

Eawag
Überlandstrasse 133
Postfach 611
8600 Dübendorf
Schweiz
www.eawag.ch

eawag
aquatic research 000

Kurzfassung

Elimination von Spurenstoffen durch granuliert Aktivkohle- Filtration (GAK)

Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt,
Bülach

Verfasser: Marc Böhler, Antonio Hernandez, Christa S. McArdell, Hansruedi Siegrist und Adriano Joss (Eawag), Kapitel 6: Martin Baggenstos (Hunziker Betatech)

Projektpartner: Eawag (Projektleitung, Analytik, Probenahmen, Anlagen Betrieb): Simon Bitterwolf, Marc Böhler, Marc Bourgin, Julian Fleiner, Antonio Hernández, Adriano Joss, Christa McArdell, Hansruedi Siegrist

ARA Furt, Bülach (Installation der Anlage, Anlagen Betrieb, Probenahmen): Gianni Bombardieri, Markus Allemann, Roland Vonderlin

AWEL (Analytik Mikroverunreinigungen): Christian Balsiger, Urs Holliger, Oliver Jäggi, Daniel Rensch

WABAG (Planung, Installation, Abschätzung Wirtschaftlichkeit): Martin Baggenstos (jetzt Hunziker Betatech), Andreas Gehringer, Claudio Lehmann

Dies ist eine Kurzfassung der wichtigsten Erkenntnisse aus den Versuchen auf der ARA Bülach. Detailliertere Beschreibungen und Graphiken finden Sie im [Schlussbericht](#) (auf Deutsch verfügbar).

Einführung

Um die GAK-Filtration und die Kombination von GAK-Filtration mit vorgeschalteter Ozonung mit anderen Verfahren vergleichen zu können, wurde das Projekt auf der ARA Furt in Bülach lanciert. Das Projekt bzw. dessen Verlauf wurde anhand der Ergebnisse und Erfahrungen laufend weiterentwickelt, wobei neue Fragestellungen und Experimente aufgenommen wurden. Daraus ergaben sich drei grosse Projektphasen.

In den Phasen 1a und 1b des Projektes wurden erste Erfahrungen im Umbau von Sandfilterzellen in GAK-Filterzellen und Betriebserfahrungen mit den GAK-Filterzellen gewonnen. Die zeitliche Entwicklung des Rückhalts von organischem Kohlenstoff und Mikroverunreinigungen in den GAK-Filterzellen wurde analysiert und die Einflussfaktoren auf die Elimination identifiziert

In der Phase 2 wurde zusätzlich eine Teil-Ozonung vorgeschaltet um diese Verfahrenskombination mit der reinen GAK-Filtration zu vergleichen. Die MV-Elimination der reaktivierten GAK wurde ebenfalls untersucht. Ziel der Phase 2 war nachzuweisen, was die Kombination von Ozon und GAK betreffend Effizienzsteigerung bzw. Standzeitverlängerung der GAK-Füllung ermöglicht.

Versuchsanordnung

Die ARA Furt ist ausgerüstet mit 6 parallel geschalteten Filterzellen, deren Material einzeln ausgetauscht werden kann und die im Filterzulauf durch eine Überfallkante beschickt und dabei auch leicht belüftet werden. In der vorliegenden Pilotstudie handelt es sich um eine klassische Abwasser-Raumfiltration nach SULZER-Bauart, wobei der Hydroanthrazit in den Filterzellen 5 und 6 im November 2014 mit GAK ausgetauscht wurde. Filter 4 diente als Referenz-Sandfilter. Die Filter haben eine Fläche von je 22.5 m² und ein Raumvolumen von etwa 35.8 m³ Hydroanthrazit bzw. 33.6 m³ GAK.

