

Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo GmbH (ALG)

KURZBERICHT

Pilotanlage Ozon + BAK (zweite Laufzeitphase) auf der Kläranlage Detmold

Projektergebnisse im Rahmen des Zuwendungsbescheids
O-01/17-Le der Bezirksregierung Detmold

September 2018

Projektpartner

Antragsteller



Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo
GmbH
Heustraße 36-38
32657 Lemgo

Projektbeteiligte



Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure
Dipl.-Ing. Klaus Alt
Dipl.-Ing. Silke Kuhlmann
Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf

Hochschule Ostwestfalen-Lippe
University of Applied Sciences

Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Labor für Siedlungswasserwirtschaft
Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun
Dipl.-Ing. M.Sc. Heike Witte
Emilienstr. 45
32756 Detmold



IWW – Rheinisch-Westfälisches Institut für
Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH
Dr.-Ing. Andreas Nahrstedt
Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr



Detmolder Abwasser GmbH
Herr Dowzanski
Marktplatz 5
32756 Detmold

Zitierweise:

Austermann-Haun, U.; Nahrstedt, A.; Witte, H.; Kuhlmann, S.; Alt, K. (2018):

Pilotanlage Ozon + BAK (zweite Laufzeitphase) auf der Kläranlage Detmold.

Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

Kurzbericht

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ist die Kombination von Teilozonung mit einer nachgeschalteten biologisch aktivierten Aktivkohlefiltration (BAK) im Vergleich zu einer reinen Aktivkohlefiltration getestet worden. Es sollte die Frage beantwortet werden, ob es möglich ist, durch eine Teilozonung eine derart hohe Aktivkohlefilterstandzeit zu erreichen, dass die Kombination von Ozon und BAK eine wirtschaftliche Variante im Vergleich zur Vollozonung oder Aktivkohlefiltration darstellt. Die Laufzeitphase 1 ist so erfolgreich abgeschlossen worden (Austermann-Haun et al., 2017), dass bei Projektende mit 18.000 durchgesetzten Bettvolumina noch kein Ende der Filterstandzeit absehbar war. Diese zweite Laufzeitphase 2 sollte konkretere und belastbarere Ergebnisse bezüglich der Filterstandzeit und Leistungsfähigkeit sowie Investitions- und Betriebskosten liefern.

Abbildung 1 zeigt das Fließschema der halbtechnischen Versuchsanlage.

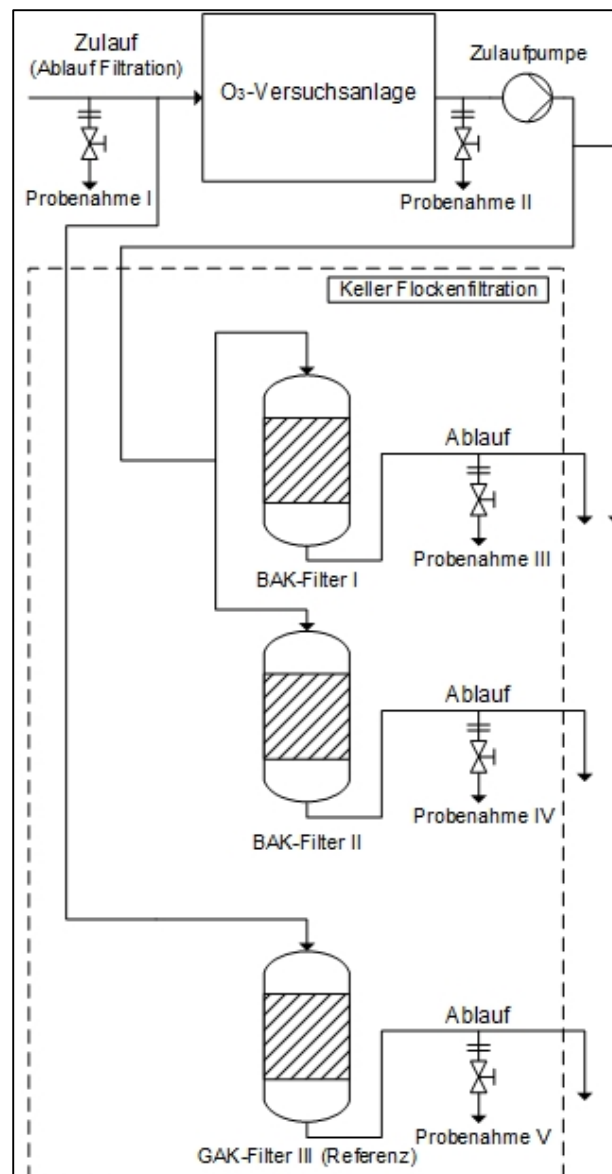


Abbildung 1: Fließschema IWW-Pilotanlage Ozonung und BAK/GAK

Die Versuche sind auf der kommunalen Kläranlage der Stadt Detmold durchgeführt worden. Nach der Laufzeitphase 1 war in Detmold aus vorwiegend bautechnischen Gründen die Entscheidung gegen die Kombinationslösung gefällt. Im Zuge interkommunaler Zusammenarbeit und weil die Kläranlage Lemgo mit einer 4. Reinigungsstufe mit Vollozonung ausgebaut werden soll, sowie zudem die Möglichkeit besteht, zwei freie Filterzellen der vorhandenen Filtrationsstufe zu Aktivkohlefiltern umzurüsten, wäre es möglich, die Kombination von Ozon und BAK in Lemgo großtechnisch zu realisieren. Die Abwassermatrix von Detmold ist mit der von Lemgo vergleichbar. Der Anteil Misch-Trennsystem ist ähnlich hoch, gleiches gilt für den Industrieanteil. Die in Detmold gewonnenen Ergebnisse sind damit auch auf der Kläranlage Lemgo anwendbar.

