



Faktenblatt – aktueller Stand diskontinuierlich gespülte GAK-Filter

zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser

Dieses Dokument fasste ursprünglich den Wissensstand basierend auf den Ergebnissen des Workshops zur granulierten Aktivkohlefiltration vom 9.12.19 an der Eawag zusammen (Böhler et al. 2020). Im September 2023 erfolgte die erste Aktualisierung. **Wichtige fachliche Änderungen sind in rot gekennzeichnet.** Das Faktenblatt kann bei Bedarf mit weiteren neuen Erkenntnissen ergänzt werden. Die Autoren erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

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

Teilnehmende 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), Schölzel S. (Schölzel Consulting, für Aktualisierung 1)
- **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), Brander 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 (Böhler et al. 2020b, Böhler et al. 2022, McArdell et al. 2020) wichtige Pilotversuche in der Schweiz, und es sind einige grosstechnische Projekte mit GAK in Planung (z.B. ARA Muri) oder bereits in Betrieb (ARA Moos, ARA Altenrhein in Kombination mit Ozonung; ARA Glarnerland in Kombination mit PAK).

¹ Zitiervorschlag:

Böhler M., Joss A., McArdell C., Brander A. (2023). Faktenblatt – aktueller Stand diskontinuierlich gespülte GAK-Filter zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Konsenspapier zum Ergebnis eines Workshops mit Fachexperten aus der Schweiz und Deutschland, Eawag und VSA, Dübendorf. Aktualisierte Version 2 des Konsenspapiers von 2020.

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 (Benstöm et al. 2016/2017, Fundneider et al. 2020/21).

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, **abwärts** durchströmte GAK-Raumfiltration behandelt. Andere Verfahren mit GAK wie kontinuierlich gespülte GAK-Filter oder GAK im Schwebebett 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-Auslegungs-broschüre : 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. Die Filtergeschwindigkeiten ergeben sich aus den Volumenströmen und der gewählten Filterfläche. Aus den Filtergeschwindigkeiten resultieren über die Bemessung die Kontaktzeiten (**Vorgehen siehe Anhang**).

Die Filterbetthöhe sollte zwischen 1.5 m und etwa 2.5 m (**bei guten Bedingungen bis 3 m**) gewählt werden. Aufgrund der Tendenz zur Oberflächenfiltration bei feineren und heterogenen GAK-Körnungen empfehlen sich grössere Filterflächen mit kleineren resultierenden Filtergeschwindigkeiten und geringen Betthöhen eher für schwebstoffbelastete Zuläufe und kleinere Filterflächen mit grösseren Betthöhen für schwebstoffarme Zuläufe. Es gilt also, die beste Kombination von Betthöhe/Mediumshöhe und resultierender Filterfläche sowie Körnung (angepasst an die Schwebstoffbelastung) zu finden. **Weitere Informationen zu dieser Thematik sind im Anhang zu finden.** Bei hohen Filterbetthöhen ergeben sich hohe Bauwerke, die eine entsprechende Planung der Maschinenteknik bedingen. Aus der Kontaktzeit und Filterbetthöhe ergeben sich Filtergeschwindigkeiten zwischen 4 und 8 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.

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.

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 der DOC-Konzentration 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. Einsatz nach Filtration oder nach der biologischen Stufe), wie in Tabelle 2 aufgezeigt ist (**weitere Details siehe Anhang**). Eine möglichst tiefe GUS-Konzentration ist generell anzustreben. Bei gleichem GAK-Typ weist eine feinere GAK eine grössere Kornoberfläche und einen kleineren Korndurchmesser auf, was zu einem besseren Stoffaustausch an das Korn heran und ins Korn-Innere führt und somit geringere Kontaktzeiten erlauben sollte. **Bei der vorgeschlagenen Körnung für GUS-Konzentrationen ≥ 10 mg/l gilt umgekehrt zu beachten, dass die Adsorptionskapazität geringer ist als bei einer feineren Körnung. Die Schüttdichte ist bei den feineren GAK-Typen (siehe Tab. 2) infolge der deutlich breiter gewählten Kornbänder (min. bis max. Korngrösse) höher; daher befindet sich mehr Aktivkohle bei gleichem Volumen in der Filterzelle. Zudem kann je nach gewähltem Aktivkohleprodukt im Inneren grosser Körner ein bei der Herstellung nicht durchaktivierter Kern bestehen, der zur Adsorption nicht zur Verfügung steht. Diese Umstände bedingen bei gröberen Körnungen (siehe Tab. 2) kürzere Austauschintervalle und resultieren in höheren Kosten für die GAK. Im Weiteren sind die spezifischen Kosten der GAK mit gröberer Körnung höher, da es sich nicht um eine Standardkörnung handelt und die Aktivkohlehersteller dieses Kornband nur auf Sonderbestellung anfertigen (resultierende höhere Anschaffungs- und Reaktivierungskosten).**