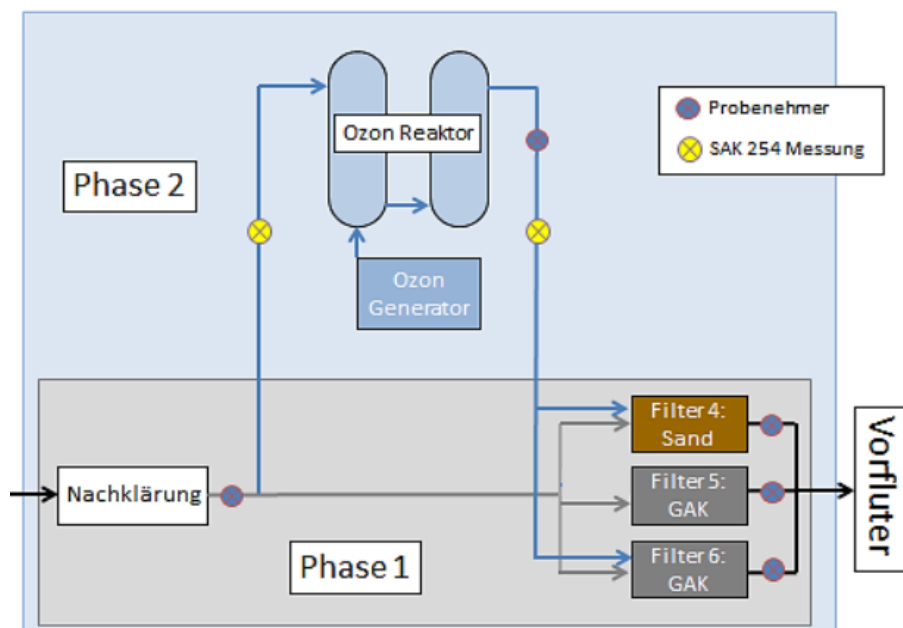


Abbildung 1: Schema der Einbettung der Verfahren in die ARA Furt. Die Inbetriebnahme der Ozonung erfolgte in Phase 2.

Im Mai 2016 wurde die ARA zudem mit einer Ozonung ausgestattet. Sie besteht aus einem Container zur Ozonerzeugung mit Ozongenerator, den Ozonreaktoren und einem Restozonvernichter. Zwischen den Ozonreaktoren und dem Container mit dem Ozongenerator befindet sich ein Container mit der

online SAK₂₅₄-Messtechnik. Vom Wasser aus der Nachklärung wird nur ein Teil in die Ozonreaktoren geleitet, um beim durchflussproportionalen Betrieb der Filterzellen die gewünschte Kontaktzeit zu erreichen. Nach der Ozonung wird das Abwasser zum Sandfilter 4 und GAK-Filter 6 geleitet (Abb. 1).

Die Intervalle für die Probenahme unterschieden sich in den einzelnen Projektphasen (Tab. 1). Für die Analyse von DOC, MV und UV-Absorption (Labormessung) wurden im Ablauf der Nachklärung und jeweils im Ablauf der Filterzellen 4, 5 und 6 und in Phase 2 zusätzlich nach den Ozonreaktoren 24 h-volumenproportionale Sammelproben entnommen.

Tabelle 1: Übersicht über die Probenahmeintervalle und die untersuchten Parameter in den jeweiligen Projektphasen.

Projektphase	Zeitraum	Probenahmeintervall	Untersuchte Parameter
1a: GAK-Filtration	3.12.14 – 20.10.15	1. Monat 2-3 Tage 2. Monat wöchentlich anschliessend zweiwöchentlich	DOC, MV, SAK ₂₅₄ (Labor)
1b: GAK-Filtration	11.11.15 – 12.04.16	2 Monate lang: wöchentlich, dann zweiwöchentlich	DOC, MV, SAK ₂₅₄ (Labor)
2: Ozonung + GAK-Filtration Stufenversuche	29.06.16 – 21.07.16	Je 3 Tage pro Stufe	DOC, MV, SAK ₂₅₄ (Labor, online)
2: Ozonung + GAK-Filtration Dauerbetrieb	22.07.2016 – 18.12.2018	Zweiwöchentlich	DOC, MV, SAK ₂₅₄ (Labor, online)

Resultate

Mit den eingestellten Betriebsparametern konnte in GAK-Filter 5 als Einzelfilter bei einer Kontaktzeit von 21.9 min \pm 6.3 min über 18'000 Bettvolumina eine Elimination von 80% eingehalten werden. Die GAK-Filterzelle 6, welche während der Phase 1a mit kurzen Kontaktzeiten von 13.4 \pm 4.8 min betrieben wurde unterschritt die 80% bereits nach 3'000 Bettvolumina. Dies zeigt die sehr hohe Bedeutung des Betriebsparameters Kontaktzeit.