Die Literaturlauswertung (z. B. zur Publikation von McAdell et al., 2017) und die hier gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die Aufenthaltszeit (EBCT) in den Aktivkohlefiltern bei der Verfahrenskombination Ozon und BAK einen wesentlich größeren Einfluss auf die Eliminationsleistung von Mikroverunreinigungen hat als die Ozondosis. In den meisten bisher durchgeführten Forschungsvorhaben war auch bei der Verfahrenskombination von Ozon und BAK eine Vollozonung mit z_{spez} von 0,7 mg_{O₃}/mg_{DOC} gefahren worden (Kreuzinger et al., 2015; Knopp und Cornel, 2015; Tribskorn, 2017; Böhler et al., 2017). Um in einen wirtschaftlichen Bereich bei der Verfahrenskombination im Vergleich zu einer Einzellösung zu kommen, musste die Ozondosis deutlich gesenkt werden. Diese Grundüberlegung führte zur Wahl der folgenden Parameter:

- Ozondosis: 2 mg O₃/L;
- spezifische Ozondosis: 0,21 bis 0,33 mg_{O₃}/mg_{DOC},
im Mittel $z_{\text{spez}} = 0,29$ mg_{O₃}/mg_{DOC} über beide Laufzeitphasen
- BAK 1: EBCT 50 min
- BAK 2: EBCT 25 min
- Referenzfilter GAK 3.1 (Laufzeitphase 1, AquaSorb 5000, Jacobi Carbons) und GAK 3.2 (Laufzeitphase 2, Hydraffin WR, ein gepooltes Reaktivat der Fa. Donau Carbon): beide EBCT = 25 min

Insgesamt konnten beim BAK 1 mit 50 min EBCT etwa 20.000 Bettvolumina durchgesetzt werden, während es beim BAK 2 mit halber EBCT ca. 40.000 BV waren.

Obwohl bei den Versuchen die Ozondosis über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten nahezu Null war, und dies erst aufgrund einer mit mehreren Monaten Verzögerung erhaltenen Untersuchungsergebnisse der Mikroverunreinigungen erst festgestellt werden konnte, war die Eliminationsleistung bei den in NRW empfohlenen Indikatursubstanzen Carbamazepin, Diclofenac, 1 H-Benzotriazol, Clarithromycin, Metoprolol und Sulfamethoxazol im Mittel dieser Substanzen beim BAK 2 (EBCT = 25 min) noch über 80 %.

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen exemplarisch die Eliminationsleistung für Carbamazepin, welches besonders gut mit Ozon reagiert, für 1 H-Benzotriazol, welches als mittelmäßig oxidierbar eingestuft wird und Metoprolol welches bevorzugt adsorbiert wird.

