

GAK-FILTER FÜR DIE SPURENSTOFFENTFERNUNG

ERFAHRUNGEN UND BETRIEBSERGEBNISSE DER PILOTSTUDIEN ARA FURT/BÜLACH UND GLARNERLAND

Auf den Kläranlagen Furt/Bülach und Glarnerland des Abwasserverbandes Glarnerland (AVG, Bilten) wurden zwischen 2014 und 2019 umfangreiche Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen mittels granulierter Aktivkohle (GAK) durchgeführt. Ziel war es, unter Schweizer Praxisbedingungen die Machbarkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens zu evaluieren. Fazit beider Forschungsprojekte ist, dass sich die GAK-Filtration zur Spurenstoffelimination gemäss Schweizer Gesetzgebung eignet. Das Verfahren ist technisch und wirtschaftlich realisierbar und hat sich als praxistauglich erwiesen.

Marc Anton Böhler*; Adriano Joss; Christa S. McArdell, Eawag

RÉSUMÉ

FILTRES À CAG POUR L'ÉLIMINATION DES MICROPOLLUANTS DANS LES STEP SUISSES: EXPÉRIENCES ET RÉSULTATS D'EXPLOITATION DES ÉTUDES PILOTES STEP DE FURT/BÜLACH ET GLARNERLAND

Les études pilotes menées à la STEP de Furt/Bülach et à la STEP du Glarnerland montrent que le procédé de filtration à lit fixe sur charbon actif granulé (CAG) permet d'éliminer efficacement les micropolluants des eaux usées communales, conformément aux exigences légales suisses. La filtration par CAG est techniquement et économiquement réalisable et s'est avérée adaptée à la pratique. Les performances d'élimination obtenues et les durées de vie ou les volumes de lit atteints montrent que le besoin spécifique en charbon actif est comparable aux procédés d'application CAP. En outre, le procédé a une empreinte carbone nettement meilleure que les procédés du CAP en raison de la possibilité de réactiver le charbon actif utilisé. Une activation est réalisable en Suisse. Un paramètre central pour la conception et l'efficacité de la filtration CAG est le temps de contact des eaux usées dans le lit filtrant. Celui-ci ne devrait pas être inférieur à 20 minutes au débit maximal. Pour les STEP de Furt et de Bülach, des durées de vie d'environ 20 000 à 30 000 volumes de lit ont été estimées, soit environ 1,5 à 2 ans pour une seule cellule. Cela tient compte du renouvellement échelonné dans le temps du CAG: les cellules CAG «fraîches» présentent une capacité d'élimination supérieure

HINTERGRUND UND MOTIVATION

WARUM AKTIVKOHLE ZUR SPURENSTOFFENTFERNUNG?

Für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen stehen alternativ zur Ozonung Pulveraktivkohle (PAK) oder granuliert Aktivkohle (GAK) als Behandlungsmöglichkeiten zur Auswahl. Diese haben positive Nebenwirkungen, wenn im Ablauf der biologischen Behandlung immer noch hohe DOC-Gehalte nachgewiesen werden. Hohe DOC-Gehalte erhöhen zwar den Kohle- wie auch den Ozonverbrauch und beeinflussen damit die Wirtschaftlichkeit negativ. Durch den Einsatz von Aktivkohle kann aber eine DOC-Reduktion im Ablauf der ARA erreicht werden, was ein zusätzliches Ziel bei der Aufrüstung oder Ertüchtigung der Kläranlage sein kann.

Im Gegensatz zum hohen Energieverbrauch bei der Ozonung (elektrische Energie zur Erzeugung von Ozon und Flüssigsauerstoff) schlägt bei der Aktivkohlebehandlung die energieintensive Produktion und der CO₂-Footprint der Kohle zu Buche (Ausgangsrohstoffe, Prozessenergie) [1]. Der Hauptvorteil der Verwendung von Aktivkohle liegt darin, dass die Mikroverunreinigungen, anders als bei der Ozonung, nicht abgebaut, sondern sorbiert werden und somit keine Transformationsprodukte [2] entstehen.

* Kontakt: marc.boehler@eawag.ch

(© Winai Tepsuttinun/123RF.com)

VERGLEICH GAK UND PAK

Erfahrungen aus Untersuchungen mit GAK in Deutschland weisen darauf hin, dass mit GAK bei höheren Leerbett-Kontaktzeiten (englisch: *empty bed contact time*, EBCT) des Abwassers in der Filterzelle eine längere Standzeit bzw. ein höheres durchgesetztes Bettvolumen (BV) erreicht werden kann [3–6]. Dies ist verbunden mit einer Reduktion des spezifischen Kohlebedarfs, sodass die GAK-Filtration bezüglich Aktivkohleverbrauch dem der PAK-Anwendungen nahekommt. Eine Behandlung mit GAK weist einige Vorteile gegenüber PAK auf. Die nachgängige Abscheidung von PAK mit Sedimentation und Filtration, wobei der PAK-Schlupf beachtet werden muss, und die Rückführung der PAK in den Adsorptionsreaktor und gegebenenfalls in die Biologie zwecks besserer Ausnützung der Beladungskapazität ist anspruchsvoll und aufwendig. Die PAK-Verfahren sind Einweganwendungen und die PAK wird thermisch entsorgt. Granulierte Aktivkohle hingegen kann reaktiviert werden und kommt dann erneut zum Einsatz. Dadurch ist die GAK-Filtration nachhaltiger und weist einen deutlich tieferen CO₂-Fussabdruck im Vergleich zu PAK-Verfahren auf.

Die GAK-Filtration hat einen deutlich besseren ökologischen Fussabdruck als PAK-Verfahren.