Beide GAK-Filter wiesen während der ersten 1'000 Bettvolumina eine ähnliche, sehr hohe Elimination von >97% auf, obwohl die Leerbettkontaktzeit beim GAK-Filter 6 deutlich tiefer lag als beim GAK-Filter 5. Dies zeigt, dass aufgrund der sehr hohen anfänglichen Adsorptionskapazität der frischen GAK, die Kontaktzeit zu Beginn der Inbetriebnahme noch keinen sehr grossen Einfluss hat. Im Folgenden nahm die Leistung beider GAK-Filter jedoch fortlaufend ab, zunächst stark und mit anschliessend geringerem Trend. Die Eliminationsleistung des Filters 6 sank dabei deutlich schneller ab wodurch mit der Zeit bei ähnlichen Bettvolumina die Eliminationsleistung des GAK-Filters 6 deutlich tiefer lag, als bei GAK-Filter 5. Dieser Unterschied blieb aber nicht bestehen, als die Kontaktzeiten in der Phase 1b verändert wurden. Die Eliminationsleistung des GAK-Filter 6 erhöhte sich signifikant von rund 60% bei einer Kontaktzeit von 13.4 min auf rund 90% bei einer Kontaktzeit von 23.8 min bei rund 25'000 Bettvolumina. Gegen Ende der Pilotierung bei etwa 70'000 – 80'000 Bettvolumina und etwa gleichen Kontaktzeiten von rund 25 min waren die erreichten Eliminationen in etwa gleich um 60% wobei der GAK-Filter 6 mit einer Vorozonung betrieben worden war (Abb. 2).