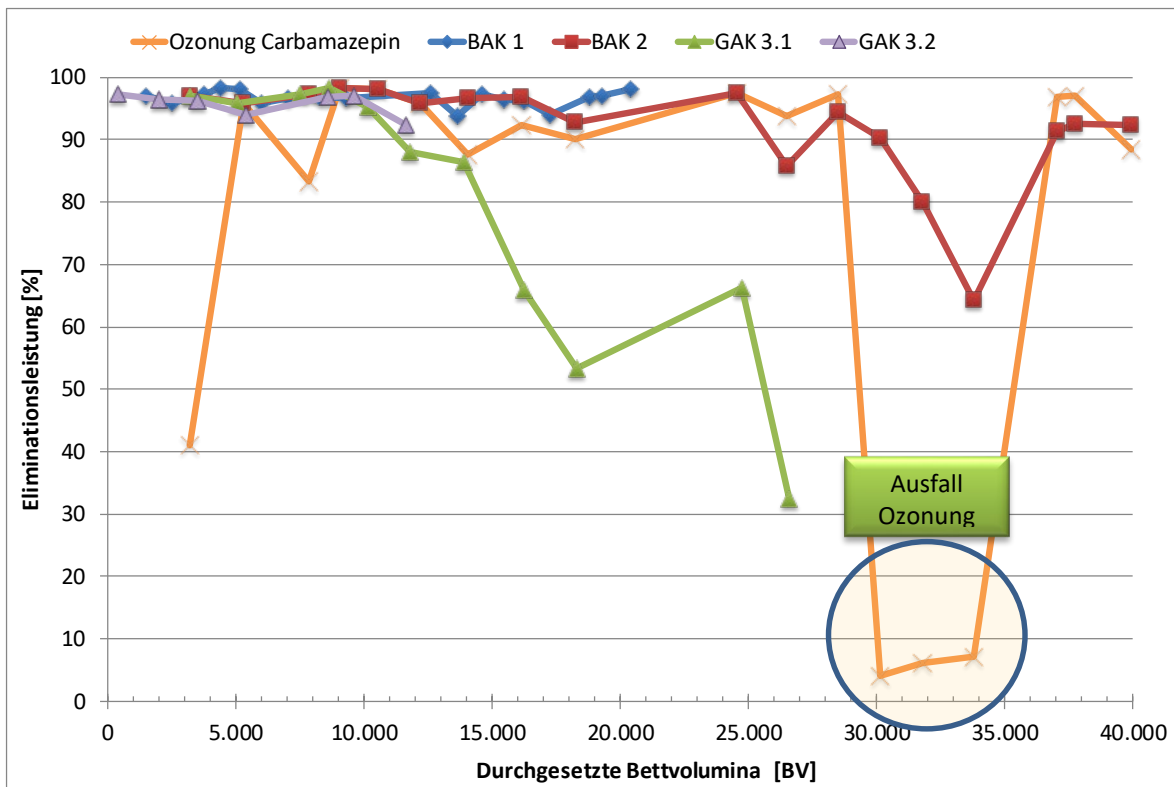


Abbildung 2: Elimination von Carbamazepin durch die Ozonung bei 2 mg O₃/L, Z_{spez.} = 0,29 mg_{O₃}/mg_{DOC} und den nachgeschalteten BAK-Filtern 1 und 2 sowie den Referenzfiltern GAK 3.1 und GAK 3.2 in Abhängigkeit der durchgesetzten Bettvolumina

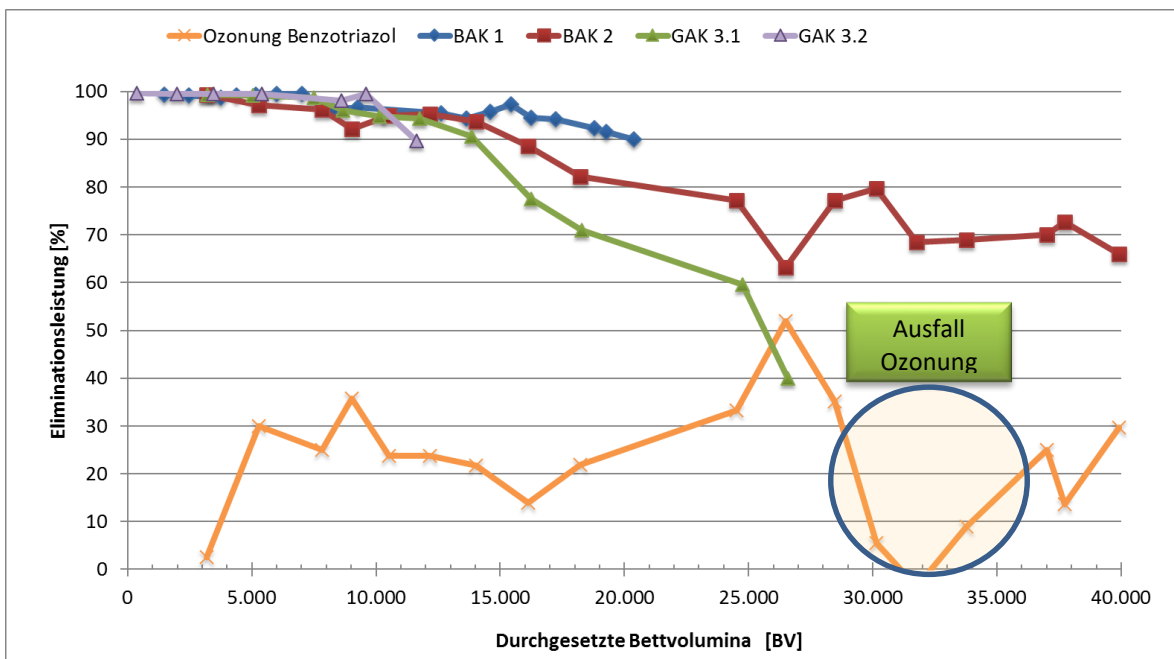


Abbildung 3: Elimination von Benzotriazol durch die Ozonung bei 2 mg O₃/L, Z_{spez.} = 29 mg_{O₃}/mg_{DOC} und den nachgeschalteten BAK-Filtern 1 und 2 sowie den Referenzfiltern GAK 3.1 und GAK 3.2 in Abhängigkeit der durchgesetzten Bettvolumina