Ausserdem ist der Betrieb eines GAK-Filters einfacher, weil die Steuerung für die bedarfsgerechte Dosierung der PAK und anderer Betriebsstoffe wie Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel und deren Lagerung entfällt. Mancherorts können Sandfiltrationen zu einer GAK-Filtration umgebaut werden. Die GAK-Filtration kann überdies die primäre Aufgabe der Sandfiltration abdecken, nämlich die Feststoffabscheidung, verbunden mit einer zusätzlichen Reduktion von Nährstoffen und an Feststoffen sorbierten Schwermetallen sowie Spurenstoffen im Ablauf der ARA.

FRAGESTELLUNGEN UND ZIELE

Trotz der genannten vielfältigen Vorteile der GAK-Filtration gegenüber anderen Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) stellen sich folgende Fragen:

- Ist die GAK wirklich kompetitiv unter den Randbedingungen der Anforderungen an EMV-Verfahren für Schweizer Abwasserreinigungsanlagen?
- Welche Standzeiten können tatsächlich erreicht werden und wie lassen sich diese mit angepasster Betriebsführung (z. B. EBCT, Vor-Ozonung) optimieren?
- Welchen Einfluss hat die Abwasserzusammensetzung (Matrix) auf die Effizienz der GAK?
- Verhalten sich verschiedene GAK-Typen unterschiedlich?
- Können vielleicht kostengünstige bzw. nachhaltige Reaktivate eingesetzt werden und ist eine Reaktivierung in der Schweiz möglich?
- Können allgemeine Planungshinweise und Dimensionierungsgrößen formuliert werden?
- Wie aufwendig ist der Betrieb eines GAK-Filters im Alltag der ARA (z. B. der Austausch der GAK) und was ist dabei zu beachten?

Um diese für die Abwasserpraxis relevanten Fragen zu klären, wurden zwei zeitlich nahezu parallele Pilotprojekte durchgeführt. Die Resultate werden ausführlich in den Berichten zur ARA Furt/Bülach [7] und zur ARA Glarnerland [8] diskutiert.

Die ARA Furt/Bülach ist im Einzugsgebiet kommunal geprägt und weist einen stabilen DOC-Wert im Ablauf von 5 mg DOC/l auf. Im Gegensatz hierzu weist das Abwasser der ARA Glarnerland einen hohen Industrieanteil auf. Die DOC-Werte variieren im Ablauf der Biologie

stark zwischen 5 und 15 mg DOC/l, je nach Aktivität der ansässigen Industrie. In Furt/Bülach stand im Vordergrund, Erfahrungen zur Machbarkeit und volltechnischen Einbindung einer GAK-Filtration in den Praxisbetrieb einer kommunalen ARA zu sammeln und den Einfluss der EBCT zu untersuchen. Im Glarnerland wurden vier verschiedene GAK-Typen in Pilotanlagen verglichen und spezifische Fragen zum Regenwettereinfluss untersucht. In beiden Studien wurde der Effekt der Vor-Ozonung angeschaut, wobei im Glarnerland auch öko-toxikologische Untersuchungen durchgeführt wurden. Die Frage der Standzeit in Abhängigkeit des Betriebes und der unterschiedlichen Hintergrundmatrices des Abwassers stand im Fokus.

AUFBAU UND BETRIEB DER ANLAGEN

ARA FURT/BÜLACH

Auf der ARA Furt/Bülach wurden im Herbst 2014 zwei von sechs Sandfilterzellen (Filter 6 + 5) auf einen GAK-Betrieb umgerüstet (Fig. 1). Zum Einsatz kam auf Braunkohle basierte Frischkohle (*Aquasorb 5010* von *Jacobi*). Das Filterzulaufregime wurde derart gestaltet, dass die GAK-Zellen priorisiert und immer mit biologisch gereinigtem Abwasser beschickt wurden. Eine parallel betriebene Sandfilterzelle diente als Referenzstrasse und wurde zusätzlich beprobt. In den ersten Phasen 1a und 1b (siehe Tab. 1) wurden die beiden GAK-Filter 5 und 6 mengenproportional zum Zulauf mit unterschiedlichen Trockenwetter-

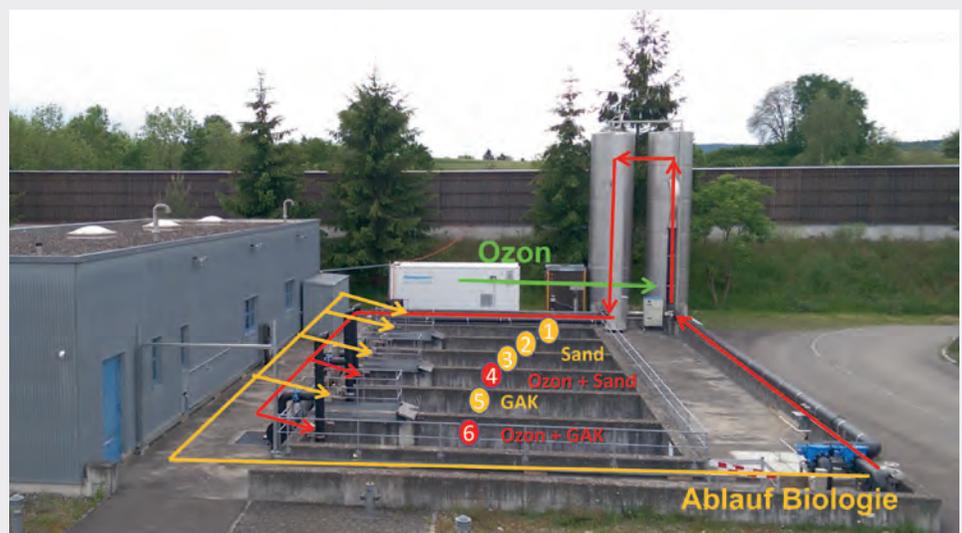


Fig. 1 Einbettung der Verfahren in die ARA Furt/Bülach. Die Filterzellen 5 und 6 wurden mit GAK ersetzt. Die Filterzellen 6 (GAK) und 4 (Sand) wurden in der späteren Phase 2 mit einer Vor-Ozonung betrieben.

