

SPURENSTOFFELIMINATION BEI REGENWETTER

WIE BEI REGENWETTER EINE KONSTANTE ABBAU- LEISTUNG MIT OZON ERREICHT WERDEN KANN

Den Abbau von Spurenstoffen mit Ozon bei einer konstanten Leistung zu betreiben, ist bei Regenwetter eine zusätzliche Herausforderung. Die benötigte Ozonmenge hängt insbesondere von der DOC-Konzentration ab, die im Auslauf der biologischen Stufe bei höheren hydraulischen Belastungen vorliegt. Mit der Kombination einer geeigneten Steuerung, eines optimierten Ozoneintragsverfahrens und einer aktiven Frachtbewirtschaftung gelingt es, die Eliminationsleistung konstant zu halten.

Max Schachtler*, ARA Neugut; Johanna Otto, Envilab AG; Michael Thomann, Holinger AG

RÉSUMÉ

ÉLIMINATION DES MICROPOLLUANTS PAR TEMPS DE PLUIE

Réaliser l'élimination des micropolluants à l'aide de l'ozone avec une performance constante représente un défi par temps de pluie. La quantité d'ozone nécessaire dépend en particulier de la concentration en COD à la sortie de l'étape biologique en cas de charges hydrauliques élevées. Par conséquent, des connaissances sur la dynamique de concentration de la charge organique à l'entrée de l'ozonation en fonction du volume d'entrée, ainsi que sur le comportement de l'étape biologique par temps de pluie sont des conditions indispensables afin de réaliser un dosage approprié de l'ozone lorsqu'il pleut. La répartition de la charge de COD à la sortie de la biologie ou à l'entrée de l'ozonation doit être déterminée pour chaque STEP. La répartition de la DCO, plus facile à mesurer dans un laboratoire de station d'épuration, peut également être déterminée comme approximation.

Dans le cas de la STEP de Neugut, la charge de COD s'accroît avec l'augmentation de la quantité d'eau lors d'événements pluvieux. Un dosage proportionnel de la quantité d'ozone ne serait cependant pas une solution adaptée afin de maintenir constante l'élimination des micropolluants. Il est nécessaire de combiner la commande (l'algorithme BEAR dans la STEP de Neugut), une procédure d'apport optimisée telle que la procédure LOD ainsi qu'une gestion efficace de la charge. La mise en œuvre est compliquée et nécessite la volonté de l'exploitant d'investir dans ces optimisations.

EINLEITUNG

Die Spurenstoffelimination mit Ozon wird seit einigen Jahren erfolgreich auf vier Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz durchgeführt. Für Trockenwetterverhältnisse konnten diese ARA im Verlauf der Zeit den Betrieb der Ozonung optimieren. Dabei zeigte sich, dass in der Regel eine Ozondosis von 0,4 bis 0,8 g O₃/g DOC benötigt wird, um die in der Schweiz geforderte Spurenstoffelimination von 80% zu erreichen.

SECHS JAHRE BETRIEBSERFAHRUNG

Die ARA Neugut verfügt über die am längsten betriebene Ozonung der Schweiz und kann daher auf Betriebsdaten von sechs Jahren zurückgreifen. Aufgrund dieser Datenlage konnten viele und ganz unterschiedliche Niederschlagsereignisse analysiert werden, um daraus Aussagen für die Ozondosierung bei Regenwetter im Vergleich zu Trockenwetterbedingungen abzuleiten. Die ARA Neugut betreibt die Ozonung mit dem LOD-Verfahren (Zweikammer-Eintragssystem) [1], und die benötigte Ozonmenge wird anhand des BEAR-Algorithmus abhängig von der jeweiligen Abwasserzusammensetzung berechnet [2].

Die Verantwortlichen der ARA Neugut setzten sich im Jahr 2015 das Ziel, mit einer möglichst geringen Ozondosis die Spurenstoffelimination über die Gesamtanlage bei 82% ± 2% konstant zu

* Kontakt: max.schachtler@neugut.ch

halten, dies bei allen Witterungsverhältnissen und einer Minimierung der Bildung von Oxidationsnebenprodukten. Vorgaben zur Installation der UV/VIS-Sonden, der Sondenreinigung zum Erhalt exakter Messwerte, der Reinigungsvorrichtung für die Ozoneintragsdiffusoren und die Frachtbewirtschaftung gehörten u. a. zu den Verbesserungsmassnahmen, die in einem Artikel im *Aqua & Gas* 12/19 [3] erörtert wurden.