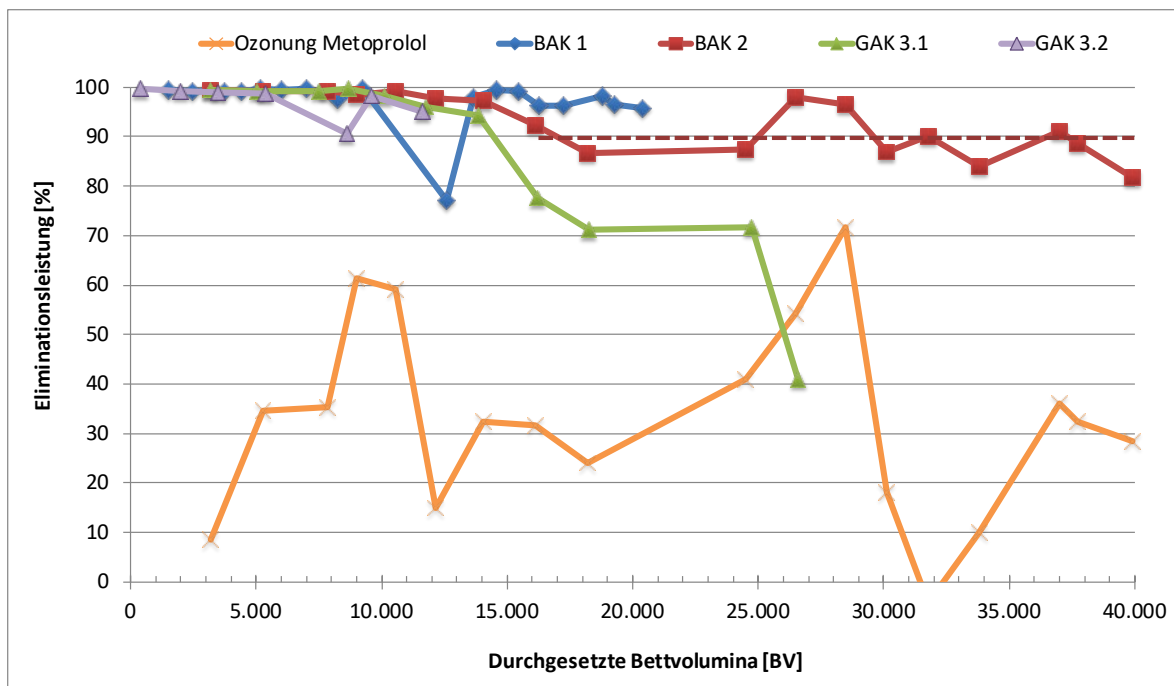


Abbildung 4: Elimination von Metoprolol durch die Ozonung bei 2 mg O₃/L, $z_{\text{spez.}} = 29$ mg_{O₃}/mg_{DOC} und den nachgeschalteten BAK-Filtern 1 und 2 sowie den Referenzfiltern GAK 3.1 und GAK 3.2 in Abhängigkeit der durchgesetzten Bettvolumina

In den Abbildungen 5 und 6 sind die Eliminationsleistungen für die sechs Indikatorparameter für BAK 1 und BAK 2 einzeln und deren arithmetisches Mittel aufgetragen. Es wird deutlich, dass die mittlere Eliminationsleistung bei dem Aktivkohlefilter mit einer EBCT von 50 Minuten bei 20.000 durchgesetzten Bettvolumina noch immer um 90 % liegt.

Für BAK 2 mit einer EBCT von 25 Minuten zeichnet sich hingegen zudem der Einfluss der tatsächlich abklingenden Eliminationen mit ansteigenden Filtratkonzentrationen für die Indikatorparameter Benzotriazol (etwas) und Sulfamethoxazol auf den Kurvenverlauf für den arithmetischen Mittelwert ab. Dieser schwankt ab etwa 20.000 BV (auch unter dem Einfluss des Ausfalls der Ozondosierung) um die 80-%-Marge, im Mittel aber mit einer eher konstanten Seitwärtsbewegung.