	Phase 1a 12/2014 - 10/2015	Phase 1b 11/2015 - 05/2016	Phase 2 06/2016-12/2018 Filter 5 bis 2/2019 + Ozon
Filter 4: Sand	ØEBCT 11.9 min	ØEBCT 9.3 min	ØEBCT 25.9 min Ø 0.17 gO ₃ /gDOC
Filter 5: GAK	ØEBCT 21.8 min	ØEBCT 16.4 min	ØEBCT 23.4 min kein Ozon
Filter 6: GAK	ØEBCT 13.4 min	ØEBCT 23.8 min	ØEBCT 27.4 min Ø 0.17 gO ₃ /gDOC

Fig. 2 Projektphasen der Untersuchungen auf der ARA Furt/Bülach mit den entsprechenden mittleren Kontaktzeiten (EBCT) in Minuten.

Kontaktzeiten beschickt, wobei sich die Kontaktzeiten bei Regenwetterzuläufen zur ARA entsprechend verkürzten. In

der zweiten Phase wurde der Zulauf zu GAK-Filter 6 und Sandfilter 4 mit Ozon behandelt (Fig. 1).

ARA GLARNERLAND

Im Fall der ARA Glarnerland wurde halbertechnisch mit Ozon- und GAK-Kolonnen pilotiert. Fig. 3 zeigt eine Übersicht der Pilotanlage mit Fließschema und Angabe der vier getesteten GAK-Typen. In Fig. 4 ist die Aufstellung der GAK-Anlage mit Probennehmern in der Schlammtrocknungshalle der ARA zu sehen. Jede der vier GAK-Kolonnen verfügte über zwei Probenahmestellen, PN_a respektive PN_b, die einer mittleren EBCT des Abwassers in den GAK-Filtern bei Trockenwetter von 24 bzw. 36 min entsprachen.

Die Kolonnen wurden mengenproportional zum Zulauf der ARA beschickt und im Regenwetterfall auf die Trockenwetterspitze plafoniert. GAK 1 und GAK 2 wurden später durch einen zweiten GAK-Typ ersetzt (bezeichnet als GAK 6 und GAK 7). Zum Einsatz kamen zwei Frischkohlen und zwei Reaktivate. Drei der vier GAK-Typen wurden zum Vergleich parallel mit Abwasser der