OZONUNG BEI REGENWETTER

Folgende Fragen sind für die Spurenstoffelimination mit Ozon bei Regenwetter von zentraler Bedeutung:

- Wie ist die Frachtverteilung des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) bei unterschiedlichen Abwassermengen? Bleibt die Fracht im Ablauf der Nachklärung resp. Zulauf zur Ozonung bei Niederschlag im Vergleich zum Trockenwetter konstant, da bei zunehmender Abwassermenge eine Verdünnung der DOC-Konzentration zu erwarten ist?
- Kann die Konzentration des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Zulauf der Ozonung anstelle der DOC-Konzentration als Vergleichsparameter verwendet werden?
- Kann bei Regenwetter eine zuverlässige Elimination der Spurenstoffe erzielt und die bei Regen geringere Abbauleistung der Biologie bezüglich der Spurenstoffe durch eine angepasste Ozondosis kompensiert werden?
- Welche Ozondosis ist für die Abwassermengen von 11 000 bis 60 000 m³/Tag (minimaler Abwasserzufluss bis Starkregen) erforderlich, um eine Spurenstoffelimination knapp über 80% zu erreichen?
- Wie wichtig sind Betriebsmonitoring und -führung mit dem BEAR-Algorithmus und eine Frachtbewirtschaftung des Abwassers für eine konstante Eliminationsleistung bei allen Wetterlagen?

Diese Fragen werden im vorliegenden Artikel, basierend auf den sechsjährigen Betriebserfahrungen der ARA Neugut, beantwortet.

ABWASSERMENGEN UND FRACHTEN

KUMULATIVE VERTEILUNG DER ABWASSERMENGEN

Die ARA Neugut ist für 150 000 EW dimensioniert. Aktuell beträgt die Belastung 100 000 EW. *Figur 1* zeigt die kumulative Häufigkeit der Abwassermengen, die in den Betriebsjahren 2018 und 2019 behandelt wurden. Die minimale Abwassermenge betrug 11 000 m³/Tag und die maximale Abwassermenge 60 000 m³/Tag. Die anfallende Abwassermenge bei Trockenwetter (bestimmt nach VSA) $Q_{TW,VSA}$ der ARA Neugut betrug 15 000 m³/Tag. In weniger als 5% der Fälle im Jahr stieg die Abwassermenge über 33 000 m³/Tag.

DOC-FRACHTVERTEILUNG IM ZULAUF DER OZONUNG

Der DOC wird für die Auslegung der vierten Reinigungsstufe verwendet und ist der Vergleichsparameter für die Ozondosis. Daher ist es von Interesse, wie sich der DOC im Verhältnis zur Abwasserzulaufmenge verhält. Die Beziehung zwischen den DOC-Frachten im Zulauf zur Ozonung und den Abwassermengen ist in *Figur 2* abgebildet. Trotz der Verdünnung des Abwassers und damit sinkenden DOC-Konzentrationen nahm die Fracht mit zunehmender Abwassermenge zu. Aus *Figur 2* lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bis zu einem Abwasseranfall von rund 19 000 m³/Tag steigt die DOC-Fracht mit zunehmender Abwassermenge praktisch linear an, d. h. bis zu dieser Abwassermenge findet noch keine oder nur eine geringe Verdünnung der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonung statt. Dies deutet auf einen geringen Fremdwasseranteil im Einzugsgebiet hin.
- Erst bei höheren Abwassermengen (d. h. grösseren Regenergegnissen) tritt der zu erwartende Verdünnungseffekt ein: Die DOC-Fracht steigt weniger stark an als bei kleineren Abwassermengen, jedoch nimmt die DOC-Fracht auch bei grossen Niederschlagsmengen immer noch zu.

CSB-KONZENTRATION ALS PARAMETER FÜR DIE AUSLEGUNG

Für die Dimensionierung der 4. Reinigungsstufe und den Vergleich der Ozondosisierung wird üblicherweise die DOC-Konzentration verwendet resp. die relative Ozondosis g O₃/g DOC als Basis genommen. Die wenigsten Kläranlagen messen jedoch regelmässig die DOC-Konzentration. Damit stehen die Planer vor der Herausforderung, die 4. Reinigungsstufe zu dimensionieren, ohne auf entsprechende DOC-Messwerte zurückgreifen zu können. Die Frage ist daher, ob die üblicherweise vorhandenen CSB-Konzentrationen (chemischer Sauerstoffbedarf) anstelle der DOC-Messwerte verwendet werden können.

