stoffe hindeuten
O ₃ -Dosierung	mgO ₃ /mgDOC mgO ₃ /L	eine erhöhte Dosierung kann auf neue Industriebetriebe oder neue industrielle Prozesse, die schwerabbaubaren und mit Ozon reaktiven DOC produzieren, hindeuten (wenn auf keine anderen Ursachen zurückzuführen ist z.B. technische Mängel)
ΔUV	%	ein ΔUV, das von der Korrelation mit der Elimination der MV abweicht, kann auf eine Änderung der Abwasserzusammensetzung hindeuten (wenn auf keine anderen Ursachen zurückzuführen ist z.B. technische Mängel)

Weitere

Untersuchungen im Labor wie Ozon-Exposition oder Abbau ozonresistenter Spurenstoffe (z.B. Sucralose oder iodierten Röntgenkontrastmitteln) können zusätzliche Informationen geben. Eine Abweichung dieser Parameter von unproblematischen Referenzabwässern gibt einen Hinweis auf eine Veränderung der Abwasserzusammensetzung (siehe VSA, 2017).

Es wird empfohlen, diese Parameter kontinuierlich (online) zu messen/erheben. Bei kleinen ARA ist eine punktuelle wöchentliche Auswertung ausreichend.

4.2. Messung zusätzlicher Überwachungsparameter

Oxidationsnebenprodukte und deren Vorläufersubstanzen

Messungen von bekannten und quantifizierbaren problematischen Vorläufersubstanzen wie Bromid sind regelmässig im Zulauf zur Ozonung durchzuführen (siehe Tab. 6). Nitrosamine selber können auf das Vorhandensein von Nitrosamin-Vorläufersubstanzen hinweisen. Bromid und Nitrosamine sind auch Indikatoren für andere unbekannte Substanzen industriellen Ursprungs.

Das alleinige Vorhandensein von Nitrosamin-Vorläufersubstanzen im Zulauf der Ozonung bedeutet aber nicht unbedingt, dass bei der Ozonung Nitrosamine gebildet werden. Deshalb sind auch Messungen von Oxidationsnebenprodukten (Bromat und Nitrosamine) im Ablauf der Nachbehandlungsstufe (z.B. Sandfiltration) durchzuführen.

Im Rahmen der Evaluierung des Normalbetriebs der Ozonung (im ersten Betriebsjahr), wird empfohlen, die Bromid, Bromat- und Nitrosamine-Konzentrationen im Zu- bzw. Ablauf der Ozonung und der Nachbehandlung bei erhöhter Messhäufigkeit (siehe 1. Kolonne der Tab. 6) zu analysieren. Dies erlaubt die spezifische Bromat- und Nitrosamine-Bildung im Normalbetrieb zu evaluieren und somit Referenzwerte fürs das spezifische Abwasser zu definieren. Falls ein Testbetrieb mit verschiedenen Ozondosen vorgesehen ist, sollte dies mit der zuständigen Behörde vorher abgesprochen werden.

Ab dem 2. Jahr nach Inbetriebnahme kann die Bromat-Untersuchungshäufigkeit reduziert werden: solange die Bromidkonzentrationen unauffällig bleiben (< 100 µg/l) müssen keine Bromat-Messungen durchgeführt werden. Bei Abwässern mit einer hohen Bromat-Ausbeute sind jedoch auch bei tieferen

Bromidkonzentrationen regelmässige Bromat-Messungen im Zu- und Ablauf der Ozonung durchzuführen.

Die Chromatbildung ist in der Regel unproblematisch, da die gelöste Chrom(III)-Konzentration im Abwasser in den meisten Fällen sehr gering ist und die Chromat-Bildung sehr langsam verläuft. Aus diesem Grund wird es als ausreichend erachtet, wenn die Chromzulaufkonzentrationen bei einem konkreten Verdacht bestimmt werden.

Eine Erklärung zu den in Tabelle 6 vorgeschlagenen Messintervalle ist im Kapitel 4.3 gegeben.