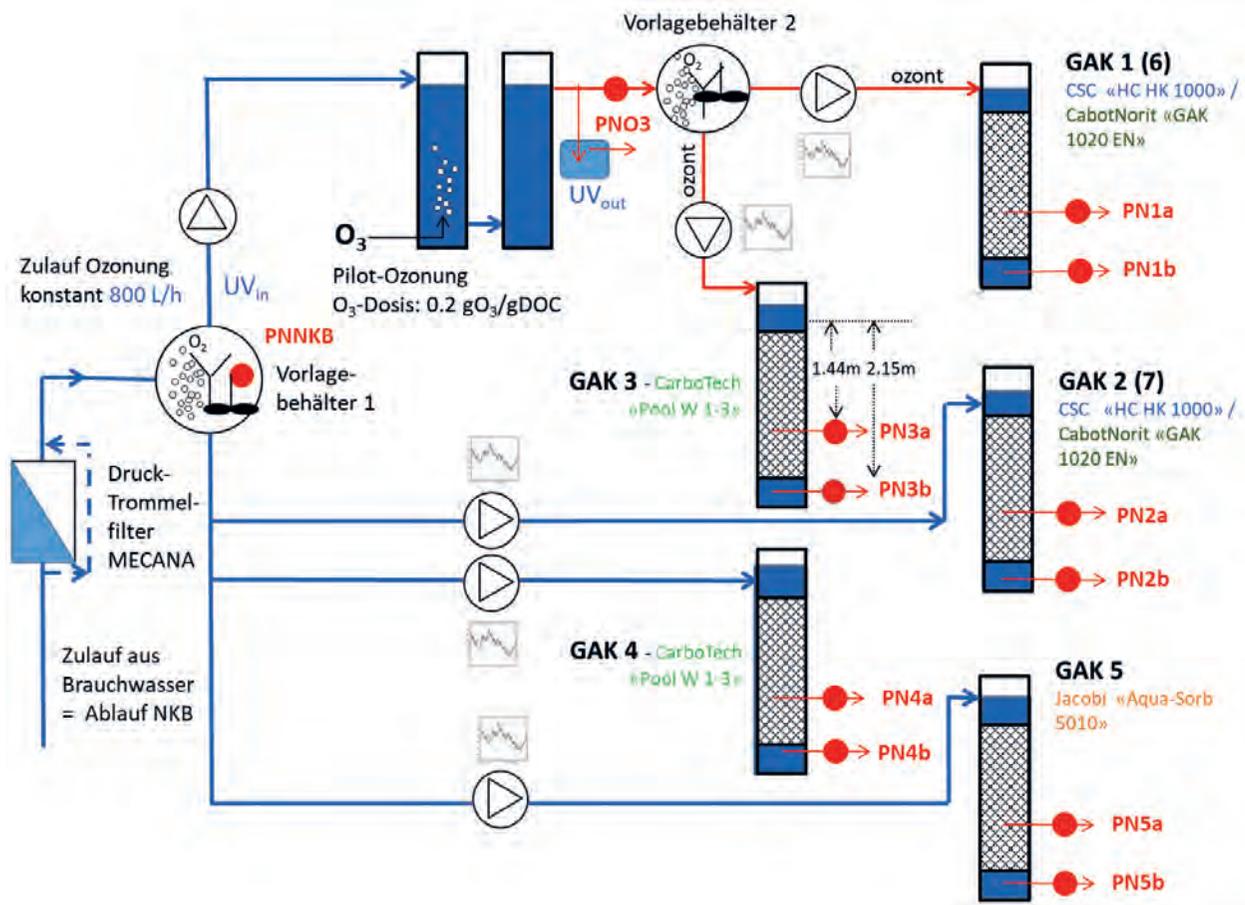


Fig. 3 Fließschema der Pilotierung zur erweiterten Abwasserbehandlung auf der ARA Glarnerland. In Rot: Probenahmestellen. Vier verschiedene GAK-Typen wurden getestet, drei davon zusätzlich parallel mit einer Vor-Ozonung.



Fig. 4 Pilotanlage auf der ARA Glarnerland mit den mit Aktivkohle befüllten Versuchskolonnen und den Probennehmern im Vordergrund. (© Abwasserverband Glarnerland AVG)

Nachklärung beschickt, das mit Ozon behandelt worden war. Um die Feststofffracht auf den Filter zu reduzieren, wurde ein Trommelfilter im Zulauf zu den GAK-Filtern installiert.

RESULTATE

EINFLUSS VON KONTAKTZEIT (EBCT) UND STANDZEIT DER GAK

Die Versuche auf der ARA Furt/Bülach zeigten deutlich, wie zentral die Kontaktzeit (EBCT) des behandelten Wassers mit der Aktivkohle ist. Im GAK-Filter 6, der in Phase 1a mit einer EBCT von durchschnittlich 13 min betrieben wurde (ähnliche EBCT wie in einem konventionellen Sandfilter), wurde bereits nach etwa 4000 Bettvolumen (BV) das Qualitätsziel einer mittleren Eliminationsleistung von 80% für die 12 Leitsubstanzen nicht mehr erreicht (siehe Fig. 5A). Hingegen ver-

besserte sich die relative EMV-Leistung des Filters deutlich auf rund 90% bei einer Verdopplung der EBCT auf rund 24 min in Phase 1b trotz bereits vorhandener Vorbelastung von 25 000 BV.

Im parallel betriebenen GAK-Filter 5 (Fig. 5B), der in Phase 1a eine höhere EBCT aufwies (durchschnittlich ca. 22 min), wurden die Mikroverunreinigungen stärker reduziert. Das Qualitätsziel einer EMV-Leistung von 80% wurde erst nach etwa 20 000 BV unterschritten. Nach Senkung der EBCT auf etwa 16 min beschleunigte sich die Abnahme der EMV-Leistung des Filters 5. In Phase 2 wurde die EBCT wieder auf durchschnittlich ca. 23 min erhöht, wodurch sich die EMV verbesserte und sich bis 75 000 BV zwischen 60 und 70% stabilisierte. Diese hohe EMV bei hoher Standzeit respektive hoher Vorbelastung ist vermutlich bedingt durch die biologische Aktivität des Filtermaterials.

Einzelne Leitsubstanzen werden vermutlich biologisch abgebaut, sodass sich die beobachtete Gesamtreduktion der Leitsubstanzen aus Adsorption und der biologischen Aktivität des Filterbettes ergibt.

Der Einfluss der EBCT wurde ebenfalls auf der ARA Glarnerland studiert, wobei hier die Kontaktzeit nicht über die Veränderung der Zulaufwassermenge, sondern über die Probenahme aus unterschiedlicher Betttiefe der GAK-Schüttung in den Versuchskolonnen variiert wurde (vgl. Fig. 3).

Die Eliminationsleistung von 80% wurde hier bereits bei 12 000 bis 15 000 BV unterschritten (Fig. 6). Es liess sich keine deutliche Erhöhung der EMV bei einer Verlängerung der EBCT von 24 auf 36 Minuten erkennen, was auch schon anderweitig festgestellt worden war [6]. Die Elimination wurde jedoch stark von der Verdünnung der Abwassermatrix durch Regen- und Schmelzwasser beeinflusst, was zu Einbussen der EMV-Leistung führte (siehe auch nächstes Kapitel). Die schlechtere Eliminationsleistung und die grössere Variabilität im Vergleich zu den Versuchen auf der ARA Furt/Bülach können auf die höheren und stärker schwankenden DOC-Werte im Zulauf der GAK-Filter zurückgeführt werden.

Die hydraulische Filterkontaktzeit ist die zentrale Grösse zur Bemessung der GAK-Filtration.

Aus den Projektergebnissen kann abgeleitet werden, dass mit EBCT im GAK-Filterbett von mehr als 20 Minuten eine effiziente EMV erreicht werden kann. Wird ein GAK-Filter wie ein Sandfilter mit Kontaktzeiten von lediglich 10 bis 15 Minuten betrieben, so wird die geforderte Eliminationsleistung unverhältnismässig schnell unterschritten.