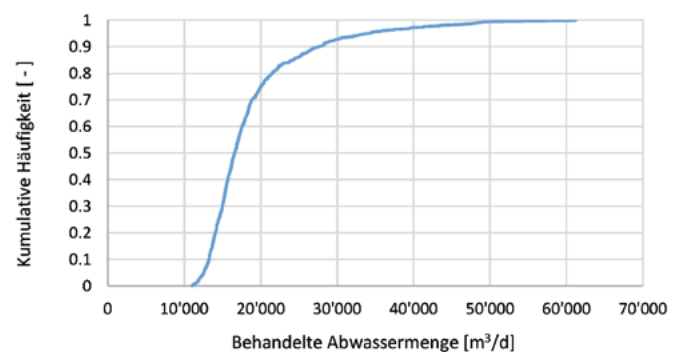


Fig. 1 Häufigkeitsverteilung der in der ARA Neugut behandelten Abwassermengen in den Jahren 2018 und 2019.

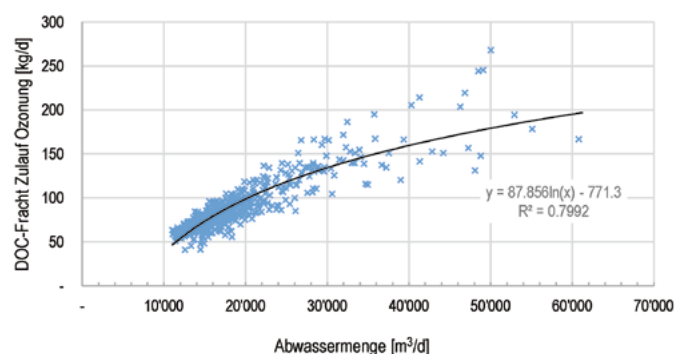


Fig. 2 Verteilung der DOC-Frachten im Zulauf der Ozonung der ARA Neugut (24-Stunden-Mittelwerte aus den Jahren 2018 und 2019).

Die im Kläranlagenlabor mit einem Küvetten-Schnelltest gemessene CSB-Konzentration bietet in der Regel eine höhere Genauigkeit als die mit Küvetten fotometrisch ermittelte DOC-Konzentration. Der CSB erfasst im Gegensatz zum DOC auch die chemisch oxidierbaren organischen und anorganischen Stoffe wie z. B. Nitrit. Daher sollte der Vergleich mit dem DOC idealerweise mit dem $CSB_{gelöst}$ vorgenommen werden. Bei konstanter Abwasserzusammensetzung (gesamte ungelöste Stoffe GUS, Ammonium, Nitrit usw.) kann auch die Messung des CSB_{gesamt} zum Vergleich mit dem DOC herangezogen werden. In der ARA Neugut wird der CSB_{gesamt} gemessen, da die Abwasserzusammensetzung sich wenig verändert [3].

In *Figur 3* sind die DOC- und CSB_{gesamt} -Frachten bei Abwassermengen von 11 000 bis 15 000 m³/Tag gegeneinander aufgetragen. Die Menge von 15 000 m³/Tag entspricht dem Trockenwetterabfluss $Q_{TW,VSA}$ gemäss *Figur 1* und wurde berechnet aus $(Q_{50\%} + Q_{20\%})/2$, wobei $Q_{x\%}$ die Abwassermenge ist, die an x% der Tage unterschritten wird. Der Vergleich zeigt, dass eine gute Korrelation von CSB_{gesamt} zu den DOC-Werten besteht und die CSB-Konzentration für die Dimensionierung der vierten Reinigungsstufe anstelle des DOC-Wertes verwendet werden kann. In den weiteren Ausführungen wird der DOC, der in der ARA Neugut als Vergleichsgrösse zur Verfügung steht, verwendet.

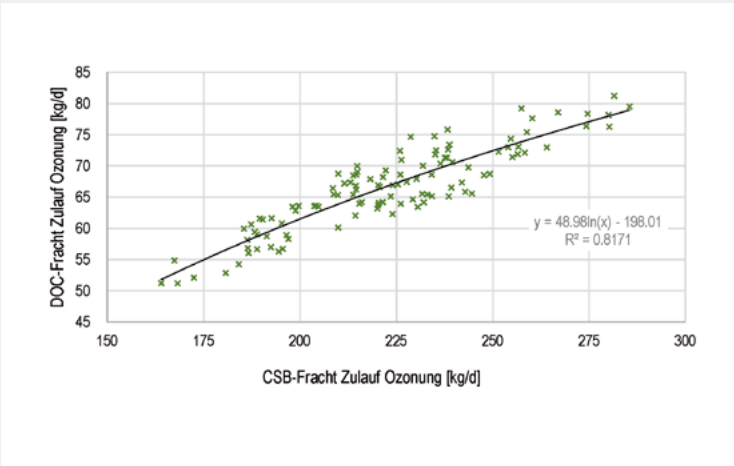


Fig. 3 Vergleich der DOC-Fracht und CSB_{gesamt} -Fracht in der ARA Neugut bei Abwassermengen von 11 000 bis 15 000 m³/Tag (24-Stunden-Mittelwerte).