Tabelle 6. *Empfohlene Parameter, die im Zulauf der Ozonung und Ablauf der Nachbehandlung gemessen werden sollen, und Messintervalle (1) im 1. Jahr nach Inbetriebnahme (IBN) der Ozonung oder bei kritischen Änderungen im Einzugsgebiet (EZG) und (2) ab dem 2. Jahr nach IBN der Ozonung oder letzten festgestellten Änderung der Abwasserzusammensetzung, wenn diese sich als unproblematisch erwiesen hat.*

Überwachungsparameter Ozonung	Untersuchungshäufigkeit	
Nach IBN Ozonung	im 1. Jahr (Evaluation «Normalbetrieb»)	ab 2. Jahr
Bei kritischen Änderungen im EZG	im 1. Jahr	ab 2. Jahr falls Änderung unproblematisch
<i>Im Zulauf der Ozonung⁹</i>		
Bromid	Identisch wie organische Spurenstoffe gemäss GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41	Identisch wie organische Spurenstoffe: Häufigkeit reduzieren gemäss GSchV Anhang 3.1 Ziff. 41
Bromat	8 bis 12mal pro Jahr	Wenn Bromid $\geq 100 \mu\text{g/l}$, Häufigkeit wie im 1. Jahr
Nitrosamine		Mindestens 2mal pro Jahr zusätzliche Messung bei Verdacht
<i>Im Ablauf der Nachbehandlung</i>		
Bromat	8 bis 12mal pro Jahr	Wenn Bromid $\geq 100 \mu\text{g/l}$, Häufigkeit wie im 1. Jahr
Nitrosamine		Mindestens 2mal pro Jahr zusätzliche Messung bei Verdacht
<i>Im Zu- und Ablauf der Ozonung und im Ablauf der Nachbehandlung</i>		
Biotests	Individuell zu beurteilen, bei konkretem Verdacht empfohlen	

Veränderung der Toxizität

Ein Minimalset an möglichen Biotests wurde im Dokument „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“ (VSA, 2017) empfohlen (siehe Tab. 7): Ames-Test (TA98, TA100, mit und ohne S9-Aktivierung), Daphnien-Test (Reproduktion von Daphnien mit *Ceriodaphnia dubia*) und kombinierter Grünalgentest. Diese Tests sind auch hier geeignet. Diese Untersuchungen sind aber relativ teuer, daher wird empfohlen sie nur bei konkretem Verdacht (d.h. wenn die anderen Parameter von den üblichen „Mustern“ abweichen und nicht anderweitig erklärt werden können). Je nach ARA-Grösse und Industrialisierungsgrad des Einzugsgebiets sollten die Biotests regelmässig durchgeführt werden. Diese Tests werden standardmässig nicht kontinuierlich durchgeführt, sondern mit einzelnen

⁹ Eine Probenahme im Zulauf der Ozonung ist vorzuziehen. Falls diese nicht vorhanden ist, kann ein Probenhemer im Zulauf der ARA verwendet werden

Abwasserproben. Es ist aber durchaus möglich, dass sich mittelfristig geeignete online Biotests etablieren werden, die mit verhältnismässigem Aufwand durchgeführt werden können. In diesem Fall sind solche Testsysteme zu bevorzugen.

Tabelle 7. Übersicht über die Biotests, die verwendeten Testorganismen, sowie die nachweisbaren Effekte (nach Langer und Kienle, 2016).

Biotest	Testorganismus	Nachweisbare Effekte (Wirkung)
Ames-Test	Bakterien (Salmonellen)	Vererbare 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

4.3. Häufigkeit und Repräsentativität der Messungen

Eine Empfehlung der Messhäufigkeit der Betriebsparameter der ARA und Ozonung ist im Kapitel 4.1 gegeben.

Für die Untersuchungshäufigkeit der zusätzlichen Überwachungsparameter (Kap. 4.2) werden zwei verschiedene Phasen unterschieden (siehe auch Tab. 6):

- 1) **Das erste Jahr nach Inbetriebnahme der Ozonung (Evaluierung des Normalbetriebs) oder der letzten festgestellten Änderung der Abwasserzusammensetzung:** Eine intensive Messkampagne mit erhöhten Untersuchungsintervallen ist empfohlen.
- 2) **Das zweite und folgende Jahr(e) nach Inbetriebnahme der Ozonung oder der letzten festgestellten Änderung der Abwasserzusammensetzung:** Die Untersuchungshäufigkeit kann reduziert werden, wenn das Abwasser im ersten Jahr diesbezüglich unauffällig war.