Beim Betrieb von (n-1) Filtern, sodass eine Filterzelle als Reserve für die Revision/Reaktivierung und für den maximalen Durchfluss (Regenwetter) zur Verfügung steht, sollte die EBCT daher nicht unter 20 Minuten fallen [9], um die GAK-Filtration wirtschaftlich und entsprechend den gesetzlichen Vorgaben zu betreiben. Basierend auf den Ergebnissen der Pilotuntersuchungen und einem Expertenaustausch im Rahmen eines Workshops an

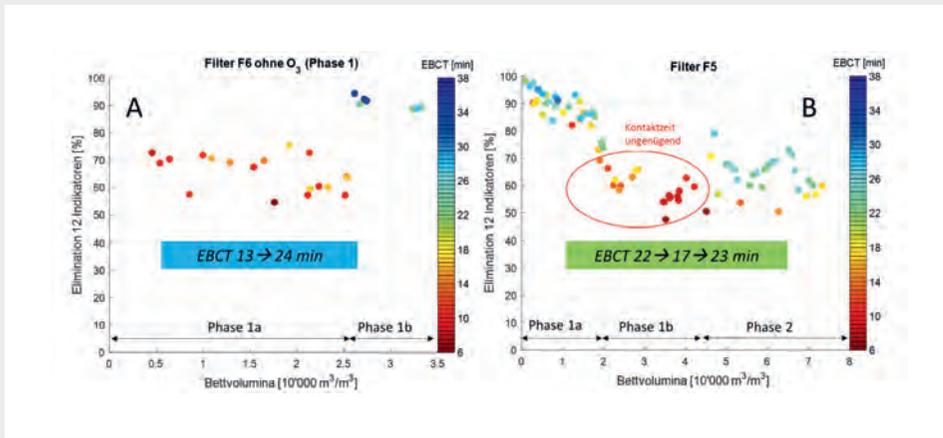


Fig. 5 Durchschnittliche Elimination der 12 Leitsubstanzen in Abhängigkeit von der behandelten Abwassermenge (BV) für GAK-Filter 6 (A) und GAK-Filter 5 (B) bei unterschiedlichen Kontaktzeiten (EBCT) in den drei Phasen auf der ARA Furt/Bülach. Die aktuellen Kontaktzeiten bei der Probenahme sind farblich gekennzeichnet.

der Eawag in Zusammenarbeit mit dem VSA wurden die wichtigsten Hinweise zur Planung und Auslegung derartiger GAK-Filter in dem Konsenspapier zusammengestellt [9].

VERMINDERUNG DER ELIMINATION BEI REGENWETTER

Regen- und Schmelzwasser erhöhen massgeblich den Zulauf zur ARA. Dies führt einerseits zu einer verkürzten EBCT im GAK-Filter und andererseits zu einer Verdünnung des Abwassers um ein Vielfaches. Bei erhöhten ARA-Zuläufen wurden sowohl auf der ARA Furt/Bülach wie auch auf der ARA Glarnerland Leistungseinbußen in der Elimination der Mikroverunreinigungen festgestellt («Dellen») in der Elimination, wie sie in Figur 6 ersichtlich sind). Dieser Effekt zeigte sich auch, wenn das Regenereignis am Vortag eintrat. Um diesen Umstand besser zu verstehen, wurden Einzeluntersuchungen mit verdünntem Abwasser auf der ARA Glarnerland durchgeführt. Dabei wurde auch die EBCT variiert.

Die Testresultate zeigen, dass die EMV bzw. Sorptionsleistung der GAK für Einzelsubstanzen abnimmt als Folge einer verkürzten EBCT, aber auch – und das in einem noch grösseren Masse – aufgrund der verdünnten Abwassermatrix. Dies lässt sich damit erklären, dass sich bei Verdünnung des Zulaufs das Konzentrationsgefälle zwischen sorbierten Einzelsubstanzen auf der Aktivkohle und im Abwasser verringert. Somit ist die treibende Kraft für den Stofftransport von der Wasserphase zur Aktivkohle verkleinert, wodurch die Ab-

laufkonzentration nur wenig sinkt (vgl. Fig. 7B). Damit ergeben sich verminderte (oder sogar negative) Eliminationsleistungen über den GAK-Filter. Diese Beobachtung wurde vor allem bei den bereits höher beladenen GAK-Filtern gemacht. Es ist anzunehmen, dass bei einem gestaffelten Betrieb respektive Austausch der GAK-Zellen diese Leistungseinbußen weniger stark für die Gesamteliminationsleistung der GAK-Filtration ins Gewicht fallen, weil dann neben höher beladenen GAK-Zellen auch Zellen mit jüngerer, frischer GAK in Betrieb sind, die den Effekt abschwächen. Dies sollte in Zukunft weiter untersucht werden, wenn die ersten volltechnischen GAK-Filter in der Praxis auf den Klär-

anlagen mit Parallelschaltung in Betrieb sind.

STANDZEIT UND WIRTSCHAFTLICHKEIT DER GAK-FILTER

Die Standzeit der GAK im Filter ist ein wichtiger Aspekt zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und des spezifischen Aktivkohleverbrauchs. In Abhängigkeit von der EBCT und dem DOC-Niveau der Abwassermatrix ergibt sich die Standzeit der GAK im Filter bis zum Austausch. Im Fall der ARA Furt/Bülach wurde eine Abschätzung der erreichbaren BV bei Parallelschaltung von GAK-Zellen unter Berücksichtigung von Regenwetter vorgenommen (Fig. 7).

Figur 7A zeigt die Ermittlung der Standzeit, ausgehend von den durchschnittlichen Eliminationsleistungen für die 12 Indikatorstoffe im GAK-Filter 5. Der Abstand «a» stellt die unterschiedliche EMV entsprechend der gestaffelten Erneuerung einzelner Filterzellen (Parallelschaltung der Filterzellen) dar, damit im Gesamtverlauf 80% Elimination erreicht werden. Weil ein relativ neuer Filter eine Eliminationsleistung von 90% erreicht, kann die schlechteste Zelle mit 70% EMV betrieben werden. Unter Berücksichtigung der EMV bei Regenwetter (rote Linie) liegt der Schnittpunkt von 70% EMV bei 30'000 durchgesetzten BV. Bei dieser Standzeit lässt sich ein Verbrauch von 13g/m³ Aktivkohle berechnen (Fig. 7C), was gut vergleichbar ist mit PAK-Anwendungen. Dies gilt für eine Hinter-