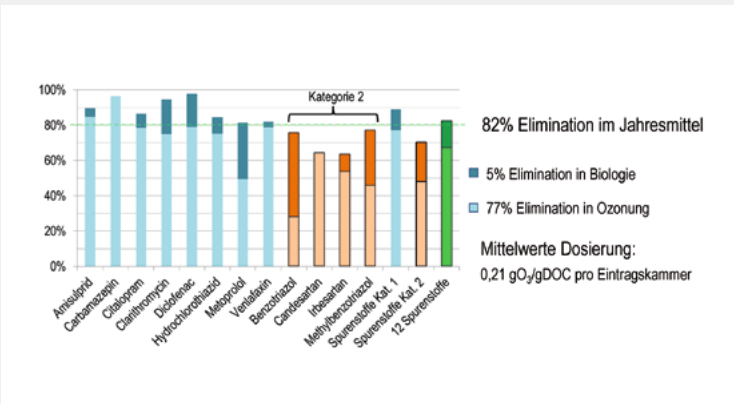


Fig. 4 Elimination der 12 Leitsubstanzen über die gesamte ARA Neugut von 2016 bis 2018. Der Anteil der Ozonung ist hell, derjenige der Biologie dunkel dargestellt. Im Jahresmittel, d. h. bei allen Witterungsverhältnissen, wurde über die Gesamtanlage eine 82%ige Spurenstoffelimination erreicht (Ozondosis im Mittel: 0,21 g O₃/g DOC pro Eintragskammer; 24-Stunden-Mischproben).

Die Darstellungen und Schlussfolgerungen könnten aber grundsätzlich gleichermassen mit dem CSB gemacht werden.

SPURENSTOFFELIMINATION BEI REGEN

SPURENSTOFFELIMINATION IN BIOLOGIE UND OZONSTUFE

Die Spurenstoffelimination (EMV) der gesamten ARA wie auch die Anteile der Biologie und der Ozonstufe sind bei Trockenwetter mehrheitlich gut bekannt. Je nach Substanz trägt die Biologie einen mehr oder weniger grossen Anteil zur Gesamtelimination bei. *Figur 4* zeigt die Elimination der 12 Leitsubstanzen des BAFU, anhand derer die EMV-Leistung beurteilt wird [4], in der Biologie und der Ozonstufe der ARA Neugut. Gemäss internen Zielvorgaben wird die Ozonung so betrieben, dass eine Spurenstoffelimination von 82% ± 2% über die gesamte ARA hinweg erreicht wird. Dafür muss die Ozonung ca. 77% der Elimination leisten, die restlichen 5% werden durch die Biologie erbracht, was zusammen eine Gesamtelimination von 82% ergibt. Die Spurenstoffe der Kategorie 1 (sehr gut eliminierbare Stoffe) werden – wie erwartet – sehr gut durch die Ozonung der ARA Neugut eliminiert. Hingegen ist der Anteil der Biologie an der Elimination für einzelne Spurenstoffe der Kategorie 2 (gut eliminierbare Stoffe), wie Benzotriazol oder Methyl-Benzotriazol, wesentlich höher. Im Durchschnitt beträgt der Eliminationsanteil der Biologie 5%. Insgesamt trägt die Eliminationsleistung der Biologie dazu bei, dass die Ozondosis im Ozonreaktor verringert werden kann.

SPURENSTOFFELIMINATION IN DER OZONSTUFE

Für die weitere Betrachtung der Eliminationsleistung wurden die Abwassermengen in vier Kategorien unterteilt, die unterschiedliche Niederschlagsmengen widerspiegeln (*Tab. 1*). Zunächst wurde die Spurenstoffelimination in der Ozonstufe, d. h. vom Zulauf Ozonung bis zum Ablauf in den Vorfluter, anhand der vorgeschriebenen 48-Stunden-Mischproben ermittelt [5]. In der Ozonstufe muss die Spurenstoffelimination nur soweit erfolgen, dass über die gesamte ARA, also zusammen mit der Eliminationsleistung der Biologie, die geforderte 80%ige Spurenstoffelimination erreicht wird. Daher liegt die Spurenstoffelimination in der Ozonstufe der ARA Neugut in der Regel knapp unter 80%. In *Figur 5* ist für die vier Kategorien die Eliminationsleistung der Ozonstufe und in *Figur 6* die Eliminationsleistung über die gesamte ARA aufgetragen sowie deren kumulative Häufigkeit. *Figur 5* zeigt, dass die Spurenstoffelimination in der Ozonstufe der ARA Neugut meistens unterhalb von 80% lag. Der Median (50%-Quantil) der Spurenstoffelimination in der Ozonung betrug 78% für die Kategorie «Trocken». Mit zunehmender Abwasser-

