

Kurzbericht
zum Forschungsvorhaben
„Dimensionierung großtechnischer GAK-Filter durch
Ermittlung der erzielbaren Feststoffbelastungen und
Spülintervalle“

(„SOLIDUS“)

Az.: 17-04.02.01-3a/2018

Im Rahmen des Förderprogramms
„Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ –
Förderbereich 6:
Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Abwasserbeseitigung

gerichtet an das

**Ministerium für Klimaschutz, Umwelt,
Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Aachen, den 31.03.2022

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Wintgens
Direktor des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft
der RWTH Aachen

Projektbearbeitung

		Bearbeiter/Bearbeiterinnen
	Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen Univ.-Prof. Dr.-Ing. Johannes Pinnekamp Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Wintgens Mies-van-der-Rohe-Str. 1 52074 Aachen Tel.: 0241 80 25207 Fax: 0241 80 22285 E-Mail: isa@isa.rwth-aachen.de www.isa.rwth-aachen.de	Swetlana Schölzel, M.Sc. schoelzel@isa.rwth-aachen.de Dr.-Ing. Laurence Palmowski palmowski@isa.rwth-aachen.de Ben Reiser, M.Sc.
	Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH Stockkampstraße 10 40477 Düsseldorf Tel.: 0211 44991-0 www.hydro-ingenieure.de	Dipl.-Ing. Soufiane Frindi Soufiane.Frindi@hydro-ingenieure.de Dipl.-Ing. Klaus Alt klaus.alt@hydro-ingenieure.de
	atd GmbH – Ingenieurgesellschaft für Abwasserwirtschaft und technische Dienstleistungen mbH Krefelder Straße 147 52070 Aachen Tel.: 0241 169 89 0 E-Mail: info@atdgmbh.de https://www.atdgmbh.de/	Dr.-Ing. Frank Benstöm benstoem@atdgmbh.de
Autor:innenteam: ISA: Swetlana Schölzel, M.Sc.; Ben Reiser, M.Sc.; Dr.-Ing. Laurence Palmowski, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Wintgens HI: Dipl.-Ing. Soufiane Frindi, Dr.-Ing. Sarah Zydorczyk, Dipl.-Ing. Klaus Alt atd: Dr.-Ing. Frank Benstöm		
Zitiervorschlag: 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.		

1 Projektbeschreibung

GAK-Filter werden zur Spurenstoffelimination eingesetzt und daher bislang über die Kontaktzeit und die Filtergeschwindigkeit dimensioniert. In diesem Zusammenhang fehlten bisher Erkenntnisse über die hydraulische Leistungsfähigkeit in Bezug auf maximale Feststoffbelastungen der GAK-Filter sowie Empfehlungen zur Auslegung der Filterspülung. Die nach DWA-A 203 geltenden Bemessungsgrundsätze für konventionelle Raumfilter (z.B. maximale Feststoffraumbelastung zwischen zwei Rückspülungen) können aufgrund unterschiedlicher Eigenschaften der GAK nicht übertragen werden.

Um die Wissenslücke zur Dimensionierung von GAK-Filtern zu schließen, wurden im Rahmen des Projektes „SOLIDUS - Dimensionierung großtechnischer GAK-Filter durch Ermittlung der erzielbaren Feststoffbelastungen und Spülintervalle“ vier unterschiedliche großtechnische GAK-Filter auf vier Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen untersucht. Die Untersuchungen im Forschungsvorhaben SOLIDUS basierten auf den folgenden zusammengefassten Zielen:

- Ermittlung der für den praktischen Betrieb erforderlichen Spülintervalle durch Untersuchung vier großtechnischer GAK-Filter in NRW
- Vergleich der in der Praxis bewährten Spülprogramme von GAK-Filtern
- Ermittlung der erzielbaren Feststoffraumbelastungen von auf- und abwärtdurchströmten GAK-Filtern für relevante Lastfälle (Trocken- und Regenwetter) und Darstellung in einer normierten, auf andere Anlagen übertragbaren Form
- Abfrage, Zusammenstellung und Diskussion der betrieblichen Besonderheiten von GAK-Filtern mit den Betreibern großtechnischer GAK-Filter

Der nachstehende Kurzbericht stellt die Projektergebnisse in gekürzter Form dar. Die detaillierten Ergebnisse können der Langfassung des Abschlussberichtes zum Projekt „SOLIDUS“ entnommen werden.