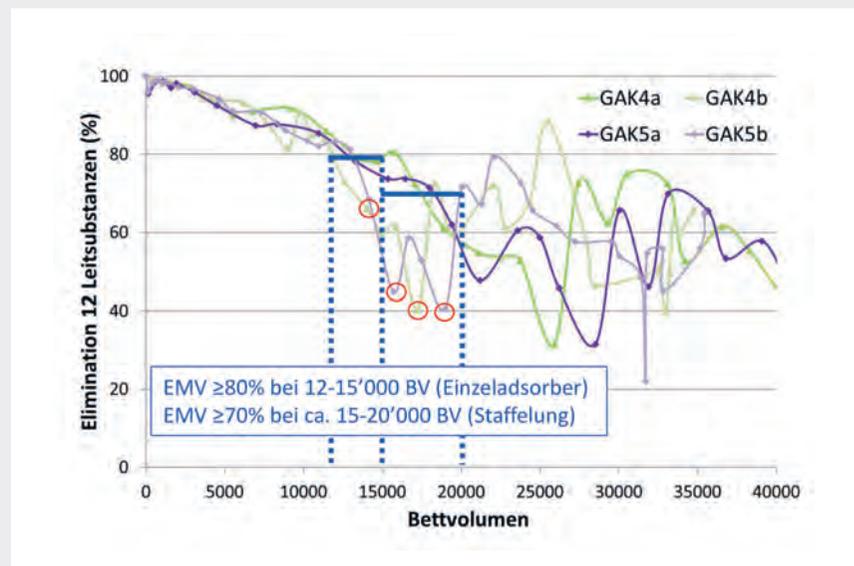


Fig. 6 Durchschnittliche Elimination der 12 Leitsubstanzen in Abhängigkeit von der behandelten Abwassermenge (BV) auf der ARA Glarnerland für GAK-Filter 4 und 5 bei EBCT von 24 min (GAK_a) und 36 min (GAK_b). Rote Kreise zeigen die verringerte EMV-Leistung, bedingt durch eine Verdünnung der Abwassermatrix.

grundmatrix von etwa 5 mg DOC/l für die ARA Furt/Bülach.

Im Fall der ARA Glarnerland sind die erreichbaren Bettvolumen bis zum Abbruchkriterium deutlich geringer. Aufgrund des hohen DOC-Niveaus wegen des hohen Industrieabwasseranteils wird hier bei einem gestaffelten Betrieb von 15 000 bis 20 000 BV bis zum Austausch (70% EMV; Fig. 6) ausgegangen.

KOMBINATION EINER VOR-OZONUNG MIT EINEM GAK-FILTER

Auf der ARA Glarnerland wurde die Elimination im GAK-Filter mit und ohne Vor-Ozonung im Parallelversuch betrachtet. Nach der Vor-Ozonung kam es später zu Durchbrüchen respektive zum Unterschreiten des Qualitätsziels einer EMV-Leistung von 80%, d. h., die Spurenstoffe sorbieren besser. Dies wurde auch in anderen Untersuchungen beobachtet [10] und kann dadurch erklärt werden, dass die Hintergrundmatrix (gelöstes organisches Material unterschiedlichster Natur) in der Ozonung ebenfalls oxidiert wird. Dadurch wird das organische Material polarer, wodurch es schlechter an die Aktivkohle sorbiert und somit weniger Konkurrenz zu den Spurenstoffen darstellt. Eine Vor-Ozonung führt also zu höheren Standzeiten der GAK. Zusätzlich werden die Spurenstoffe in der Ozonung zum Teil bereits abgebaut.

Eine tiefe spezifische Ozondosis zur Vor-Ozonung erhöht deutlich die GAK-Standzeiten gegenüber einer reinen GAK-Filtration.

Aus den Beobachtungen auf der ARA Furt/Bülach und ARA Glarnerland kann gefolgert werden, dass bei einer tiefen spezifischen Ozondosis von rund 0,2 g O₃/g DOC eine Vor-Ozonung mehr als doppelt so lange Standzeiten erbringt als bei einer reinen GAK-Filtration. Dies reduziert massgeblich den Aktivkohleverbrauch, denn der Austausch der GAK kann zeitlich verzögert werden. Darüber hinaus kann die Ozonung zwischenzeitliche Leistungseinbussen der GAK (z. B. bei Regenwetter) ausgleichen, was betrieblich von Vorteil ist. Allerdings steigen natürlich die Investitionskosten für das kombinierte Verfahren.