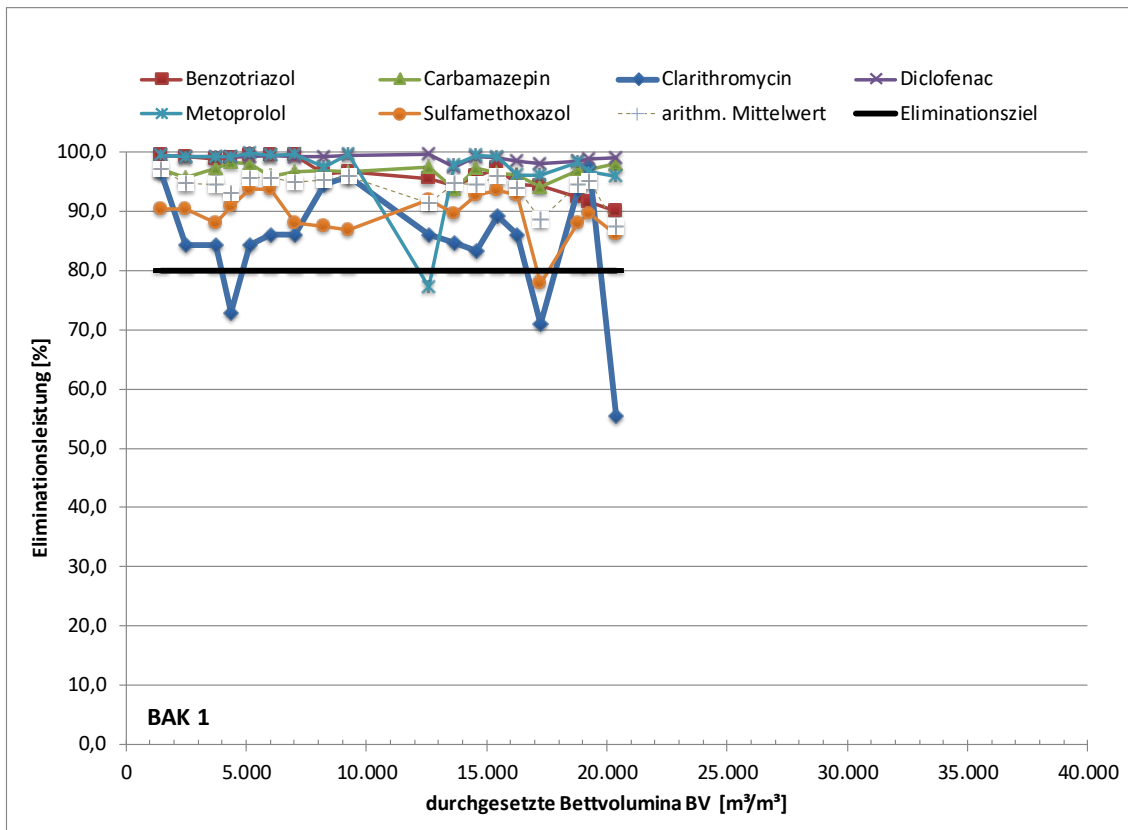


Abbildung 5: Eliminationsleistung des BAK 1 bezogen auf die sechs Indikatorparameter der vierzehn Mikroverunreinigungen und arithmetischen Mittelwert in Abhängigkeit vom spezifischen Durchsatz (BV)

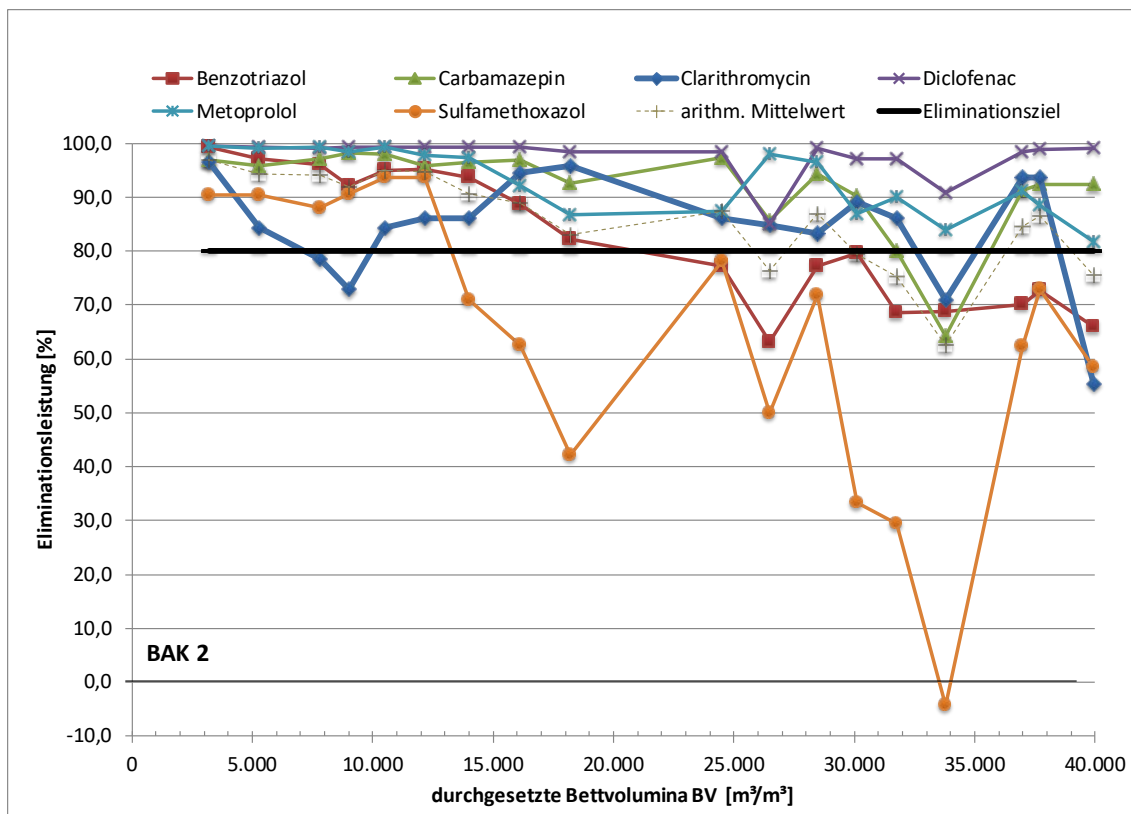


Abbildung 6: Eliminationsleistung des BAK 2 bezogen auf die sechs Indikatorparameter der vierzehn Mikroverunreinigungen und arithmetischen Mittelwert in Abhängigkeit vom spezifischen Durchsatz (BV)

Aus den Messdaten für die Konzentrationen der Indikatormaterialien Metoprolol, Carbamazepin, Clarithromycin, Diclofenac, Sulfamethoxazol und 1H-Benzotriazol im Zulauf der Pilotanlage und in den Filtraten von BAK 1, BAK 2 sowie GAK 3.1 und GAK 3.2 wurden Eliminationen berechnet und deren Werte für die einzelnen Probenahmetage und gepaarten Probenahmestellen arithmetisch gemittelt. Die analoge Vorgehensweise wurde auch auf die Messwerte für den Ablauf der Ozonung angewandt, wobei die Zeiträume des Ausfalls der Ozonung herausgenommen wurden. Den Verlauf dieser gemittelten Eliminationen inklusive ihrer Trendlinien und der Mittelwert für die Ozonung während der gesamten Versuchsdauer (Phase 1 und 2) in Abhängigkeit der durchgesetzten Bettvolumina zeigt Abbildung 7.