Niederschlagsmenge pro Tag	Kategorie Wetter	Abwassermenge m ³ /Tag	Anzahl EMV-Messungen
< 5 mm	Trocken	11 000–15 000	28
< 15 mm	Regen	15 000–19 000	51
< 30 mm	Mittlerer Regen	19 000–26 000	32
> 30 mm	Starkregen	26 000–60 000	8

Tab. 1 Einteilung der in der ARA Neugut anfallenden Abwassermengen in vier Kategorien. Zusätzlich ist die Anzahl der durchgeführten Spurenstoffmessungen für jede Kategorie angegeben (48-Stunden-Mischproben).

menge musste die Eliminationsleistung der Ozonstufe erhöht werden auf bis über 80% bei der Kategorie «Starkregen». Nur so liess sich bei höheren Abwassermengen infolge von Regenereignissen der angestrebte Zielwert der Elimination von $82\% \pm 2\%$ über die gesamte ARA erreichen.

SPURENSTOFFELIMINATION ÜBER DIE GESAMTE ARA

Die Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201; [5]) verlangt über die gesamte Kläranlage eine Eliminationsleistung der 12 Leitsubstanzen von 80%. Aus *Figur 6* ist ersichtlich, dass die Spurenstoffelimination in der ARA Neugut für alle vier Abwassermengen-Kategorien im Median zwischen 81 und 83% betrug. D. h. die Zielvorgabe der ARA Neugut von $82\% \pm 2\%$ war meistens erfüllt. Bei 90% aller Messungen (ungeachtet der Abwassermengen-Kategorie) wurde eine Spurenstoffelimination zwischen 80 und 85% erreicht. Dies bedeutet, dass es der angewendete BEAR-Algorithmus ermöglicht, in 90% der Fälle die Spurenstoffelimination in diesem engen Band konstant zu halten. In den restlichen Fällen wurde der Zielbereich knapp unter- oder überschritten.

Dass durch die bedarfsgerechte Ozondosierung mit BEAR eine konstante Spurenstoffelimination in diesem engen Band erreicht wird, erlaubt es dem Betreiber, die Eliminationsleistung selbst zu überwachen, analog zur bekannten ARA-internen Laboranalytik. Die Analysen der Abwasserproben im externen Labor mittels LC-MS/MS-Analytik dienen somit zur Bestätigung und der Qualitätssicherung des Betriebsmonitorings. Das Ergebnis ist eine wirtschaftlich optimierte Ozonung bei gleichzeitiger Minimierung möglicher Oxidationsnebenprodukte.

BETRIEBSMONITORING UND FRACHTBEWIRTSCHAFTUNG

Die zentrale Frage dabei ist, welche Ozondosen für das Erreichen der angestrebten Eliminationsleistung bei den vier Abwassermengen-Kategorien bereitzustellen waren. Um dies zu beantworten, wurde die kumulative Häufigkeit der eingesetzten Ozondosen für die vier Abwassermengen-Kategorien aufgetragen (*Fig. 7*). Wie erwartet wurden in der Kategorie «Trocken» die geringsten Ozondosen eingesetzt. Bei den Kategorien «Regen» (bis 15 mm Niederschlag) und «Starkregen» (Niederschlag > 30 mm) waren die Ozondosen im Vergleich zu «Trocken» um durchschnittlich 5% höher. Die benötigten Ozondosen lagen für die Kategorie «Mittlerer Regen» dazwischen. Dies mag im ersten Moment kontraintuitiv sein. Ein Regenereignis mit bis 15 mm oder über 30 mm Niederschlag kann jedoch ähnlich in seiner Heftigkeit und somit in seiner Auswirkung sein. Generell sind kurze heftige Regenereignisse Faktoren, welche zu den grössten Veränderungen in der Biologie und demzufolge in der Ozonung führen, z.B. durch eine starke Zunahme der DOC-Fracht und eine rasche Verschiebung der Rohwasserkonzentrationen in die Biologie ($\text{NH}_4\text{-N}$, P_{tot} usw.).

