

Betrieb von Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination auf ARA bei Regenwetter

Dieses Dokument fasst den aktuellen Kenntnisstand zum Betrieb von Anlagen zur Spurenstoffelimination auf ARA in der Schweiz während Regenwetter zusammen. Die Inhalte basieren grösstenteils auf den Ergebnissen eines Workshops vom 25. Oktober 2021. Wenn weitere Erkenntnisse dazu kommen, kann dieses Dokument ergänzt werden.

Teilnehmende des Workshops:

- *Ingenieure und Ausrüster: Baggenstos M. (Hunziker), Busch A. (Wabag), Leikam K. (Afy), Rieck T. (Gujer), Salzgeber D. (Holinger), Metzger S., Ehrhardt F. (Weber Ingenieure, D)*
- *ARA-Betreiber: Bhend Th. (ARA Wetzikon), Eyer R., Gubser N. (ARA Werdhölzli), Meyer D. (arabern), Klaus Th. (ARA Schönau), Baumann A., Schoppe I. (ARA Thunersee)*
- *Forschung: Böhler M. (Eawag, CH), Joss A. (Eawag, CH), McArdell Ch. (Eawag), Siegrist H. (ehem. Eawag), Thomann M. (FHNW)*
- *Bundesamt für Umwelt: Dominguez D. (Sektion Gewässerschutz)*
- *Kantone: Gerber M. (Kanton SG), Holliger U. (Kanton ZH)*
- *VSA: Brander A., Gulde R., Tamà N., Wunderlin P. (VSA-Plattform)*

Hintergrund

Der Reinigungseffekt bezüglich Spurenstoffen ist in der Schweiz bei jeder Witterung einzuhalten, analog zu den Parametern CSB, BSB₅, Phosphor und totaler Stickstoff. Dies führt gemäss einer Umfrage bei den Betreibern von Anlagen zur Spurenstoffelimination auf ARA in der Schweiz teilweise zu Schwierigkeiten. Denn im Unterschied zu den anderen Parametern liegen für die Berechnung des Reinigungseffekts bezüglich Spurenstoffe weniger Messwerte vor. Vor diesem Hintergrund hat die VSA-Plattform den Workshop vom 25.10.21 mit den oben genannten Experten organisiert.

Schwierigkeiten und Lösungsansätze

Ozonanlagen

Die Steuer-/Regelung von Ozonanlagen ist bei Regen schwierig aufgrund veränderter Abwasserzusammensetzung. Es sind vielfach manuelle Eingriffe nötig, um eine Über- oder Unterdosierung zu vermeiden und somit sowohl Ozondurchbrüche als auch eine zu tiefe Reinigungsleistung zu verhindern. Bei zu hohen Ozondosen besteht zusätzlich das Risiko der erhöhten Bromatbildung. Betriebsoptimierungen erfolgen individuell durch Ausprobieren verschiedenster Betriebsstrategien.

Bei Anlagen, die über zwei Ozon-Eintragskammern verfügen, ist bei Regen zu beachten, dass der Ozon-Eintrag der beiden Kammern aufeinander abgestimmt ist. Kommt dazu, dass bei der zweiten Eintragskammer die Aufenthaltszeit kürzer ist als bei der Ersten.

Auf der ARA Neugut wurde beobachtet, dass bei starkem Regen die biologische Reinigungsstufe weniger Spurenstoffe eliminiert als bei Trockenwetter. Das ist durch eine zusätzliche Elimination der MV-Stufe zu kompensieren. Der Anteil der Biologie ist jedoch mit 5% Eliminationsleistung im Jahresmittel eher gering. Auf der ARA Neugut hat sich bei Regenwetter folgendes bewährt:

- Optimierter Ozon-Eintrag (siehe [A&G 12/19](#)): D.h. Ozon wird in zwei Kammern über feinblasige Diffusoren in den Reaktor eingetragen.
- Aktive Frachtbewirtschaftung mit Pufferbecken auf der ARA (siehe [A&G 2/20](#))