Der Kurvenverlauf von BAK 1 mit seiner idealen sehr geringen Neigung erlaubt nur die Anpassung einer linearen Korrelation. Deren Extrapolation bis auf die 80%-Marge wäre allerdings sehr weitreichend und entsprechend ungenau (der Schnittpunkt läge deutlich oberhalb von 50.000 BV), so dass hierauf verzichtet wurde.

Die Trendlinie für die Verfahrenskombination Ozon und BAK 2 macht deutlich, dass bei einem Bettvolumen von $BV = 40.000 \text{ m}^3/\text{m}^3$ die mittlere Eliminationsrate von 80 % immer noch überschritten wird. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in diesen Versuchen die Eliminationsleistung zwischen Ablauf Kläranlage und Ablauf Versuchsanlage errechnet wurde, in NRW aber zur Beurteilung der Eliminationsleistung die biologische Reinigungsstufe mit einbezogen wird und hier mit einer Elimination in der Größenordnung von 10 bis 75 % gerechnet werden kann, abhängig vom Spurenstoff, kann auf der sicheren

Seite liegend für die Standzeit eines BAK-Filters mit einer EBCT von 25 Minuten mit Sicherheit von einer Filterstandzeit von 50.000 Bettvolumina ausgegangen werden.

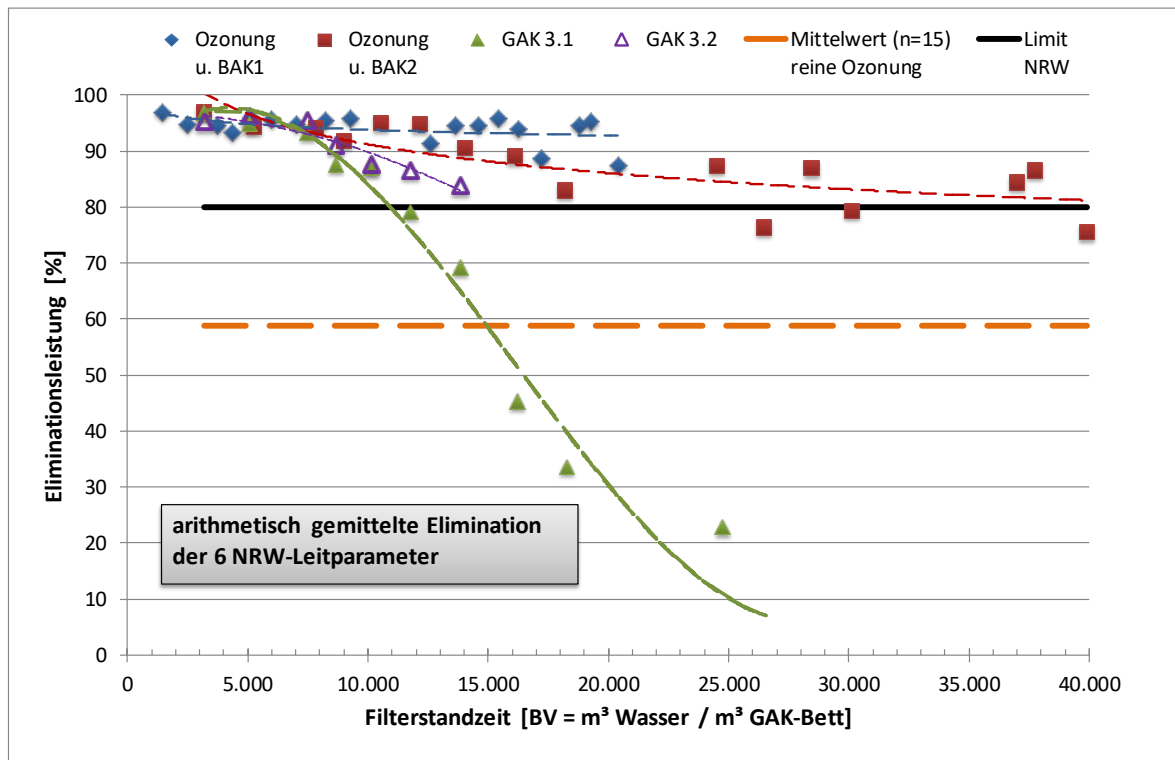


Abbildung 7: Elimination als arithm. Mittelwert zu einem Probenahmezeitpunkt für die 6 Indikatorsubstanzen infolge Ozonung mit einer Dosierung von 2 mg O₃/L, $Z_{\text{spez.}} = 0,29 \text{ mg}_{\text{O}_3}/\text{mg}_{\text{DOC}}$ (zeitlicher Mittelwert dick gestrichelt) und infolge nachgeschalteter Filter BAK 1 und BAK 2 sowie Referenzfilter GAK 3.1 und GAK 3.2 in Abhängigkeit durchgesetzter Bettvolumina inklusive angepasster Trendlinien

Auf das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure hat die geringe Ozondosis von 2 mg O₃/L keinen erkennbaren Einfluss. Amidotrizoesäure wird durch den Referenzfilter GAK 3.1 mit 11.764 BV am längsten eliminiert. Die Kombination von Ozon mit dem BAK 1 und 2 schaffen es, das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure bis zu lediglich 8.232 BV bzw. 7.821 BV zumindest teilweise zurückzuhalten, danach wechseln sich Desorption und minimale Adsorption ab.