Tabelle 2: Die geeignete Körnung des GAK-Materials ist abhängig von der GUS-Konzentration im Zulauf zur GAK-Filtration (**weitere Details siehe Anhang**).

GUS-Konzentration [mg/l]	Körnung GAK [mm]	US-Mesh GAK
< 5	0.6 – 2.4	8 * 30 (Empfehlung)
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 **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...)
- **Dynamische Parallelschaltung: Die Filter werden abhängig von ihrer Standzeit (Bettvolumina) und**

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

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

der Zulaufmenge einzeln zugeschaltet und unterschiedlich beschickt. Bei hohem Zulauf werden Filter mit geringen Bettvolumina überproportional beschickt, da diese auch bei geringerer Aufenthaltszeit eine gute Reinigungsleistung erreichen. Gleichzeitig werden Filter mit hohen Bettvolumina weniger beschickt, sodass die Aufenthaltszeit und damit auch deren Reinigungsleistung höher ist. Bei geringem Zulauf können einzelne Filterzellen (mit geringen Bettvolumina) abgeschaltet oder geringer beschickt werden, sodass diese bei Regenwetter mit einer geringeren Standzeit zur Verfügung stehen. Bei der Planung ist deshalb darauf zu achten, dass die GAK-Filter durch eine geeignete Steuerung einzeln beschickt werden können (siehe auch Themenband DWA-T1/2019).

Weitere Aspekte

- Eine Stützschiicht ist bei abwärtsdurchströmten Filtern nicht notwendig und die Schlitzweite der Düsen sollte auf die Körnung abgestimmt werden.
- 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).
- Eine GAK-Filtration in Kombination mit einer P-Fällung (Flockungsfiltration) ist technisch machbar unter Berücksichtigung des zusätzlichen Fällschlammes, das heisst der gesamten Feststoff-Konzentrationen im Zulauf zum GAK-Filter. Zusätzlich sollte der Schwerpunkt der chemischen P-Elimination mit Vor- und Simultanfällung vollzogen werden – je weniger Fällung vor dem Filter desto besser. Eine abgeschlossene Flockung vor der Filtration ist notwendig. Es fehlen jedoch systematische Untersuchungen bezüglich der Auswirkungen von Fällmitteln auf die Reinigungsleistung und die Reaktivierbarkeit, was die Betriebskosten der GAK-Filtration beeinflusst. Diese Unsicherheiten sollen im Variantenvergleich berücksichtigt werden. Eine erweiterte Nutzung der GAK-Filtration zur Phosphorelimination kann allenfalls Einfluss auf die abgeltungsberechtigten Kosten haben.
- 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. Wird GAK in einen Filter eingefüllt, ist die Schüttdichte nach einer ersten Spülung etwa 15 % höher (Klassierung). Dieser Umstand ist bei der Ausschreibung und Abrechnung zu berücksichtigen (siehe Parameter Schüttdichte gegenüber Schüttdichte nach Spülung im Datenblatt und siehe auch Merkblatt DWA-M 285-2/2021). 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 an den Aktivkohlekörnern und im oberen Bereich des Filterbetts finden Korn-Korn-Interaktionen statt. 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 Reinigungsleistung genutzt werden, wobei die Ableitung der Spurenstoffelimination von der SAK-Reduktion bei der GAK-Filtration mit Unsicherheiten versehen ist und für jede Anlage ermittelt werden muss.

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.

Anhang

Im Rahmen des Projektes «Solidus» (Schölzel et al., 2022) wurde der Einfluss der Feststoffbelastung auf GAK-Filter genauer untersucht. Dabei konnte bestätigt werden, dass abwärts durchströmte GAK-Filter als Oberflächenfilter einzustufen sind. Die erreichten Filterlaufzeiten, bzw. die resultierende Feststoffbelastung bis zur Spülauslösung sind dabei sehr variabel. Es kann von folgenden Feststoffbelastungen bis zur Spülauslösung ausgegangen werden (Werte, die in 85% aller Fälle erreicht werden sollten).

