



Plattform

„Verfahrenstechnik Mikroverschmutzungen“

Eawag:

Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs

Konsenspapier

zum Ergebnis des Workshops vom 9.12.2019 an der Eawag

Hinweise zur Planung und Auslegung von diskontinuierlich gespülten GAK-Filtern zur Elimination organi- scher Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser

Dieses Dokument fasst den aktuellen Wissensstand basierend auf den Ergebnissen des Workshops zur granulierten Aktivkohlefiltration vom 9.12.19 zusammen. Es kann bei Bedarf mit neuen Erkenntnissen ergänzt werden. Die Autoren erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Organisation des Workshops: Böhler M., Joss A., McArdell C. (Eawag), Meier A. (VSA)¹

Teilnehmer des Workshops:

- *Beratungs- und Planungsbüros: Alt K. (Hydro-Ingenieure, D), Baggenstos M. (Hunziker, CH), Benstöm F. (atd GmbH, D), Bitterwolf S. (Kuster und Hager, CH), Fux C. (TBF, CH), Le Goaziou Y. (BG, CH), Lehmann P. (Triform, CH), Löwenberg J. (CSD, CH), Salzgeber D. (Hölinger, CH), Thomann M. (ehem. Hölinger, CH; nun FHNW)*
- *ARA-Betreiber: Biermann K. (ARA Glarnerland, CH), Preisig W. (ARA REAL, CH)*
- *Forschung: Böhler M. (Eawag, CH), Fundneider T. (TU Darmstadt, D), Hernandez A. (Eawag, CH), Joss A. (Eawag, CH), McArdell C. (Eawag, CH), Nahrstedt A. (IWW, D), Siegrist H. (ehem. Eawag, CH)*
- *Bundesamt für Umwelt: Dominguez D. (Sektion Gewässerschutz, CH)*
- *VSA: Abegglen C. (VSA, ARA Werdhölzli, CH), Grelot J. (VSA-Plattform, CH), Meier A. (VSA-Plattform, CH)*

Hintergrund

Die Raumfiltration mittels granulierter Aktivkohle (GAK-Filtration) ist ein Verfahren zur Elimination gelöster organischer Verbindungen aus verunreinigtem Wasser und kann auch auf Kläranlagen zur Spurenstoffelimination eingesetzt werden. Die GAK-Filtration ist technisch gesehen der Sandfiltration sehr ähnlich.

In den letzten Jahren liefen mit den Untersuchungen auf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Bülach und der ARA Glarnerland wichtige Pilotversuche in der Schweiz, und es sind einige grosstechnische Projekte mit GAK in Planung (z.B. ARA Muri) oder bereits in Betrieb (ARA Altenrhein, in diesem Fall eine Kombination mit Ozonung). Zudem sind in Deutschland diverse GAK-Filtrationen seit mehreren Jahren in Betrieb und es werden mehr und mehr GAK-Filtrationen geplant, so dass auch hier bald weitere Erfahrungen vorliegen.

¹ Zitiervorschlag:

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.

Ingenieure und Betreiber interessieren sich zunehmend für diese Technologie, weil sie Potenzial in der technisch einfachen Umsetzung und der Wirtschaftlichkeit sehen. Sie benötigen Empfehlungen zur Dimensionierung von GAK-Filtern.

Vor diesem Hintergrund haben sich Schweizer und Deutsche Experten aus Praxis und Forschung im Rahmen eines Workshops an der Eawag getroffen, um das Wissen bezüglich Dimensionierung von GAK-Filtern aus den verschiedenen Projekten zusammen zu tragen. Im vorliegenden Dokument sind die zentralen Ergebnisse zusammengefasst.

In diesem Papier wird ausschliesslich die diskontinuierlich gespülte GAK-Raumfiltration behandelt. Andere Verfahren mit GAK wie kontinuierlich gespülte GAK-Filter oder GAK im Schwebbett weisen wesentliche verfahrenstechnische Unterschiede auf und werden hier nicht erörtert.

Gesetzliche Anforderungen und Empfehlungen an die Reinigungsleistung und Überwachung

In der Schweiz bestehen gesetzliche Vorgaben an die Spurenstoffelimination auf ARA. In Deutschland gibt es keine gesetzlichen Vorgaben, jedoch Empfehlungen in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen (NRW) und Baden-Württemberg (BW). Das vorliegende Konsenspapier fokussiert auf die gesetzlichen Anforderungen für Schweizer ARA. Die Reinigungsleistung von mindestens 80 % von 12 Leitsubstanzen (oder einer Auswahl aus diesen) bezogen auf Rohabwasser ist einzuhalten (detailliertere Angaben zum Vorgehen und der Berechnung der Reinigungsleistung siehe [Link](#)). Dies ist ein wesentlicher Unterschied zwischen der Schweizer Gesetzgebung und den Anforderungen in Deutschland.