UV-Sonden, die bei 254nm messen, sind derzeit die beste Methode, um ohne Spurenstoffmessungen den Reinigungseffekt zu überprüfen. Bei Trockenwetter sind die UV-Sonden zudem für die Steuer-/Regelung von Ozonanlagen sehr nützlich. Während Regenwetter sind zusätzliche Informationen erforderlich: Weitere Parameter wie Nitrit oder DOC im Zulauf zur Ozonung liefern wichtige Zusatzinformationen, um die notwendige Ozon-Dosis zu bestimmen. Verändert sich die Abwasserzusammensetzung jedoch relativ schnell, wie dies beim Übergang von Trocken- zu Regenwetter der Fall ist, stellt das den Betrieb vor grosse Herausforderungen. Denn in solchen Fällen sind die Messsignale zu wenig genau. Allenfalls spielt auch der Zeitversatz der UV-Sonden im Zu- und Ablauf der Ozonung eine Rolle, da sich die Aufenthaltszeit des Abwassers in der Ozonung bei Regen verkürzt, beispielsweise von 40 auf 10 Minuten. Abbildung 1 zeigt 24-h-Mittelwerte der UV-Sonden und des Reinigungseffekts anhand der 12 Leitsubstanzen am Beispiel des Klärwerks Werdhölzli. Es gibt keine starke Korrelation zwischen den Delta UV Werten und dem Reinigungseffekt. Bei den Wertepaaren unter 80% Reinigungseffekt sind Werte bei Regenereignissen proportional stärker vertreten als Werte bei Trockenwetter. Die Elimination von Mikroverunreinigung bei Regenwetter hängt stark von der Anpassung der Dosierung von Ozon während des Regenereignisses ab.

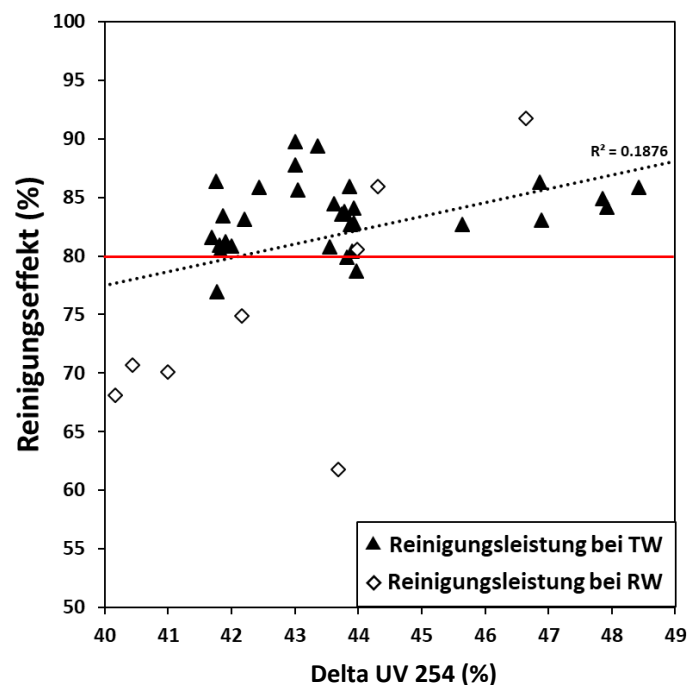


Abbildung 1 Korrelation zwischen Reinigungseffekt (%) und Delta UV (%) gemessen mit UV-Sonden auf der ARA Werdhölzli. Dreiecke entsprechen Perioden der Beprobung mit Trockenwetterbedingungen, Rauten entsprechen Perioden mit Regenwetterbedingungen. Die Korrelation der Punkte wurde mit linearer Regression berechnet.

Redox-Sonden sind momentan nicht genügend zuverlässig, um in die Steuer-/Regelung eingebunden zu werden. Sie sind aber wichtig, um den Ozonverlust im Auslauf des Ozonreaktors zu erkennen.