Bei den restlichen untersuchten Mikroverunreinigungen Bezafibrat, Bisoprolol, Naproxen, Oxazepam, Phenazon, Sotalol und Terbutryn sind alle Parameter im Filtrat von BAK 1 und GAK 3.2 unter der Bestimmungsgrenze geblieben. Die errechnete Eliminationsleistung liegt dennoch nur zwischen 70 und 90 %, weil bei der Berechnung, wie in NRW üblich, mit der halben Bestimmungsgrenze gerechnet wurde und diese bei 0,05 µg/L lag. Der BAK 2 hat einige wenige und dann nur leichte Überschreitungen der Bestimmungsgrenze gezeigt, dies war bei Bezafibrat 4-mal der Fall, bei Bisoprolol 1-mal, bei Oxazepam 2-mal und bei Phenazon 4-mal der Fall.

Der Kostenvergleich einer großtechnischen 4. Reinigungsstufe für die Kläranlage Lemgo, bei der die Vollozonung einer Teilozonung mit BAK-Filtration gegenübergestellt wurde, hat ergeben, dass die Investitionskosten bei reiner Ozonung (6 mg O₃/L) bei 1,8 Mio. € liegen, während die Ozon/BAK-Lösung Investitionen in Höhe von 2,7 Mio. € bedarf und somit 52 % teurer ist. Auf den ersten Blick wäre die Entscheidung für die Variante Ozonung damit eindeutig. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf 173 Tausend €/a bei Voll-ozonung im Vergleich zu 143 Tausend €/a bei der Ozon/BAK-Variante, wenn ein Strompreis von 20 Cent/kWh zu Grunde gelegt wird. Bei den Jahreskosten als Summe aus Kapital- und Betriebskosten liegt die Variante Vollozonung bei 312 Tausend €/a und die Variante Ozon/BAK bei 352 Tausend €/a.

Eine Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass der Strompreis für die Wirtschaftlichkeit entscheidender ist als die durchgesetzten Bettvolumina. Ein Ansatz von 30 anstelle von 20 Cent/kWh für den spezifischen Energiepreis führt zu dem Ergebnis, dass der Betriebskostenvorteil der Verfahrenskombination Ozon und BAK statt ca. 20 % nunmehr bei etwas mehr als 35 % liegt. Die Jahreskosten würden sich in der Konsequenz bei ansonsten gleichen Kalkulationsparametern auf 102 % (Ozon/BAK-Variante gegenüber Vollozonung) verschieben, was beide Lösungskonzepte als kostenmäßig gleichwertig im Rahmen der Genauigkeit vorliegender Aussagen bewerten lässt.

Die Förderung von 70 % der Investitionen würde unter Ansatz des höheren Energiekostenpreises von 30 Cent/kWh zu Jahreskosten der Verfahrenskombination Ozon und BAK führen, die um ca. 7 % günstiger sind als die Jahreskosten der alleinigen Ozonung.

Ein Fortfall der Abwasserabgabe für den Parameter CSB durch Unterschreiten des Schwellenwertes, der bei der Verfahrenskombination Ozon und BAK zu erwarten ist, ist in der Kostenvergleichsrechnung nicht berücksichtigt. Neuerliche Planungskosten, die für die Umrüstung der bestehenden Sandfilter in Aktivkohlefilter in Lemgo entstehen würden, sind jedoch ebenso nicht in die Kostenvergleichsrechnung eingeflossen.

Unabhängig davon, wie sich die ALG Lemgo angesichts des Wunsches nach baldiger Realisierung der 4. Reinigungsstufe und der nunmehr weit fortgeschrittenen Planungen für die reine Ozonvariante entscheidet, sollen die Vorteile der Teilozonung in Kombination mit nachgeschalteter BAK-Filtration soll noch einmal zusammengefasst werden:

- Die Kombination von Ozon und BAK reduziert den Keimgehalt verglichen mit den Varianten GAK und Ozon am besten (Jekel und Müller, 2015a).
- Ressourcenschonung durch wesentlich längere Standzeit der Aktivkohlefilter gegenüber alleiniger Aktivkohlefiltration und deutlich geringerem Energieverbrauch gegenüber alleiniger Ozonbehandlung.
- Elimination von Rest-CSB, auch bis unter den Schwellenwert von 20 mg/L, dadurch Verminderung der zu zahlenden Abwasserabgabe bis hin zum Wegfall für den Parameter CSB. Dieser Aspekt tritt bei alleiniger Ozonbehandlung nicht auf.
- Die Elimination/Transformation erreicht ein breiteres Spektrum an Spurenstoffen, da die Wirkmechanismen des einen Verfahrens eine Reihe von Schwächen bei den Wirkmechanismen des anderen Verfahrens kompensiert.