Um das Probenmanagement zu vereinfachen basiert die empfohlene Untersuchungshäufigkeit für Bromid auf dem Messintervall der 12 Leitsubstanzen der UVEK-Verordnung (siehe GSchV Anhang 3.1 Ziffer 41). Die Messhäufigkeit kann jedoch unabhängig von der Wirksamkeit der MV-Behandlungsstufe variieren, d.h. bei Veränderungen im Einzugsgebiet oder konkretem Verdacht kann die Untersuchungshäufigkeit der vorgeschlagenen Parameter erhöht werden, auch wenn der verlangte Reinigungseffekt bezüglich Mikroverunreinigungen von 80% eingehalten wird.

Allgemein gilt, dass die Messintervalle dieser Überwachungsparameter situationsbezogen intensiviert oder reduziert werden können (unter Einhaltung des Grundsatzes der Verhältnismässigkeit). Mehrere Faktoren sollten zu einer Erhöhung der Messintervalle führen:

- auffällige Betriebsänderungen der ARA/Ozonung („Abweichung vom Normalbetrieb“)
- eine stark variierende Abwasserzusammensetzung (z.B. auf Grund eines industriellen Einleiters im Chargenbetrieb)
- bekannte Änderungen im Einzugsgebiet
- eine starke Industrialisierung mit verdächtigen/problematischen Betrieben (Abb. 3) im Einzugsgebiet

- ein schlechter Verdünnungsfaktor im Gewässer, eine unterliegende Trinkwasserfassung oder ein ökologisch sensibles Gebiet.

In allen Fällen ist eine gute Kenntnis des Einzugsgebiets der ARA entscheidend, um die besten Messintervalle und den besten Zeitpunkt der Probenahme zu definieren. Bei konkretem Verdacht auf weitere problematische Oxidationsnebenprodukte können zusätzliche Messungen durchgeführt werden.

In den „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“ (VSA, 2017) wird empfohlen, die Untersuchungen anhand von 5-Tages-Wochenmischproben durchzuführen. Da es sich beim vorliegenden Überwachungskonzept um den täglichen Betrieb handelt und mehrere Proben über das Jahr verteilt werden, wird die übliche Probenahmedauer (48h für Untersuchungen, die mit der Beprobung für die Überprüfung des Reinigungseffekts zusammenfallen und 24h Mischproben für die Betriebsparameter) als ausreichend erachtet. Bei Parametern, für die eine online Erfassung möglich ist, ist dies zu empfehlen.

Es soll darauf geachtet werden, dass die Probe repräsentativ ist (bei Trockenwetter, Regenwetter, an unterschiedlichen Wochentagen, etc.). Die Stoffemissionen bei Betrieben mit Batchproduktion können stossweise erfolgen. In diesem Fall sind Probenahmen über längere Zeiträume empfohlen (z.B. 1- bis 2-Wochenmischproben wiederholt über mehrere Monate). Bei der Probenahme sollte auch auf Aspekte wie Betriebsferien, stark schwankende Produktionen oder Saisonalitäten geachtet werden.

4.4 Gesamtbeurteilung der Überwachungsparameter

Bei der Gesamtbeurteilung kann das Abwasser anhand der im Modul 2 der VSA-Empfehlung «Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung» (VSA, 2017) genannten Kriterien beurteilt und in die folgenden drei Bereiche eingeteilt werden:

- **Unauffälliges Abwasser:** Bei der Abwasserzusammensetzung sind keine signifikanten Veränderungen aufgetreten. Die Ozonung ist nach wie vor geeignet.
- **Abwasser mit Unsicherheiten:** Bei der Abwasserzusammensetzung scheinen periodische Veränderungen aufzutreten. Das deutet auf mögliche problematische Neu-Einleiter oder auf Umstellungen von technischen Prozessen bei bestehenden Industriebetrieben im ARA-Einzugsgebiet hin. Die Art der Auffälligkeiten und deren Quellen müssen ARA-Betreiber und Kanton beispielsweise anhand von Messungen im Netz identifizieren. Es muss gezeigt werden, dass die Veränderung der Abwasserzusammensetzung nicht problematisch für die Wasserqualität im Ablauf der Ozonung ist. In diesen Fällen wird empfohlen, eine Risikoanalyse durchzuführen. Gegebenenfalls müssen die zuständigen kantonalen Behörden zusammen mit dem entsprechenden Industriebetrieb das weitere Vorgehen und die notwendigen Massnahmen (siehe Kap. 5) absprechen. Der Fokus liegt dabei auf mittel- bis langfristigen Massnahmen auf der ARA und mittel- bis langfristigen Massnahmen an der Quelle, die ein gutes Kosten/Nutzen-Verhältnis aufzeigen.
- **Auffälliges Abwasser:** Die Abwasserzusammensetzung hat sich substantiell verändert. Eine Ozonung ist für dieses Abwasser problematisch. Die zuständigen Behörden müssen zusammen mit den ARA-Betreibern die Art der Auffälligkeiten und deren Quellen anhand von Messungen im Netz identifizieren.