Bei Kurzschlussströmungen ist die effektive Aufenthaltszeit im Ozonreaktor geringer als gemäss Dimensionierung vorgesehen. Das kann bei Regenwetter dazu führen, dass Ozon in den Ablauf durchschlägt. Das ist vor allem aus sicherheitstechnischen Gründen zu verhindern. Mittels Tracer-Versuchen lässt sich die effektive Aufenthaltszeit bei maximalem Durchfluss bestimmen. Um bestehende Kurzschlussströmungen zu eliminieren kann die Reaktor-Hydraulik beispielsweise mittels zusätzlicher Einbauten optimiert werden. Bereits bei der Ausführung des Ozonreaktors ist auf Kurzschlussströmungen zu achten. Dies ist möglich mittels vorgängiger Visualisierung der Hydraulik, beispielsweise anhand einer CFD-Simulation. Basierend darauf können Optimierungen, wie z.B. Verschiebung von Reaktoreinbauten, bereits in die Planungen aufgenommen werden.

Gewitter können zu Stromnetzschwankungen führen, die zu kurzzeitigen Ausfällen der Ozon-Generatoren führen können.

Aktivkohle-Anlagen: allgemeine Aspekte

Bei Aktivkohle-Anlagen ist zu beachten, dass bei tiefen Temperaturen tendenziell mehr Aktivkohle nötig ist zur Erreichung des Reinigungseffekts. Fallen tiefe Temperaturen und Regen zusammen, ist es umso schwieriger, die optimale Dosiermenge zu finden.

PAK-Anlagen

PAK-Anlagen erreichen die geforderte 80%-ige Reinigungsleistung auch bei Regenwetter. Die PAK-Dosierung bei Regenwetter basiert auf Erfahrungswerten und es zeigt sich, dass jede ARA ihre eigene Steuerstrategie für solche Betriebszustände erarbeitet hat. Grundsätzlich braucht es bei allen PAK-Anlagen eine grössere PAK-Menge bei Regen, um die geforderte Leistung einzuhalten. Anlagen-spezifische Unterschiede bestehen:

- Die ARA Thunersee (Ulmer-Verfahren) dosiert die PAK durchflussproportional und reduziert die spezifische Dosis manuell nur selten bei sehr langanhaltendem Regen.
- Die ARA Schönau (PAK vor Sandfilter) dosiert die PAK auch bei Regenwetter durchflussproportional. Mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung wird dann allerdings rund 30% weniger PAK pro behandelte Abwassermenge zugegeben.
- Die ARA Wetzikon (PAK in Belebtschlamm-Biologie) dosiert die PAK gemäss einer Dosierkurve, die für jedes PAK-Produkt neu festgelegt wird. Dabei wird mit steigender Abwassermenge die tägliche PAK-Menge erhöht, bis zu einem maximalen Durchfluss. Bei sämtlichen Durchflüssen darüber wird die tägliche PAK-Menge konstant gehalten.
- Die ARA Herisau (Ulmer-Verfahren) dosiert eine konstante, tägliche PAK-Menge, unabhängig des Durchflusses. Bei Regen erfolgt eine zusätzliche PAK-Zugabe direkt vor die Sandfiltration.

Je nach PAK-Verfahren treten unterschiedliche Schwierigkeiten auf bei Regenwetter auf. Diese verlangen unterschiedliche Lösungsansätze, wie nachfolgend gezeigt:

- Speziell bei der PAK-Dosierung in die Belebtschlamm-Biologie: Für diese PAK-Anwendung hat sich bewährt, bei Regen den Überschussschlamm-Abzug zu stoppen und die interne Rezirkulation in der Biologie zu erhöhen. So wird die Adsorptionskapazität der Kohle räumlich von hinten weiter nach vorne im System verlagert. Das bewirkt, dass die mittlere Beladung

der PAK im hinteren Beckenteil weniger hoch ist und dass sich dann die PAK vorne mehr beladen kann.