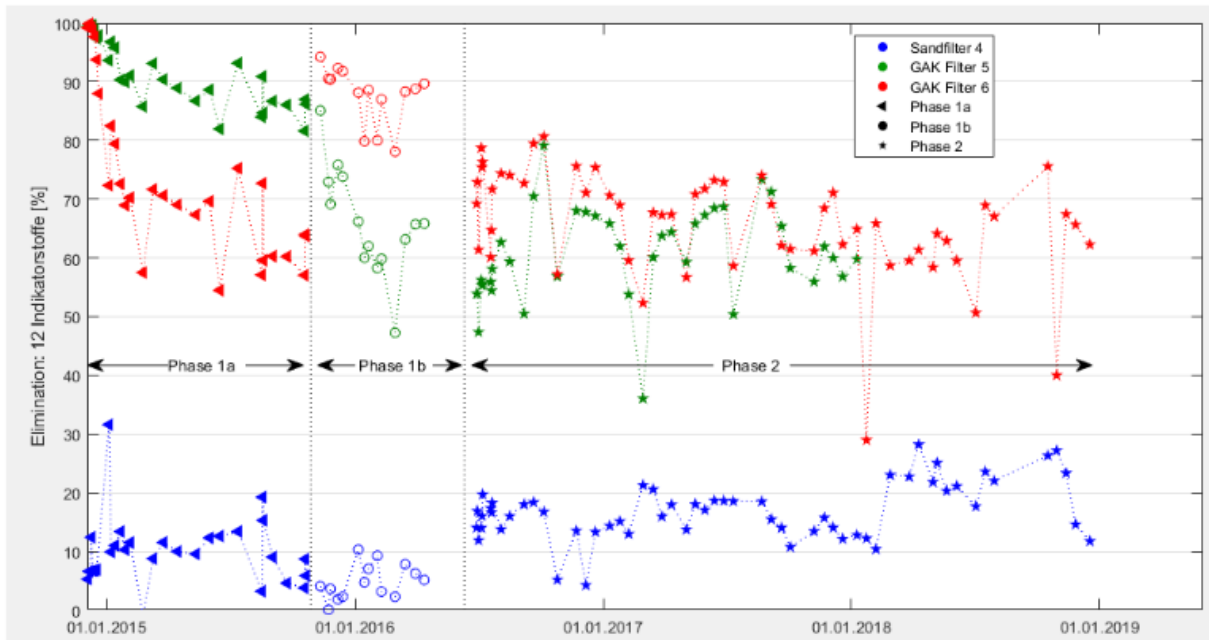


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der mittleren Elimination der 12 Leitsubstanzen der verschiedenen Filterzellen. Vertikal gestrichelt wird die Betriebszeit in die Phasen 1a, 1b und Phase 2 aufgeteilt

Im Sandfilter 4 konnte keine ausreichende Elimination im Mittel der Leitsubstanzen erreicht werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die makro-poröse Struktur der GAK-Körner eine ideale Oberfläche zur Besiedelung von Biofilmen darstellt. Daher ist auch die DOC-Eliminationsleistung auch nach Jahren Betrieb systematisch höher, als beim Sandfilter. Zusätzlich zur biologischen Aktivität haben die GAK-Filterzellen auch adsorptive Eigenschaften. Aufgrund dieser konnten auf den GAK-Filterzellen wesentlich höhere Eliminationen erreicht werden.

Nach der Inbetriebnahme der Ozonung wurden als erstes Stufenversuche mit drei unterschiedlichen Ozondosen durchgeführt, um die zu wählende Ozondosis für die Vorozonung (Kombiverfahren) zu bestimmen. Mit allen drei Dosen wurde in der Kombination Ozonung und GAK-Filtration eine Elimination $\geq 80\%$ im Durchschnitt für die 12 Leitsubstanzen erreicht. Der GAK-Filter 6 in Kombination

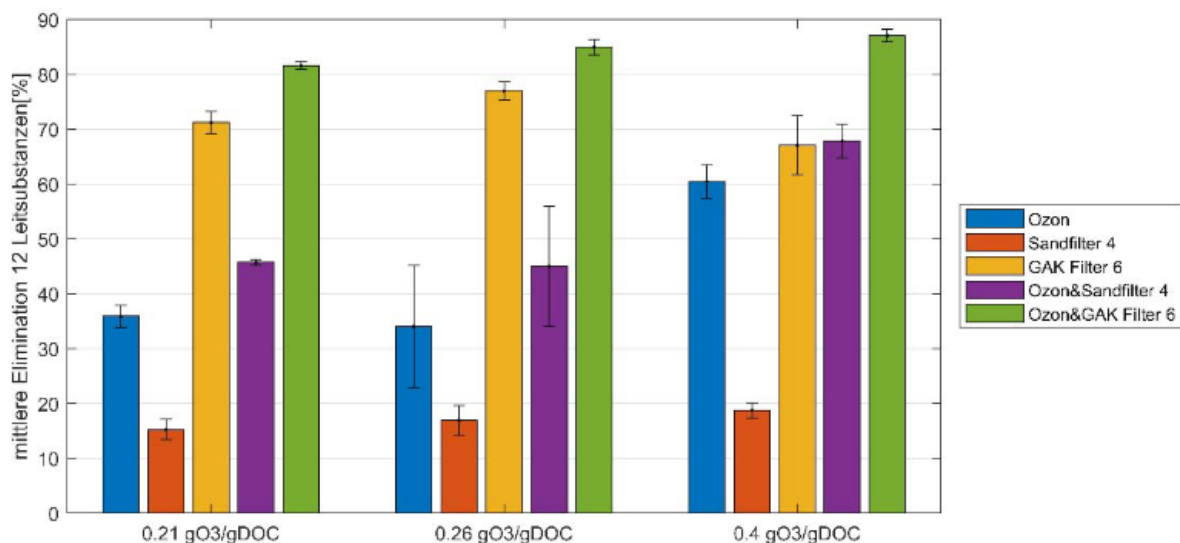


Abbildung 3: Gegenüberstellung der mittleren Abnahme der 12 Leitsubstanzen durch die Ozonung, durch den Sandfilter 4, durch den GAK Filter 6 und durch die Kombination der Ozonung und der Filterzellen 4 und 6 (bei 39'000 BV)

mit der Ozonung weist je nach Ozondosis eine gute (82%) bis sehr gute (87%) MV-Elimination auf (Abbildung 3).