Die Reinigungsleistung wird anhand von 48 h-Sammelproben bestimmt. Dabei ist pro Jahr die von der ARA-Grösse abhängige Anzahl Abweichungen gemäss Anhang 3.1 Ziffer 42 GSchV zulässig. Folglich sind die untenstehenden Aussagen nicht uneingeschränkt auf andere Länder mit allenfalls abweichenden Anforderungen an die Spurenstoffelimination übertragbar.

In Deutschland wird in einigen Bundesländern ein verwandtes Prinzip angewandt. In Tabelle 1 sind die derzeit für die Spurenstoffelimination heranzuziehenden Leitsubstanzen der Schweiz, sowie der deutschen Bundesländer NRW und BW aufgezeigt. Die Anforderungen zur Einhaltung der Vorgabe für eine ausreichende Spurenstoffelimination sind in Deutschland länderspezifisch unterschiedlich definiert.

Tabelle 1: Leitsubstanzen für den Nachweis einer ausreichenden Spurenstoffelimination (Stand 2019)

Stoffgruppe	Schweiz	Nordrhein-Westfalen	Baden-Württemberg
Arzneimittel-wirkstoffe	Amisulprid°		
	Carbamazepin°	Carbamazepin	Carbamazepin
	Candesartan*		
	Citalopram°		
	Clarithromycin°	Clarithromycin	
	Diclofenac°	Diclofenac	Diclofenac
	Hydrochlorothiazid°		Hydrochlorothiazid
	Irbesartan*		Irbesartan
	Metoprolol°	Metoprolol	Metoprolol
		Sulfamethoxazol	
	Venlafaxin°		
Korrosionsschutz-mittel	Benzotriazol*	Benzotriazol	Benzotriazol
	∑ 4+5-Methylbenzotriazol*		∑ 4+5-Methylbenzotriazol
Hinweise	Einstufung der Stoffe: ° „sehr gut eliminierbar“ * „gut eliminierbar“	KOM-M.NRW-Auslegungsbroschüre : Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination, 2. Auflage (2016)	„ Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination“ (2019)

GAK-Dimensionierung

Die **hydraulische Filterkontaktzeit** bzw. engl. empty bed contact time (EBCT)² ist die zentrale Grösse zur Bemessung der GAK-Filtration. Beim Betrieb von (n-1) Filtern, also mit einer Filterzelle als Reserve für die Revision/Reaktivierung und bei maximalem Durchfluss (Regenwetter), sollte die Kontaktzeit nicht unter 20 Minuten fallen.

Die Filterbetthöhe und die Filtergeschwindigkeiten sind weitere wichtige Grössen. Beide Grössen stehen in Beziehung zu einander und werden durch die Kontaktzeit und die Filterfläche definiert.

Die Filterbetthöhe sollte zwischen 1.5 m und etwa 2.5 m gewählt werden. Aufgrund der Tendenz zur Oberflächenfiltration bei feineren und heterogenen GAK-Körnungen empfehlen sich kleine Betthöhen eher für schwebstoffbelastete Zuläufe (es ergibt sich mehr Filterfläche) und grössere Betthöhen für schwebstoffarme Zuläufe. Es gilt also, die beste Kombination von Betthöhe/Mediumshöhe und resultierender Filterfläche sowie Körnung (angepasst an die Schwebstoffbelastung) zu finden. Bei hohen Filterbetthöhen ergeben sich hohe Bauwerke, die eine entsprechende Planung der Maschinentchnik bedingen. Aus der Kontaktzeit und Filterbetthöhe ergeben sich Filtergeschwindigkeiten zwischen 4 und 7 m/h (bei n-1 Filterzellen).

Eine **Mindestanzahl von 4 Filterzellen** (inkl. Reservezelle für Reaktivierung und Revisionen) ermöglicht bei variablen Zulaufwassermengen einen angepassten Betrieb der Filtration (zu- bzw. abschalten von Filterzellen). Die Reservezelle ist in ein Betriebsregime einzubinden, damit alle Filterzellen in zeitlichen Abständen durchflossen werden und eine hohe biologische Aktivität erhalten bleibt.