- Die Aufenthaltszeit im BAK-Filter hat einen entscheidenderen Einfluss auf die Elimination der Mikroverunreinigungen als die Ozondosis.
- Ein Vergleich der im Rahmen dieses Projektes mit Teilozonung und BAK (2 mg O₃/L, z_{spez} = 0,29 mg_{O₃}/mg_{DOC}, EBCT 25 min), gewonnenen Ergebnisse mit abschließlicher Vollozonung (7,5 mg O₃/L, z_{spez} = 1,12 mg_{O₃}/mg_{DOC}) eines Vorgängerprojektes in Detmold (Meier et al., 2014) zeigt signifikante Unterschiede in der Eliminationsleistung. Bei den meisten Stoffen (Benzotriazol (nur BAK 1), Sulfamethoxazol (nur BAK 1), Bezafibrat, Clarithromycin, Naproxen, Oxazepam, Sotalol und Terbutryn) sind die mittleren Eliminationsleistungen bei der Kombination von Ozon und BAK ca. 10 % höher. Eine Ausnahme bilden lediglich die Stoffe Phenazon und Amidotrizoensäure. Nur bei der Amidotrizoensäure ist die Eliminationsleistung bei Vollozonung deutlich besser als bei der Verfahrenskombination von Ozon + BAK infolge Desorption.
- Durch die gegenüber einer reinen Ozonung um den Faktor 2 oder 3 geringere Ozondosis ist die Bildung von Bromit zum kanzerogenen Bromat deutlich geringer. Die Gefahr des Erreichens des Trinkwassergrenzwertes von 10 µg/L existiert nicht.
- Es konnte rechnerisch nachgewiesen werden, dass die Kombination der Verfahrensschritte von Ozon und BAK zu Synergieeffekten führt, die zu einer um 24 % höheren Gesamtelimination führen als die rein rechnerische Addition der Leistungen der Einzelverfahren ergibt.

Literaturverzeichnis

- Austermann-Haun, U.; Meier, J. F.; Nahrstedt, A.; Sikorski, D.; Kuhlmann, S.; Alt, K. 2017 Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Detmold mittels der Kombination von Ozon mit nachgeschalteter Aktivkohlefiltration. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
- Austermann-Haun, U.; Meier, J.F.; Kuhlmann, S.; Alt, K. 2014 Pilotprojekt zur Mikroschadstoffelimination mittels Ozon auf der ZKA Detmold. Abschlussbericht des F&E-Vorhabens, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold
- Böhler, M.; Fleiner, J.; McArdell, C.S.; Reichler, R.; Siegrist, H. 2017 Projekt ReTREAT – Untersuchungen zu Verfahren für die biologische Nachbehandlung nach Ozonung. AQUA & GAS, No 5, S. 54-63
- Hydro-Ingenieure 2012b Spurenstoffelimination in der Zentralkläranlage Lemgo – Einsatz von Aktivkohle oder Ozon. Machbarkeitsstudie, Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH, Düsseldorf, im Auftrag der Stadt Lemgo
- Jedele, K.; Müller, M. 2015a Technologien zur Entfernung von Spurenstoffen und Keimen. Eine Bewertung der in Schussen Aktivplus realisierten Methoden aus Sicht des Ingenieurs, Fachvortrag auf der Abschlussveranstaltung des BMBF-Verbundprojektes Schussen Aktivplus, 22.04.2015, Langenargen, http://schussenaktivplus.de/sites/default/files/Jedele_SAP_technologien_150422_SAP.pdf
- Jedele, K.; Müller, M. 2015b Bilanzierung und Kosten – Nutzen – Abschätzungen für das Einzugsgebiet der Schussen auf der Basis von Expositions- und Wirkdaten. Fachvortrag auf der Abschlussveranstaltung des BMBF – Verbundprojektes Schussen Aktivplus, 22.04.2015, Langenargen
- Knopp, G.; Cornel, P. 2015 Charakterisierung, Kommunikation und Minimierung von Risiken durch neue Schadstoffe und Krankheitserreger im Wasserkreislauf – Teilprojekt 4. Schlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens, Förderkennzeichen02WRS1275D, <https://doi.org/10.2314/GBV:864400748>
- Kreuzinger, N.; Haslinger, J.; Kornfried, L.; Schaar, H.; Saracevic, E.; Winkelbauer, A. 2015 k Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer mit Ozon sowie Aktivkohle für die Entfernung organischer Spurenstoffe. KOMOZAK Endbericht. Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- McArdell, C.A.; Bitterwolf, S.; Böhler, M.; Bourgin, M.; Fleiner, J.; Joss, A.; Siegrist, H.; Balsiger, Ch.; Holliger, U.; Jäggi, O.; Rensch, D.; Baggenstos, M.; Gehringer, A. 2017 Elimination of micropollutants with granular activated carbon filtration and ozone/GAC in full scale wastewater treatment. Micropol and Ecohazard Conference Vienna, 17-20.09.2017

- | | | |
|---|------|--|
| Meier, J. F.;
Austermann-Haun, U.;
Alt, K.;
Kuhlmann, S. | 2016 | Pilotprojekt zur Mikroschadstoffelimination mittels Ozonung auf der ZKA Detmold. KA Korrespondenz Abwasser Abfall 63 (2016) 1, S. 28-36 |
| Meier, J. F.;
Austermann-Haun, U.;
Kuhlmann, S.;
Alt, K. | 2014 | Pilotprojekt zur Mikroschadstoffelimination mittels Ozonung auf der Kläranlage Detmold. Gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) |
| Triebskorn, R. (Hrsg.)
et al. | 2017 | Weitergehende Abwasserreinigung. Ein wirksames und bezahlbares Instrument zur Verminderung von Spurenstoffen und Keimen im Wasserkreislauf. Gemeinsamer Schlussbericht der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg geförderten Projekte SchussenAktiv, SchussenAktivplus und SchussenAktivplus+, Vorhaben BMBF 02WRS1281, UM-BW 306/2010 und UM-BW 371/214
http://schussenaktivplus.de/ ; ISBN 978-3-946552-10-9 |