Auf Basis der Stufenversuche wurde in der Phase 2, die Ozonung mit $0.17 \pm 0.1 \text{ gO}_3/\text{gDOC}$ gefahren. Die 12 Leitsubstanzen wurden dabei wie folgt eliminiert:

- Ozonung ohne Filtration: $24\% \pm 11\%$
- Ozonung mit Sandfilter: $38\% \pm 10\%$
- Ozonung mit GAK-Filter: $74\% \pm 7\%$

In dieser Phase hätten weder die alleinige Ozonung, noch die GAK alleine die angestrebte Elimination erreicht. Es wird spekuliert, dass sowohl der Abbau von Stoffen, die schnell mit Ozon reagieren als auch ein verändertes Sorptionsverhalten des DOC auf der GAK hierbei eine bedeutende Rolle spielen.

Schlussfolgerung

In den Versuchen auf der ARA Furt in Bülach konnte bestätigt werden, dass Festbettfiltration mit GAK geeignet ist, Mikroverunreinigungen entsprechend der gesetzlichen Anforderungen aus dem kommunalen Abwasser zu entfernen. Der Einsatz der Aktivkohle ist dabei mit PAK-Verfahren vergleichbar.

Für die MV-Elimination in einer GAK-Filtration sind folgende Parameter von Bedeutung:

- **Kontaktzeit:** Damit die Stoffdiffusion von der Flüssigphase in die GAK stattfinden kann, muss die EBCT genügend hoch sein. Mit einer EBCT von 20 – 35 min ist der GAK-Verbrauch mit PAK Anwendungen vergleichbar. Wird ein GAK-Filter wie ein Sandfilter mit 6 – 12 min betrieben, wird die geforderte Eliminationsleistung unverhältnismässig schnell unterschritten.
- **Bettvolumina:** Die Aktivkohle wird mit der Zeit gesättigt, wobei ihre Eliminationsleistung mit der Betriebsdauer abnimmt. Am Standort Bülach (wenig Industrie) wird erwartet, dass mindestens 30'000 BV gefahren werden können, sofern die GAK Erneuerung der einzelnen Filter gestaffelt erfolgt.
- **DOC:** Organische Stoffe konkurrieren mit den MV um die Adsorptionsstellen an der Aktivkohle. Die adsorptive Elimination des DOC ist innert weniger Wochen (ca. 1'000 BV) weitgehend gesättigt. Nach der Sättigung wird eine DOC Reduktion von 10 – 20% beobachtet, was vergleichbar ist mit der Sandfiltration.
- **Biologische Aktivität im Filterbett:** Wie beim Sandfilter liegt auch bei der GAK-Filtration ein biologisch aktiver Biofilm vor. Allerdings ist noch unklar, inwieweit der direkte Abbau von MV von Bedeutung ist, oder eher der Abbau von DOC, die mit MV um Adsorptionsplätze in Konkurrenz stehen.
- **Zulauf:** Bei Regenwetter ist die Kontaktzeit reduziert wie auch die Stoffkonzentration und somit die treibende Kraft für den Stofftransport von der Wasserphase zur GAK.
- **Temperatur:** Eine höhere Temperatur steigert sowohl den biologischen Abbau der MV als auch die Diffusion der MV auf die adsorptiven Oberflächen der GAK.
- **GAK-Material:** Die Korngrößenverteilung und die Güte der Aktivierung sind wichtige Eigenschaften, wobei ein quantitatives Verständnis der dabei massgebenden Mechanismen gegenwärtig nicht vorliegt und in dieser Studie nicht behandelt wurde. Es wird empfohlen, Schüttelversuche durchzuführen um je nach Abwassermatrix die beste GAK auszuwählen.
- **Auswahl der massgebenden MV:** Diese ist aufgrund der stark unterschiedlichen Elimination der Einzelsubstanzen für die machbare Standzeit der GAK wichtig. Da in der Schweiz die massgebenden Stoffe festgelegt sind, ist dies hauptsächlich für Vergleiche mit Resultaten im Ausland zu berücksichtigen.