- Speziell bei der PAK-Dosierung vor eine Sandfiltration: Hier ist es wichtig, hydraulische Stösse zu vermeiden, damit nicht plötzlich bei stark beladenen Filterzellen viel PAK-Schlupf auftritt. Dies kann erreicht werden, indem die Hydraulik optimiert wird. Zudem ist es gemäss den Betreibern der ARA Schönau sinnvoll, eine auf Erfahrungen basierte maximale Beladung der einzelnen Filterzellen mit PAK festzulegen. Dies kann anhand der dosierten PAK-Menge und der Wassermenge pro Filterzelle berechnet werden. Bei Erreichen dieses Wertes erfolgt eine Rückspülung der betroffenen Filterzelle.

Das Delta-UV ist für keine der PAK-Anlagen hilfreich, um die notwendige Dosiermenge bei Regenwetter festzulegen. Denn die Korrelation zwischen Delta-UV- und Spurenstoff-Abnahme ist zu ungenau. Das trifft auch für im Labor bestimmte UV-Werte zu, obwohl diese tendenziell genauer sind als die online-Sonden.

Daten der ARA Schönau und Thunersee zeigen, dass für Candesarten und Irbesarten (nur Thunersee) die Ablaufkonzentrationen der biologischen Reinigungsstufe teilweise höher sind als die Konzentrationen im ARA-Zulauf. Beide ARA führen die nachgeschaltet dosierte PAK in die biologische Reinigungsstufe zurück. Diese Effekte treten sowohl bei Trocken- als auch bei Regenwetter auf. Und interessanterweise treten sie auch bei der ARA Neugut auf: Die negativen Eliminationsraten liegen dort bei $-10 \pm 18\%$ (Candesartan) und bei $9 \pm 18\%$ (Irbesartan) [2]. Die Ursachen dafür sind Gegenstand von laufenden Untersuchungen.

GAK im Schwebebett

Beim Verfahren GAK im Schwebebett kann analog der PAK-Verfahren die Dosiermenge bei Regenwetter angepasst werden.

Die ARA Penthaz hatte das Problem, dass bei Regen die GAK-Vorbereitung mit fünfeinhalb Stunden zu lange dauerte und die nächste Charge an GAK zu spät dosiert werden konnte. Daraus resultierten verringerte Reinigungsleistungen. Dieses Problem wurde gelöst, indem die Vorbereitungszeit auf vier Stunden reduziert wurde. Gemäss den bisherigen Erfahrungen der ARA Penthaz ist bei langanhaltenden Regen tendenziell eine höhere Kohledosis nötig. Eine weitere Möglichkeit könnte bei diesem Verfahren sein, das Kohlebett zu erhöhen und dadurch mehr Spielraum bei hohen Zuflüssen zu erreichen. Für die ARA Penthaz würde dies beispielsweise bedeuten, dass das Aktivkohle-Bett von 1.5 m im Ruhezustand auf 1.7 oder 1.8 m erhöht wird.

GAK im statischen Filter

Bei GAK im statischen Filter kann Regenwetter zu Leistungseinbussen in Einzeladsorbern führen. Dies aufgrund des verdünnten Zuflusses und aufgrund der geringeren Kontaktzeiten [3,4]. Dieses Verfahren bietet keine Möglichkeit zwischenzeitlich mehr Aktivkohle zu dosieren, was auch im [GAK-Faktenblatt 2020](#) [5] beschrieben ist. Eine Optimierung könnte folgendermassen aussehen: Bei Trockenwetter wird diejenige Filterzelle mit der «frischesten» GAK nicht zugeschaltet. Dadurch kann sie bei Regenwetter mit einer sehr hohen Elimination der Spurenstoffe die schlechtere Reinigungsleistung der älteren Zellen kompensieren. In diese Richtung geht die ARA Moos mit ihren DynaGAK-Filtern: Bei Trockenwetter behandeln insbesondere die beiden stärker beladenen Filterzellen das Abwasser, während bei Regenwetter insbesondere die «frischeren» Filterzellen das Abwasser behandeln (z.B. 2/3 der Abwassermenge über die zwei frischeren Zellen, 1/3 über die zwei

stärker beladenen Zellen). [6] Noch unklar ist, ob bei älteren, stärker beladenen Filterzellen einzelne Spurenstoffe in relevanten Mengen desorbieren, wenn sie mit verdünnten Abwässern in Kontakt kommen. Diese theoretischen Überlegungen müssen aber erst noch bei grosstechnischen Anlagen getestet werden.