Die Dimensionierung der Filterzellen soll auf die Ladekapazität der LKW abgestimmt werden, welche die GAK (ab-)transportieren. Dabei muss beachtet werden, dass die feucht ausgebaute GAK etwa das doppelte spezifische Gewicht der trockenen GAK aufweist.

Standzeiten von etwa 20'000 bis 30'000 Bettvolumina³ für eine einzelne Filterzelle ergeben sich gemäss bisherigen Erfahrungen zur Einhaltung des Qualitätsziels von 80 % Elimination im Gesamtablauf der Filtration. Hierbei ist die zeitlich gestaffelte GAK-Erneuerung berücksichtigt, dass vergleichsweise «frische» GAK-Zellen eine höhere Eliminationsleistung aufweisen und bereits höher beladene Zellen in ihrer Eliminationsleistung unterhalb des Qualitätsziels betrieben werden. Die Standzeit der GAK wird massgeblich durch die Höhe des DOC-Gehaltes des Zulaufs zur Filtration beeinflusst.

Die geeignete **Körnung** des GAK-Materials hängt von der GUS-Konzentration des Zulaufs und somit von der Vorbehandlung ab (z.B. nach Filtration oder nach der biologischen Stufe), wie in Tabelle 2 aufgezeigt ist. Eine möglichst tiefe GUS-Konzentration ist generell anzustreben. Bei gleichem GAK-Typ weist eine feinere GAK grössere Kornoberfläche auf, was zu einem besseren Stoffaustausch zum Korn-Inneren führt und somit geringere Kontaktzeiten erlauben sollte.

Tabelle 2: Die geeignete Körnung des GAK-Materials ist abhängig von der GUS-Konzentration im Zulauf zur GAK-Filtration.

GUS-Konzentration [mg/l]	Körnung GAK [mm]	US-Mesh GAK
< 5	0.6 – 2.4	8 * 30
5 – 10	0.8 – 2.0	10 * 20
> 10	1.2 – 2.4	8 * 16

Ein Grossteil der GAK-Filter wurde bisher als offene **Gravitationsfilter** in Betonbauweise erstellt. Es werden jedoch neu auch geschlossene, abwärtsdurchströmte Filter in Kesselform und Stahlausführung (sogenannte

² Die hydraulische Filterkontaktzeit (EBCT) ist definiert als Volumen des Filterbetts (Fläche Filterzelle * Filterbetthöhe) dividiert durch den Zufluss. Dabei wird angenommen, dass die Filter mit homogener Geschwindigkeit durchflossen werden. Die tatsächliche Kontaktzeit im Bett ist damit deutlich geringer, da für den EBCT das Eigenvolumen der GAK einfachheitshalber auf Null gesetzt wird.

³ Die Anzahl behandelte Bettvolumina entspricht der summierten Anzahl m³ behandeltes Abwasser geteilt durch das Gesamtvolumen des Filterbetts (Filterfläche mal GAK-Betthöhe).

Druckfilter) angewendet, welche oberirdisch in Leichtbauhallen errichtet werden können. Neben der Flexibilität und leichten Entleerung/Befüllung ergeben sich andere Vorteile (z.B. Korrekturmöglichkeiten bei Bodensenkungen, Erweiterbarkeit/Ausbaumöglichkeit, höhere Flexibilität durch hinauszögern der Spülung in Havariefällen durch Druckreserven).

Bei Zulaufmengen, die deutlich höher sind als der Trockenwetteranfall, sinkt die Reinigungsleistung aufgrund der Verdünnung und kürzerer Kontaktzeiten (EBCT).

Um diese **Einbusse in der Spurenstoffreduktion** bei hohem Zufluss (Regenwetter) zu kompensieren, können folgende verfahrenstechnische Massnahmen bzw. Kombinationen mit einer GAK-Filtration umgesetzt werden:

- Betrieb einer Vor-Ozonung⁴
- Betrieb einer zusätzlichen PAK-Dosierung in die biologische Stufe
- PAK-Dosierung vor die GAK-Filtration (hierzu liegt jedoch noch keine Erfahrung vor)
- Regenwassermanagement im Einzugsgebiet (Genereller Entwässerungsplan, Überprüfung der Weiterleitmengen, Regenüberlaufbecken...)