Ein besseres quantitatives Verständnis der Parameter, welche von Bedeutung für die MV-Elimination sind, würde die Betriebssicherheit und damit wahrscheinlich auch eine etwas wirtschaftlichere Auslegung erlauben. Bis dahin wird empfohlen die Planung von GAK-Anlagen weitgehend auf Erfahrungswerten bisheriger Anlagen und Versuche abzustützen.

Für den Betrieb unterscheidet sich eine GAK Filtration nur insofern von einer herkömmlichen Sandfiltration, als dass die GAK jeder Zelle alle paar Jahre erneuert werden muss. Die erforderliche Häufigkeit der Filtrerrückspülung und die GUS-Elimination von GAK-Filtern sind grob vergleichbar mit einem Sandfilter. Weil ab 35 min Kontaktzeit keine bedeutende zusätzliche MV-Elimination erwartet werden darf, werden bei Trockenwetter Filterzellen entsprechend dem Zufluss abgeschaltet. Aufgrund der Bedeutung der Kontaktzeit für die MV Elimination wird empfohlen, die erwünschte mindest-EBCT als Zuschaltkriterium für weitere Zellen zu nehmen. Ausserdem soll die GAK bei parallel betriebenen Filtern gestaffelt erneuert werden, weil dadurch die Standzeit verlängert werden kann. So kann die frisch erneuerte Zelle, welche mehr eliminiert als erforderlich, die allenfalls unter 80% liegende Eliminationsleistung der ältesten Zelle kompensieren. Der Austauschzeitpunkt der GAK einer einzelnen Filterzelle sollte sich derzeit an MV-Messungen sowie der durchgesetzten Abwassermenge orientieren (Monitoring der erreichten Bettvolumina je Zelle). Messungen der Absorbanzabnahme einzelner Zellen können den Entscheid zum GAK-Wechsel unterstützen.

Die GAK-Reaktivierung ist auch in der Schweiz machbar, wobei die Sorptionseigenschaften vergleichbar mit frischer GAK sind. Der Aus- und Einbau der GAK sollte durch fördern mit Wasser und nicht mit Luft erfolgen. Trotz einem zu erwartenden GAK-Verlust von 15 – 20% während der Reaktivierung (durch Abbrand und Siebverlusten des entstandenen Unterkorns) ist der CO₂-Fussabdruck bedeutend besser als bei PAK, wo keine Reaktivierung möglich ist. Verbrauchte GAK wird in der Regel gemahlen und als PAK weiterverwendet. Eine Entsorgung kann sowohl in die Zementindustrie wie auch in der Kehrrechtverbrennung erfolgen.

Die Kombination von Ozon und GAK erlaubt das Erreichen der geforderten Elimination mit einer sehr tiefen spezifischen Ozondosis von rund 0.2 gO₃/gDOC und mehr als der doppelten GAK-Standzeit gegenüber der reinen GAK Filtration. Somit bestätigen diese Versuche O₃+GAK als grundsätzlich interessante Verfahrensoption. Auch hier scheint die Δ SAK₂₅₄-Messung die beste Option für die Regelung der Ozon Dosis.

Betreffend Wirtschaftlichkeit bestätigt der Fall Bülach: die MV-Elimination durch GAK-Filtration mit und ohne Vor-Ozonung ist konkurrenzfähig mit PAK-Lösungen. Eine Ozonung mit Sandfilter scheint günstiger. Dies gilt unabhängig davon, ob die Gesamtkosten mit oder ohne Investitionsbeitrag von Seiten Bund massgebend sind. Die ARA Bülach muss zwar nicht ausbauen, aber theoretisch wäre eine Aufstockung der Filterhöhe auf 2 m notwendig sowie der Bau eines zusätzlichen Filters, damit der GAK-Austausch planmässig durchgeführt werden kann.