Um diese Beeinflussung zu dämpfen, wird in der ARA Neugut eine Frachtbewirtschaftung betrieben: Ein Anteil der täglichen Abwassermenge wird bei Bedarf in ein Pufferbecken geleitet, um einen gleichmässigeren Verlauf der Abwasserfracht über den Tag hinweg zu erhalten. So können beispielsweise kurze, heftige Regenereignisse abgemildert werden. Die Folge davon ist: Die Mikroorganismen der Biologie sowie die verfahrenstechnischen Steuerungskomponenten erhalten mehr Zeit, sich auf die verändernde Abwasserzusammensetzung und die steigende Fracht einzustellen. Damit können zum einen der Ressourcenverbrauch in der Gesamtanlage wie auch in der vierten Reinigungsstufe

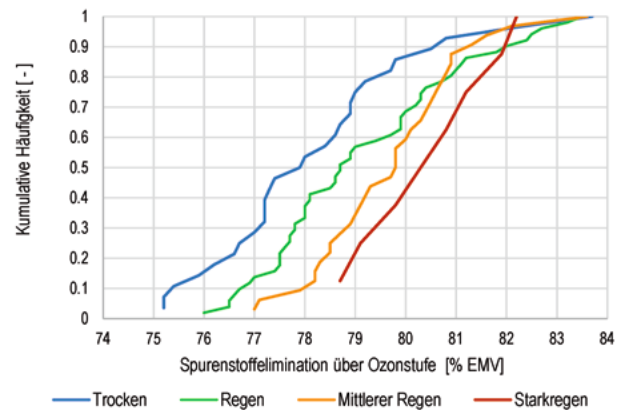


Fig. 5 Spurenstoffelimination in der Ozonstufe der ARA Neugut (ab Ablauf Nachklärung bis Ablauf in den Vorfluter) für die vier Abwassermengen-Kategorien (48-Stunden-Mischproben).

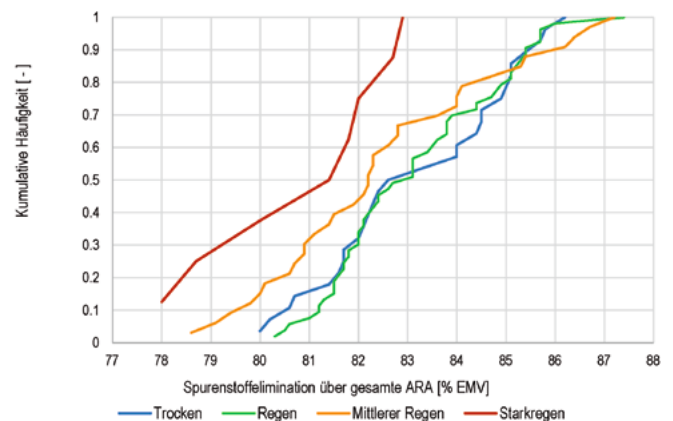


Fig. 6 Spurenstoffelimination über die gesamte ARA Neugut (ab Ablauf Vorklä- rung bis Auslauf in den Vorfluter) für die vier Abwassermengen-Kategorien (48-Stunden-Mischproben).

vermindert werden, zum anderen werden die steigende Fracht und Abwassermenge bei Niederschlägen abgedeckt.

Trotz diesen Optimierungen ist die Bandbreite der Ozondosen für eine zielgerichtete Spurenstoffelimination im Bereich von 80 bis 85% bei allen vier Abwassermengen-Kategorien erheblich. Das Minimum lag für alle Kategorien bei $0,32 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$ und das Maximum bei $0,54 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$. Damit ergab sich die weitere Frage, welcher Zusammenhang zwischen Ozondosis und Abwassermenge besteht. *Figur 8* zeigt, dass Ozondosen im Bereich von $0,35$ bis $0,45 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$ bei Abwassermengen von $11\,000$ bis $60\,000 \text{ m}^3/\text{Tag}$ in 82% aller Tage erforderlich waren. 13% der Messwerte lagen über diesem Bereich. Diese sind auf kurze heftige Niederschläge zurückzuführen. Weitere 5% der Messwerte lagen unter diesem Bereich. Jene sind auf den Effekt zurückzuführen, dass die Abwassermenge nach einem Niederschlag nachlässt, besonders bei längeren Regenperioden.

Was bedeutet schliesslich die grosse Bandbreite der Ozondosen für die Wahl der Installationen und den Betrieb der Ozonung

mit einer konstanten Spurenstoffelimination von 80 bis 85%? Die Betrachtung des gesamten Abwasserprozesses der ARA Neugut der letzten sechs Jahre führt zu folgenden Feststellungen:

- Die grosse Bandbreite der Ozondosen weist darauf hin, dass der DOC nicht allein für die benötigte Ozondosis massgebend ist, sondern auch die Abwasserzusammensetzung und somit die Ozonzehrung des Abwassers [2].
- Abwasserzusammensetzung und Ozonzehrung ändern sich bei unterschiedlichen Abwassermengen und unterschiedlichen Niederschlagsereignissen (kurze und heftige versus lang andauernde und schwache Niederschläge).
- Die UV/VIS-Sonden liefern zusätzliche Informationen zur Abwasserzusammensetzung und der Δ SAK-Wert zur Eliminationsleistung.
- Die Messparameter Nitrit, Redox und Trübung vervollständigen die Messeinrichtung. Je nach Schwankungsbereich der Zulauftemperatur und des pH-Wertes kann es sinnvoll sein, diese Parameter ebenfalls zu berücksichtigen.
- Die biologische Abwasserreinigung beeinflusst die benötigte Ozondosis ebenso wie die internen Rückläufe.