Dank seiner biologischen Aktivität dient der GAK-Filter gleichzeitig dem Abbau

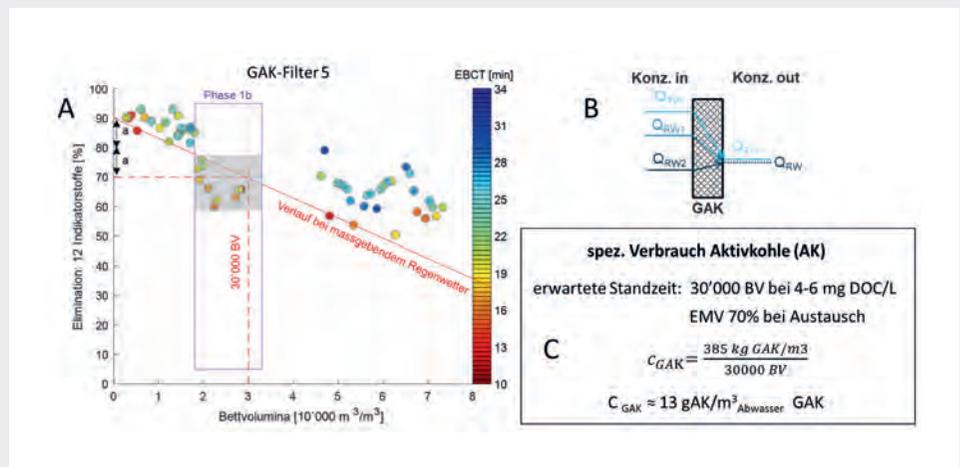


Fig. 7 Durchschnittliche Elimination der 12 Leitsubstanzen und Ermittlung der erreichbaren Bettvolumen bis zum Filteraustausch unter Berücksichtigung von Regenereignissen auf der ARA Furt/Bülach (rote Linie, Bild A). Bild B zeigt die Konzentrationsverhältnisse des Abwassers bei Trockenwetter (Q_{RW}) und Regenwetter (Q_{RW}) im Zu- und Ablauf der GAK-Filtration. Teil C zeigt die Berechnung des spezifischen Aktivkohleverbrauchs bei einer Standzeit von 30 000 BV aus der spezifischen Dichte der eingesetzten Aktivkohle.

der gut biologisch abbaubaren Reaktionsprodukte der Ozonung sowie deren ökotoxikologischer Wirkungen [2, 10].

PERFORMANCE VERSCHIEDENER GAK-TYPEN – FRISCHKOHLN UND REAKTIVATE

Im Glarnerland wurden verschiedene GAK-Typen miteinander verglichen. Zum Einsatz kamen zwei Frischkohlen und zwei Reaktivate auf Basis verschiedener Ausgangsrohstoffe (Stein- und Braunkohle, Holz).

Die Frischkohle auf Basis von vorwiegend Holz zeigte zu Beginn der Untersuchungen eine sehr gute EMV-Leistung, gleichwertig zu derjenigen anderer fossiler GAK-Typen. Im weiteren Verlauf nahm jedoch die EMV deutlich ab und es wurde ein Massenverlust festgestellt, was auf das vergleichsweise geringere spezifische Gewicht der GAK auf Holzbasis zurückzuführen ist. Bei gleichem Filtervolumen ist der Massenanteil der Aktivkohle und somit auch das Angebot von potenziellen Adsorptionsplätzen etwa 50% geringer. Zudem wurde beobachtet, dass dieser GAK-Typ Wasser aufnimmt, aufquillt und dadurch seine Formbeständigkeit verliert.

Die zwei Reaktivate auf Basis von Steinkohle zeigten beide sehr gute EMV-Leistungen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zum Frischprodukt auf Basis von Braunkohle beobachtet.

REAKTIVIERUNG

Im Projekt ARA Furt/Bülach wurde die Reaktivierung der GAK getestet. Nach

etwa 74 000 BV wurde die GAK aus Filter 5 ausgebaut und bei der *Batrec Industrie AG* (Wimmis) reaktiviert und anschliessend wieder eingebaut. Es zeigte sich, dass sich die Jodzahl der hochbeladenen GAK von 530 mg/g durch Aktivierung um 300 mg/g erhöhen liess. Der Aschegehalt erhöhte sich nur geringfügig, und die Korngrößenverteilung wurde durch den Aktivierungsprozess nur unwesentlich verändert. Aufgrund des wenig schonenden Ausbaus der GAK (mittels Luft bzw. Saugwagen) kam es allerdings zu einer Verkleinerung der GAK-Körner, sodass es eines vergleichsweise hohen Make-up-Anteils von 30% bedurfte, um die gewünschte Korngrößenverteilung wiederherzustellen. In der Regel liegt der Make-up-Anteil bei 10 bis 20%. Im weiteren Betrieb mit der reaktivierten GAK wurden die gleichen EMV-Leistungen in Abhängigkeit von den gefahrenen Bettvolumen erzielt wie mit der frischen GAK zu Projektanfang. Somit kann gesagt werden, dass GAK aus der kommunalen Abwasserreinigung sich trotz sehr hoher Beladung bzw. gefahrener Bettvolumen ausgezeichnet reaktivieren lässt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Pilotstudien auf der ARA Furt/Bülach und der ARA Glarnerland zeigen, dass das Verfahren der Raumfiltration mit GAK geeignet ist, um Mikroverunreinigungen unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen aus kommunalem Abwasser

WEITERE INFORMATIONEN:**GRANULIERTE AKTIVKOHLE ZUR ELIMINATION VON MIKROVERUNREINIGUNGEN**

Ausführliche Details zu den Erfahrungen und Ergebnissen der Projekte sind in den Projekt-Schlussberichten [7] und [8] sowie im Konsenspapier [9] zu finden. Das Konsenspapier fasst den derzeitigen Wissensstand zur GAK-Filtration zusammen und gibt wertvolle Hinweise zur Planung und Auslegung dieser EMV-Technologie. Die Berichte, das Konsenspapier sowie weitere Dokumente zum Themengebiet werden in der Eawag-Bibliothek und auf der Website der VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen» (www.micropoll.ch) zur Verfügung gestellt.

DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt den Kläranlagen ARA Furt (Bülach) und ARA Glarnerland (AVG) für die operative, technische sowie finanzielle Unterstützung der Projekte. Dank gilt auch den beteiligten Industriepartnern, wie den Firmen SUEZ/Ozonia, WABAG usw., die technische Infrastruktur und Know-how für die Projekte zur Verfügung stellten. Dank gehört weiter den vielen Eawag-Mitarbeitern für den Betrieb und Unterhalt der Pilotanlagen und die Durchführung von Einzelexperimenten sowie für die Analyse einer grossen Anzahl von Abwasserproben. Ebenso ist der grosse analytische Beitrag des AWEL des Kantons Zürich verdankt.