Weitere Aspekte

- Bei aufwärts durchströmten GAK-Filtern ist eine Stüttschicht auf Filterdüsen mit grober Schlitzweite notwendig, nicht jedoch bei abwärts durchströmten Filtern, bei denen die Schlitzweite der Filterdüsen auf die Körnung der GAK abgestimmt werden kann.
- Der Umbau von bestehenden Sandfiltrationen zu GAK-Filtrationen ist prinzipiell möglich, es muss jedoch sichergestellt werden, dass die vorgeschlagenen Kontaktzeiten durch Anpassungen (z.B. Erhöhung der Schüttung des Filtermaterials, bauliche Erhöhung des Filters) eingehalten werden sowie die maschinentechnische Ausstattung wie Aggregate zur Luft- und Wasserspülung von GAK geeignet sind (deutlich geringere Spülgeschwindigkeiten bei GAK-Filtern).
- Es wird aktuell nicht empfohlen, die GAK-Filtration mit einer gezielten Phosphorfällung zu kombinieren (Flockungsfiltration). Die Fällung führt zu inerten Ablagerungen (Fällungsprodukte) auf der Kohle, welche einer Reaktivierung der Kohle abträglich sind. Zudem erhöht sich durch die Fällungs- oder Flockungsprodukte die Feststofffracht auf den Filtern deutlich (höhere Raumbelastung). Es wird erwartet, dass hierdurch ein häufigeres Rückspülen erforderlich würde.
- Die Leistungsfähigkeit der Adsorption und die damit verbundene Standzeit von reaktivierter GAK ist ebenbürtig zur Frischkohle, reaktivierte GAK ist jedoch kostengünstiger und weist einen deutlich geringeren CO₂-Fussabdruck auf.
- Die Auswahl der Leitsubstanzen kann einen Einfluss auf die Standzeit/erreichbare Bettvolumen haben.
- Der Spülung der Filter kommt eine wichtige Funktion zu. Nach einer ersten Spülung ist die Schüttdichte etwa 15 % höher (Klassierung). Dieser Umstand ist bei der Ausschreibung und Abrechnung zu berücksichtigen. Ein optimaler Reinigungseffekt der Spülung wird bei einer Bettexpansion von rund 25 % erzielt. Korngrösse und spezifisches Gewicht der GAK sind in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen und sollen bei der Festlegung der Bauhöhen Berücksichtigung finden. Die Anzahl der Spülungen ist zu minimieren, um Spülwasseranfall und Abrieb der Kohle gering zu halten (Härte der Kohle beachten).
- Beim Rückspülen des Filtermaterials mit Luft ergeben sich grosse Scherkräfte auf die Aktivkohlekörner. Dies führt zu Abrieb und damit zu Aktivkohleverlust. Vor diesem Hintergrund sollte die Härte der GAK Produkte nicht zu gering ausgewählt werden.
- Der Austauschzeitpunkt der einzelnen Zellen kann anhand der Bettvolumina abgeschätzt werden. Allenfalls kann auch die Messung des SAK₂₅₄ (online oder im Labor) dazu oder auch zur Überwachung der

⁴ Sofern das Abwasser für eine Ozonung gemäss VSA-Empfehlung «Abklärung Verfahrenseignung Ozonung» geeignet ist, www.micropoll.ch

Reinigungsleistung genutzt werden. Es liegen jedoch noch keine gesicherten Erkenntnisse aus den Pilotversuchen vor.

Stand des Verfahrens

Die Workshop-Teilnehmer waren sich einig, dass GAK-Filter für die Spurenstoffelimination gemäss Schweizer Gesetzgebung geeignet sind. Einige offene Fragen, vor allem zur Wirtschaftlichkeit und zur Reinigungsleistung während Regenwetter, sind jedoch noch nicht vollständig geklärt und werden durch Betriebserfahrungen ermittelt.

Fazit und Empfehlungen

- GAK-Filter eignen sich grundsätzlich zur Spurenstoffelimination gemäss Schweizer Gesetzgebung, und sind technisch und wirtschaftlich realisierbar und haben sich als praxistauglich erwiesen.
- Dabei sollen sie bei maximalem Durchfluss eine Kontaktzeit von mindestens 20 Minuten aufweisen. Diese eher grosszügige Dimensionierung ist zum heutigen Zeitpunkt zumindest für die ersten grosstechnischen Anlagen in der Schweiz sinnvoll.
- Die Reinigungsleistung bei Regenwetter und die resultierenden Standzeiten im Betrieb sollen bei den ersten grosstechnischen Anlagen beobachtet und dokumentiert werden. Basierend auf diesen Erfahrungen sollen Schlussfolgerungen für zukünftige Projekte gezogen werden.