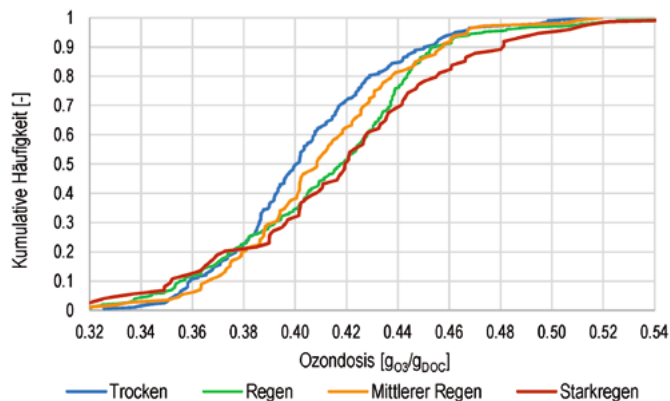


Fig. 7 Benötigte Ozondosen für 80 bis 85% Eliminationsleistung in den vier Abwassermengen-Kategorien (24-Stunden-Mischproben, ARA Neugut).

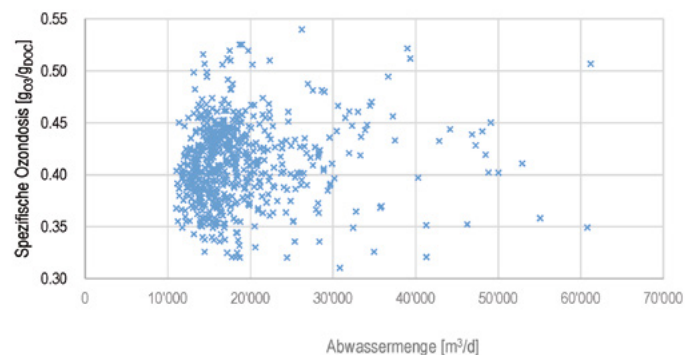


Fig. 8 In der ARA Neugut benötigte Ozondosen für Betriebsmonitoring/-führung mit BEAR-Algorithmus in Abhängigkeit von der Abwassermenge. Die Bandbreite der Spurenstoffelimination betrug 80 bis 85% (24-Stunden-Mischproben).

- Kurzfristig stark ansteigende Abwassermengen oder Frachten wirken sich auf die Biologiestufe sowie auf die benötigte Ozondosis aus. So ist bei heftigen Regenereignissen die Ozondosis kurzfristig um 10 bis 30% zu erhöhen, d. h. von üblich 0,40 g O₃/g DOC auf bis zu 0,54 g O₃/g DOC.

Gute Reinigungswerte (z. B. kein Nitrit nachweisbar) und geringe GUS-Anteile im Ablauf der Nachklärung unterstützen das Ziel, die Ozondosis gering zu halten. Dies bedeutet, dass die Integration der Biologiestufe bei der Planung und Realisierung der vierten Reinigungsstufe zu einem stabileren und wirtschaftlicheren Betrieb der Ozonung führt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Spurenstoffelimination bei allen Wetterlagen knapp über der geforderten Eliminationsgrenze von 80% zu halten, ist mithilfe einer geeigneten Steuerung (BEAR-Algorithmus), eines optimierten Ozoneintragsverfahrens (LOD-Verfahren) und einer aktiven Frachtbewirtschaftung machbar. Die Erfahrung der ARA Neugut zeigt, dass in 90% der Fälle die Eliminationsleistung zwischen 80 und 85% beträgt. Mit dieser engen Bandbreite der Spurenstoffelimination kann am effektivsten der Bildung von Oxidationsnebenprodukten entgegengetreten werden. Zugleich ist eine hohe Wirtschaftlichkeit der Ozonstufe gegeben. Anhand der erhobenen Daten konnte weiter gezeigt werden, dass die DOC-Fracht mit steigender Abwassermenge zunimmt. Dies bedeutet, dass mit steigender Abwassermenge eine höhere Ozondosis erforderlich ist. Der Vergleich der DOC- mit den CSB-Frachten zeigt eine gute Übereinstimmung. Deswegen kann bei nicht ausreichenden oder fehlenden DOC-Werten im Ablauf der Nachklärung die CSB-Konzentration für die Dimensionierung der vierten Reinigungsstufe verwendet werden. Hier ist zu beachten, dass die Korrelation von der Abwasserzusammensetzung abhängig ist. Somit ist sie spezifisch für jede ARA zu ermitteln.