- Körnung 0.6 – 2.4 mm (Datengrundlage Projekt Solidus): 0.5 kg TSS, bzw. GUS/m² (ohne Vorfiltration) und 1.0 kg TSS, bzw. GUS/m² (mit Vorfiltration)
- Körnung 0.8 – 2.0 mm (Abschätzung auf Basis Projekt Solidus): 1.0 kg TSS, bzw. GUS/m² (ohne Vorfiltration)
- Körnung 1.2 – 2.4 mm (Abschätzung auf Basis klassischer Raumfiltration mit dieser Körnung): 2.0 kg TSS, bzw. GUS/m² (ohne Vorfiltration)

Diese Werte gelten für einen verfügbaren Druckverlust über die Filtration von 3-4 m Wassersäule. Bei einem tieferen Druckverlust sind die Werte etwas zu reduzieren. Höhere, verfügbare Druckverluste führen wahrscheinlich nicht zu einer höheren Beladung, da mit einem höheren Druckverlust mehr Ausgasungen resultieren, welche wiederum zu einem Druckverlust führen.

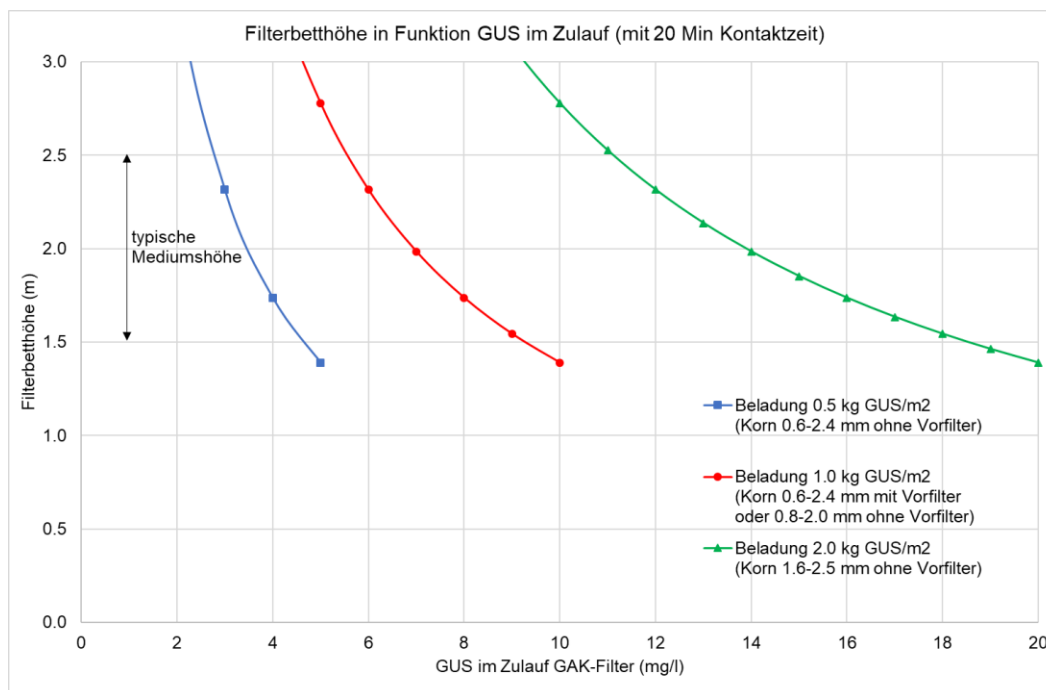
Es wird empfohlen, eine Dimensionierung für Filterlaufzeiten von mindestens 24 h vorzunehmen, um Zusatzspülungen gerade bei Regenwetter zu vermeiden. Denn Spülungen erfordern die Ausserbetriebnahme des betroffenen GAK Filters und reduzieren in dieser Zeit die Kontaktzeit, was unerwünscht ist. Im Betrieb können aber deutlich höhere Filterlaufzeiten resultieren (je nach Zulaufbedingungen). Dadurch kommt es zu Betriebskosteneinsparungen (weniger Spülabwasserrückführung, weniger Energieaufwand für Pumpen). Es ist daher zu empfehlen, im Betrieb ein bedarfsgerechtes, anlagenspezifisches Auslösekriterium für die Spülung zu ermitteln (z.B. Trübung im Ablauf, Druck, Öffnungsgrad des Ablaufschiebers).