Die zuständigen kantonalen Behörden müssen zusammen mit dem entsprechenden Industriebetrieb das weitere Vorgehen und die notwendigen Massnahmen (siehe Kap. 5) absprechen. Neben Sofortmassnahmen müssen mittel- bis langfristige Massnahmen an der Quelle wie auch auf der ARA geprüft und umgesetzt werden. Das Ziel ist es, in einen Zustand zurückzukommen, in dem ein sachgemässer Gewässerschutz gewährleistet ist.

Die Resultate des parameterbasierten Monitorings können auch mithilfe der im Rahmen der Evaluierung des Normalbetriebs definierten Referenzwerte eingeordnet werden.

5. Mögliche Massnahmen

Die zuständigen Behörden überprüfen periodisch, ob die Anforderungen an das von Industrien oder ARA eingeleitete Abwasser einen sachgemässen Gewässerschutz gewährleisten (Art. 15 GSchV). Bei Bedarf können die zuständigen Behörden entsprechende Massnahmen auf Basis der Art. 7 Abs. 2 GSchV (Einleitung in die öffentliche Kanalisation) und/oder Art. 15 Abs. 1b GSchV (sachgemässer Gewässerschutz) anordnen.

Nachfolgend sind mögliche Massnahmen aufgelistet (Aufzählung nicht abschliessend). Die Anwendbarkeit und Umsetzung dieser Massnahmen muss von Fall zu Fall überprüft werden.

Sofortmassnahmen (für auffälliges Abwasser und bei hohem Schadenspotential¹⁰)

- Ozonung in Absprache mit dem Kanton abstellen, Ursache identifizieren und Massnahmen prüfen
- Förderung bei betroffener Trinkwasserfassung einstellen, falls problematische Oxidationsnebenprodukte in kritischen Konzentrationen vorhanden sind

Wenn das Problem identifiziert und behoben ist, kann die Ozonung wieder in Betrieb genommen werden. Ansonsten werden mittel- bis langfristige Massnahmen an der Quelle oder auf der ARA notwendig.

Mittel- bis langfristige Massnahmen an der Quelle

- Betroffenen industriellen Prozess ändern
- Zweckmässige betriebliche Abwasservorbehandlung vor Einleitung in die Kanalisation oder Separatableitung zur ARA zur zweckmässigen Separatbehandlung vor Einleitung ins Gewässer
- Kantonale Vorgabe von Frachtlimiten/Einleitwerten von bekannten Vorläufersubstanzen
- Anderer Entsorgungsweg für Abwasser aus Industrie/Gewerbe, z.B. andere ARA ohne Ozonung, Entsorgung des Betriebsabwassers als (Sonder-)Abfall (dabei sollte sichergestellt werden, dass das Abwasser behandelt/entsorgt wird, ohne den Betrieb einer anderen Kläranlage zu beeinträchtigen; Art. 12 GSchG), Direkteinleitung in ein Gewässer, etc.
- Frachtausgleich mit Speicherbecken bei Industrie/Gewerbe und kontinuierlicher Ablauf auf die ARA, damit keine Spitzenkonzentrationen auftreten
- Umsiedelung kritischer Prozesse der betroffenen Industrie/des betroffenen Gewerbes

¹⁰ Das Schadenspotential (Gewässer, Trinkwasserfassungen) sollte bereits zu einem frühen Zeitpunkt eruiert werden.