OZONDOSIS UND KONSTANTE SPURENSTOFFELIMINATION

Für eine konstante Spurenstoffelimination im engen Band von 80 bis 85% ist eine Ozondosis von total 0,32-0,54 g O₃/g DOC, resp. von 0,16-0,27 g O₃/g DOC pro Eintragskammer, erforderlich. Die grosse Bandbreite der Ozondosen bei allen Witterungsverhältnissen weist darauf hin, dass eine konstante Spurenstoffelimination dem Einfluss der DOC-Fracht, der Abwasserzusammensetzung und der Ozonzehrung der Wasserinhaltsstoffe unterliegt. Sie zeigt auch auf, dass einfache proportionale Strategien (Dosierung proportional zur Abwassermenge oder zum SAK_{IN}-Wert im Zulauf) nicht zielführend sind, um eine konstante Eliminationsleistung bei gleichzeitiger Minimierung von Oxidationsnebenprodukten zu erreichen.

STARKREGEN UND ELIMINATIONSLEISTUNG

Allgemein ist mit dem BAFU und den kantonalen Behörden zu diskutieren, ob bei Starkregen, der an 3 bis 6% der Tage im Jahr auftritt, die Eliminationsleistung von 80% stets zu erfüllen ist. Dies ist zwar einfach mittels starker Erhöhung der Ozondosis möglich, jedoch bleibt abzuwägen, ob dies immer sinnvoll ist. Durch eine hohe Ozondosis entstehen Oxidationsnebenprodukte, deren Bildung es zu vermeiden gilt. Ferner hat eine hohe eingesetzte Ozondosis Auswirkungen auf die Dimensionierung

der vierten Reinigungsstufe. So müssen z.B. die Generatorenleistung und Reaktorgrosse anders ausgelegt werden.

FRACHTBEWIRTSCHAFTUNG

Mit der Frachtbewirtschaftung können rasch ansteigende Abwassermengen und Frachten gedämpft werden. Jede Dämpfung wirkt sich positiv im Gesamtsystem der Kläranlage aus. Damit lässt sich die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage steigern und eine optimale Reinigungsleistung erzielen. Eine gut funktionierende biologische Reinigung vor der Ozonstufe sowie eine bedarfsgerechte Ozondosierung sind daher wirtschaftlich ebenso wichtig wie die Fracht-, Abwasser- und Rücklaufbewirtschaftung. Für die Vernetzung möglichst vieler Aspekte und der dazu notwendigen Installationen braucht

es Zeit und Investitionen und vor allem auch den Willen des Betreibers.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Hubaux, N.; Schachtler, M. (2016): Mehrstufiger Ozoneintrag – LOD. Reduzierung des Ozonverbrauchs bei gleichbleibender Elimination der Mikroverunreinigungen. *Aqua & Gas* 11/16: 50–56
- [2] Schachtler, M.; Hubaux, N. (2016): BEAR: Innovative Regelstrategie der Ozonung – UV-Messtechnik für Regelung und Überwachung der Elimination von Mikroverunreinigungen. *Aqua & Gas* 5/16: 84–93
- [3] Schachtler, M. (2019): Ozonung ohne Bromatbildung – Wie Dimensionierung und Betriebsweise eine niedrige Ozonkonzentration ermöglichen. *Aqua & Gas* 12/19: 40–46
- [4] SR 814.201.231 (2016): Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen

DANK

Mein Dank geht an das Team der ARA Neugut für den grossen Einsatz. Weiter geht mein Dank an die Wissenschaftlerin *Annette Remmele* für die Aufbereitung der Daten, an die Herren *Alessandro Piazzoli* und *Christian Götz* wie auch an *Margarete Bucheli* für die Unterstützung bei diesem Beitrag.

Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen vom 3. November 2016 (Stand am 1. Dezember 2016). <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20160123/index.html>

- [5] GSchV (2020): Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2020), SR 814.201. www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983281/index.html

HUBER
TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

Heizen und Kühlen mit Abwasser?

Die Lösung: Abwasserwärmetauscher HUBER RoWIN®

- ▶ Konstante Wärmeübertragung
- ▶ Vollautomatische Selbstreinigung mit Sedimentabzug
- ▶ Für Abwässer, Schlämme und besondere Medien
- ▶ Keine Einbauten in der Kanalisation
- ▶ Geruchsgekapselt
- ▶ Erneuerbare Energie

Picotech HUBER AG
www.picotech.ch

Aqua Pro Gaz, Bulle 5.–7.02.2020
Halle 40, Stand 20-117
Wir freuen uns auf Ihren Besuch!