Für die zukünftige Dimensionierung von GAK-Filtern wäre es hilfreich besser zu verstehen, warum sich bei Regenwetter die Eliminationsleistung reduziert, und wie dies zu verhindern ist. Hier ist ein weiterer Wissensaufbau notwendig.

Probenahme zur Überprüfung des Reinigungseffekts

Wenn die 48-Stunden-Sammelprobe beim Übergang zwischen Trocken- und Regenwetter genommen wird, kann es vorkommen, dass die berechnete Reinigungsleistung zwischen den zeitgleich genommenen Proben im Zu- und Ablauf geringer ausfällt als sie effektiv ist. Der Grund ist: Der verdünnte Zulauf mit anteilmässig viel Regenwasser wird mit dem noch nicht gleichermassen verdünnten ARA-Ablaufwasser verglichen, das aus der Kläranlage ausgestossen wird. Dies führt zu einem Messartefakt. Eine Reduktion der gemessenen Reinigungsleistung ist in diesen Fällen auch für den CSB zu beobachten. Dies lässt sich umgehen, indem die Probenahme in einer solchen Situation zeitversetzt erfolgt. Gemäss Rückmeldungen von Betreibern ist dies in der Praxis jedoch meist sehr aufwändig, da der Zeitversatz je nach Regenereignis stark unterschiedlich sein kann. Ein pragmatischer Ansatz könnte sein, für grössere Anlagen generell einen Zeitversatz von 24 Stunden zu wählen.

Bei langanhaltenden Regen tritt dieses Phänomen nicht auf. Es besteht Bedarf zu verstehen welche Situationen für die Beprobung kritisch sind, wie oft sie etwa auftreten und wie damit umzugehen ist.

Referenzen

- [1] Walpen, Joss, von Gunten (2021) Application of UV absorbance and electron-donating capacity as surrogates for micropollutant abatement during full-scale ozonation of secondary-treated wastewater *Water Research* 209 (2022) 117858.
- [2] Bourgin, M., Beck, B., Boehler, M., Borowska, E., Fleiner, J., Salhi, E., Teichler, R., von Gunten, U., Siegrist, H., McArdell, C.S. (2018). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. *Water Research*, 129, 486-498, doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036.
- [3] Böhler, M., Hernandez, A., Baggenstos, M., McArdell, C.S., Siegrist, H., Joss, A. (2020) Elimination von Spurenstoffen durch granuliert Aktivkohle-Filtration (GAK): Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt, Bülach, Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz.
- [4] McArdell, C.S., Böhler, M., Hernandez, A., Oltramare C., Büeler A., Siegrist, H. (2020) Pilotversuche zur erweiterten Abwasserbehandlung mit granulierter Aktivkohle (GAK) und kombiniert mit Teilozonung (O₃/GAK) auf der ARA Glarnerland (AVG), Ergänzende Untersuchungen zur PAK-Dosierung in die biologische Stufe mit S-select[®]-Verfahren in Kombination mit nachfolgender GAK. Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz.
- [5] Böhler M., Joss A., McArdell C., Meier A. (2020). Hinweise zur Planung und Auslegung von diskontinuierlich gespülten GAK-Filtern zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Konsenspapier zum Ergebnis eines Workshops mit Fachexperten aus der Schweiz und Deutschland, Eawag und VSA, Dübendorf.
- [6] Bitterwolf S. (2021) ARA Moos – GAK-Filtration im System DynaSand, 22./23. Juni 21 PEAK-VSA-Tagung, Eawag Dübendorf, Kuster und Hager. www.micropoll.ch.