Dank gilt dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die finanzielle Unterstützung der vorgestellten Projekte. Weitere finanzielle Beiträge wurden von zahlreichen Kläranlagen und Verbänden sowie beratenden Büros beigesteuert. Unterstützt wurden die Projekte zudem von den Umweltfachstellen diverser Kantone.

effizient zu entfernen. Die GAK-Filtration ist technisch und wirtschaftlich (spezifische Betriebskosten) realisierbar und hat sich als praxistauglich erwiesen. Die erzielten Eliminationsleistungen und die erreichbaren Standzeiten bzw. durchgesetzten Bettvolumen verdeutlichen, dass der spezifische Aktivkohlebedarf vergleichbar ist mit PAK-Verfahren. Die GAK-Filtration hat zudem einen deutlich besseren CO₂-Fussabdruck als PAK-Verfahren dank der Möglichkeit der Reaktivierung der eingesetzten Aktivkohle. Eine Aktivierung kann in der Schweiz

durchgeführt werden. Reaktivate zeigten sich im Betrieb und in der Effizienz ebenbürtig zu Frischprodukten.

Wichtigster Parameter für die Auslegung und Effizienz der GAK-Filtration ist die Kontaktzeit (EBCT) des Abwassers im GAK-Filterbett. Diese sollte 20 Minuten bei maximalem Durchfluss nicht unterschreiten. Diese eher grosszügige Dimensionierung ist zum heutigen Zeitpunkt, zumindest für die ersten gross-technischen Anlagen in der Schweiz, sinnvoll, bis weitere Erkenntnisse vorliegen. Gemäss einer Abschätzung ergeben sich an den Standorten ARA Furt/Bülach und ARA Glarnerland Standzeiten von etwa 20 000 bis 30 000 Bettvolumen respektive von etwa 1,5 bis 2 Jahren für eine einzelne Filterzelle. Hierbei ist die zeitlich gestaffelte GAK-Erneuerung berücksichtigt, wobei vergleichsweise «frische» GAK-Zellen eine Eliminationsleistung grösser 80% aufweisen, sodass bereits höher beladene Zellen in ihrer Eliminationsleistung unterhalb des Qualitätsziels betrieben werden können. Die Standzeit der GAK an den betrachteten Standorten wird massgeblich durch die Höhe des DOC-Gehaltes des Zulaufs zur Filtration beeinflusst, der mit der Adsorption der Spurenstoffe konkurriert.

Bei einzelnen ARA kann eine Vor-Ozonung sinnvoll sein. Eine tiefe spezifische Ozondosis (z. B. 0,2 g O₃/g DOC) zur Vor-Ozonung erhöht deutlich die GAK-Standzeiten gegenüber der reinen GAK-Filtration. So lassen sich mehr als doppelt so lange Standzeiten der GAK bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums erzielen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Böhler, M. A. et al. (2019): Kann die Kohle nachhaltig sein? – Einsatz von Aktivkohle zur Elimination von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser. In: M. Wessling & J. Pinnekamp (Eds.), 13. Aachener Tagung Wassertechnologie. Verfahren der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung (pp. 51–62). Aachen: RWTH Aachen
- [2] Gulde, R. et al. (2021): Spurenstoffe in der Ozonung: Bildung von Transformationsprodukten

und ihr Verhalten in der biologischen Sandfiltration. *Aqua & Gas* 12/2021: 20–28

- [3] Fundneider, T. (2020): Filtration und Aktivkohle-adsorption zur weitergehenden Aufbereitung von kommunalem Abwasser – Phosphor- und Spurenstoffentfernung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. DOI: 10.25534/tuprints-00012020
- [4] Austermann-Haun, U. et al. (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
- [5] Benstöm, F. et al. (2016): Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen. Ein Überblick über halbertechnische und volltechnische Untersuchungen – Teil 1: Veranlassung, Zielsetzung und Grundlagen. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 63(3): 187–192
- [6] Benstöm, F. et al. (2016): Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen. Ein Überblick über halbertechnische und volltechnische Untersuchungen – Teil 2: Methoden, Ergebnisse und Ausblick. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 63(4): 267–289
- [7] Böhler, M. et al. (2020): Elimination von Spurenstoffen durch granuliert Aktivkohle-Filtration (GAK): Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt, Bülach. Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz
- [8] McArdell, C.S. et al. (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
- [9] Böhler M. et al. (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
- [10] Böhler, M. et al. (2017): Projekt ReTREAT – Untersuchungen zur biologischen Nachbehandlung nach Ozonung. *Aqua & Gas* 5/2017: 54–63

> SUITE DU RÉSUMÉ

à 80%, ce qui permet ainsi l'exploitation des cellules déjà partiellement saturées ayant une capacité d'élimination inférieure à l'objectif de qualité. La durée de vie des CAG est fortement influencée par la teneur en COD de l'alimentation de la filtration. Pour certaines STEP, une pré-ozonation peut s'avérer judicieuse, permettant de prolonger nettement le délai jusqu'au remplacement des CAG.

Warum
Anna bei den
Young Professionals
mitmacht?

Das erzählt sie gleich
selbst...



vsa.ch/YP



V S A

YOUNG PROFESSIONALS

Das junges Netzwerk

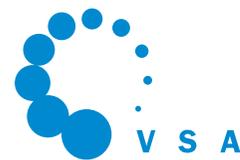
Réseau jeunes du VSA | La rete dei giovani

Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute

Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux

Associazione svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque

Swiss Water
Association



VSA-Leitfaden

KONFORMITÄTSERKLÄRUNG FÜR KLÄRANLAGEN

Ausgabe 2021



Die VSA-Publikation zeigt mit konkreten Schritten auf, wie eine anerkannte Risikobewertung einer Kläranlage oder einer anderen komplexen Anlage gesetzeskonform durchgeführt und eine Konformitätserklärung ausgestellt werden kann.



vsa.ch/konform