Mittel- bis langfristige Massnahmen auf der ARA

- Betriebsoptimierung auf der ARA, z.B. BEAR-Regelstrategie (Schachtler und Hubaux, 2016), mehrstufiger LOD-Ozoneintrag (Hubaux und Schachtler, 2016) oder evtl. Dosierung von Wasserstoffperoxid (Soltermann et al., 2019; bis jetzt nur Forschungsstudie) zur Reduzierung der Bromat-Bildung, etc.
- Ozondosis zwischenzeitlich reduzieren oder ganz abstellen (in Einzelfällen und wenn bekannt ist, wann problematische Stoffe auf der ARA ankommen). Ein Abschalten der Ozonung ist nur für längere Bromidspitzen (> 24h) sinnvoll (Soltermann et al., 2019). Allerdings muss der vorgeschriebene Reinigungseffekt eingehalten werden (Anforderungen Anhang 3.1 GSchV).
- Letztmögliche Massnahme: Ozonung ausser Betrieb nehmen und durch ein Aktivkohle-Verfahren ersetzen (ohne 75% Abgeltungen des BAFU) oder eine Kombination Ozonung und Aktivkohle. So kann z. B. der Sand in der Filtration durch granulierten Aktivkohle ersetzt werden. Die Kostentragung sollte durch Verursacher gemäss Art. 31 GSchG erfolgen.

6. Fazit

In Schweizer ARA werden Ozonanlagen nur realisiert, wenn das Abwasser anhand der VSA-Empfehlung „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“ (VSA, 2017) als geeignet eingestuft wurde. Unter diesen Umständen kann eine Ozonung problemlos betrieben werden, sofern das hier beschriebene Überwachungskonzept angewendet wird, d.h. wenn die Vollzugsbehörden über industrielle Änderungen im Einzugsgebiet der ARA informiert werden, der Kläranlagenbetreiber einen guten und regelmässigen Kontakt mit den relevanten Industriebetrieben pflegt und die vorgeschlagenen Parameter überwacht werden.

7. Literaturverzeichnis

- AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich (2018). Betriebsüberwachung der Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe auf Zürcher ARA – Richtlinie.
- Hubaux, N., Schachtler, M. (2016) – Mehrstufiger Ozoneintrag - LOD-Konzept. Reduzierung des Ozonverbrauchs bei gleichbleibender Elimination der Mikroverunreinigungen. Aqua & Gas 11/2016: 50 – 56.
- Langer, M. und Kienle, C. (2016). Effektmessung: Ökotoxikologische Biotests zur Beurteilung der Abwasserbehandlung. 79./80. VSA-Fortbildungskurs: Mikroverunreinigungen, Emmetten.
- 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.
- Schachtler, M., Hubaux, N., (2016) – BEAR – Innovative Regelstrategie der Ozonung. Aqua & Gas 5/2016: 84 – 93.
- Schärer, M., Abegglen, Ch., Dominguez, D., Purtschert, I., Weber S. (2014): Betrieb und Kontrolle von Abwasserreinigungsanlagen. Vollzughilfe für zentrale Abwasserreinigungsanlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1418: 37 S.
- 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.
- Soltermann, F., Abegglen, Ch., Tschui, M., Götz, C., Zimmermann-Steffens, S., von Gunten, U. (2019). Verminderung der Bromatbildung – Mögliche Strategien zur Minimierung der Bromatbildung bei der Abwasserbehandlung mit Ozon. Aqua & Gas 1/2019: 14-21.
- Thalmann, B., Kägi, R., von Gunten, U. (2018) Metalle in der Ozonung – Verhalten von ausgewählten Metallen: Oxidation von Metallsulfiden und Metallkomplexen. Aqua & Gas 4/2018: 68-77.
- Vriens, B., Vögelin, A., Hug, S., Kägi, R., Berg, M., Winkel, L., Buser, A. (2018). Spurenelemente in Schweizer Abwasser – Aktuelle Konzentrationen und Frachten. Aqua & Gas 1/2018: 40-46.
- VSA (2017). Empfehlung „Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung“. www.micropoll.ch
- VSA-Plattform (2016). Konzepte zur Überwachung der Reinigungsleistung von weitergehenden Verfahren zur Spurenstoffelimination. www.micropoll.ch
- VSA-Plattform (2018). Erfahrungen mit UV/VIS-Sonden zur Überwachung der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen. www.micropoll.ch