Es wird folgende Dimensionierungsmethode empfohlen:

1. Bestimmung der 85% GUS, bzw. TSS-Fracht im Zulauf zur GAK-Filtration
2. Vorauswahl der GAK-Körnung in Abhängigkeit der GUS, bzw. TSS-Konzentration im Zulauf
3. Bestimmung der notwendigen Filterfläche auf Basis oben genannter Beladungen

4. Bestimmung der notwendigen Filterhöhe (als Resultat der gewählten Kontaktzeit und des resultierenden Filtrervolumens)
5. Kontrolle, ob die Filterbetthöhe im gewünschten Bereich ist (Empfehlung: 1.5-2.5 m, bei guten Bedingungen 3m). Wenn nicht: Wechsel der GAK-Körnung oder Massnahmen zur Reduktion der GUS, bzw. TSS-Fracht im Zulauf und/oder Dimensionierung mit Zusatzspülungen
6. Wahl Anzahl Zellen und Fläche pro Zelle. Kontrolle der resultierenden Filtrationsgeschwindigkeiten

Nachfolgende Graphik zeigt resultierende Filterbetthöhen für die oben genannten Beladungen und Körnungen in Funktion der GUS, bzw. TSS-Konzentration im Zulauf bei einer Kontaktzeit von 20 Min.



Literatur:

Benstöm, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H. und Pinnekamp, J. (2016a). Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen, Ein Überblick über halbtechnischer und volltechnischer Untersuchungen – Teil 1: Veranlassung, Zielsetzung und Grundlagen, Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2016 (63) – Nr. 3, S. 187 – 192.

Benstöm, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H. und Pinnekamp, J. (2016b). Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen, Ein Überblick über halbtechnischer und volltechnischer Untersuchungen – Teil 2: Veranlassung, Zielsetzung und Grundlagen, Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2016 (63) – Nr. 4, S. 267 – 289.

Benstöm, F. (2017a). Granulierte Aktivkohle zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser, Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, RWTH Aachen, Deutschland

Benstoem, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H. und Pinnekamp, J. (2017b). Performance of granular activated carbon to remove micropollutants from municipal wastewater-A meta-analysis of pilot- and large-scale studies. Chemosphere 185, 105-118.

Böhler M., Joss A., McArdell C., Meier Brander A. (2020a). 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. Alte Version dieses Faktenblattes.

Böhler, M., Hernandez, A., Baggenstos, M., McArdell, C.S., Siegrist, H., Joss, A. (2020b). Elimination von Spurenstoffen durch granulierte Aktivkohle-Filtration (GAK): Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt, Bülach. Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A21845>.

Böhler, M. A., Joss, A., & McArdell, C. S. (2022). GAK-Filter für die Spurenstoffentfernung. Erfahrungen und Betriebsergebnisse der Pilotstudien ARA Furt/Bülach und Glarnerland. Aqua & Gas, 102(1), 48-54. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A24197>

DWA Themenband (2019). Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung * Verfahrensvarianten, Reinigungsleistung und betriebliche Aspekte * Mai 2019 · T1/2019.

DWA-Merkblatt 285-2 «Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung», September 2021, 68 Seiten, ISBN 978-3-96862-141-8.

Fundneider, T. (2020). „Filtration und Aktivkohleadsorption zur weitergehenden Aufbereitung von kommunalem Abwasser – Phosphor- und Spurenstoffentfernung –“. Dissertation. Technische Universität Darmstadt. Schriftenreihe IWAR (259). ISBN 978-3-940897-60-2. Verein zur Förderung des Instituts IWAR der TU Darmstadt e.V., Darmstadt.

Fundneider, T., Alonso, V.A., Wick, A., Albrecht, D., Lackner, S. (2021a). Implications of biological activated carbon filters for micropollutant removal in wastewater treatment. Water Research 189, 116588.

Fundneider, T., Alonso, V.A., Abbt-Braun, G., Wick, A., Albrecht, D., Lackner, S. (2021b). Empty bed contact time: The key for micropollutant removal in activated carbon filters. Water Research 191, 116765.

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. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A21543>.

Schölzel et al. (2022): Dimensionierung großtechnischer GAK-Filter durch Ermittlung der erzielbaren Feststoffbelastungen und Spülintervalle (SOLIDUS). Kurzbericht zum gleichnamigen Forschungsvorhaben, gefördert vom Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.