2 Versuchsergebnisse

2.1 Untersuchungsgegenstand

Im Rahmen des Forschungsprojektes SOLIDUS wurden insgesamt vier großtechnisch betriebene GAK-Filter auf vier Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen untersucht (Bad Oeynhausen, Gütersloh-Putzhagen, Obere Lutter und Köln-Rodenkirchen). Zu den durchgeführten Untersuchungen gehörten die Messung der Druckverläufe und die Bestimmung der Korngrößenverteilung in unterschiedlichen Filterbettiefen. Zudem wurden relevante Betriebsparameter wie Durchfluss, Klappenöffnung und Trübung erfasst sowie die Feststoffgehalte in den Zu- und Abläufen der Filter bestimmt. Nachstehende Abbildung 1 gibt einen Überblick über die jeweiligen Untersuchungszeiträume sowie relevante Betriebsparameter der GAK-Filter. Zusätzlich zu den im Rahmen von SOLIDUS untersuchten GAK-Filtern wurden außerdem die Ergebnisse der Untersuchungen des GAK-Filters auf der KA Düren Merken berücksichtigt (Projekt „MIKROflock“, Bornemann et al. 2012). Zudem wurde der BIOFOR-Filter auf der KA Köln Rodenkirchen mit untersucht.

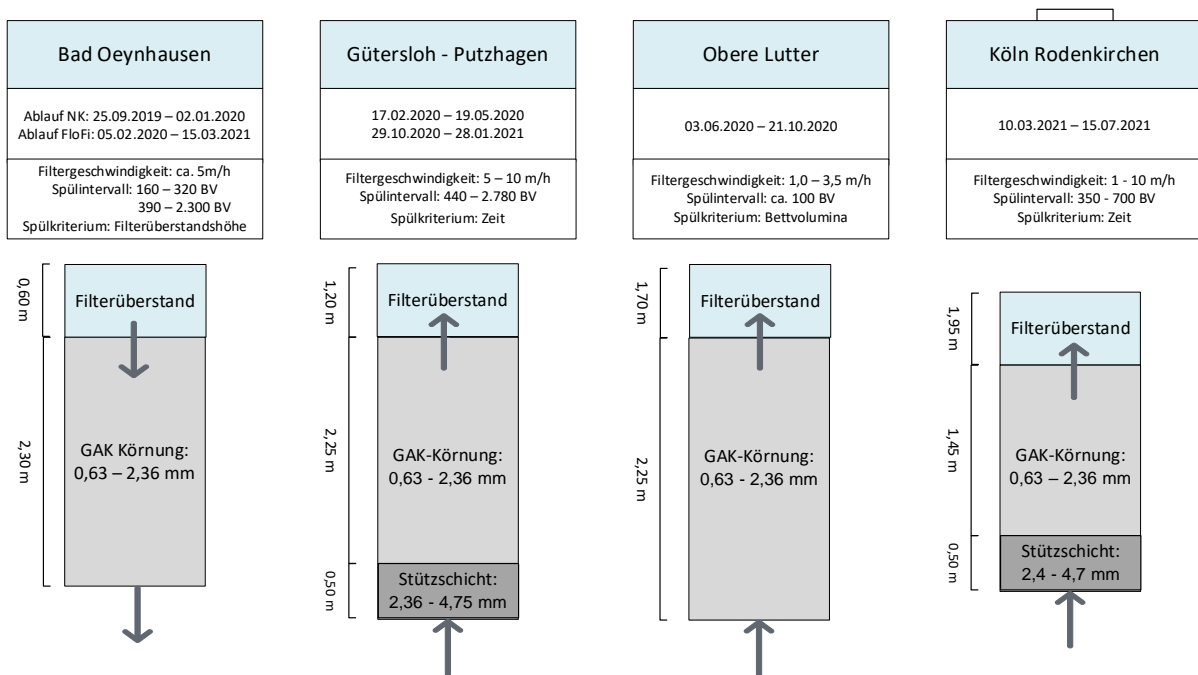


Abbildung 1: Übersicht der untersuchten GAK-Filter

Nachstehend werden die Ergebnisse des abwärts durchströmten GAK-Filters auf der KA Bad Oeynhausen und des aufwärts durchströmten GAK-Filters auf der KA Gütersloh Putzhagen zusammengefasst dargestellt. Die Ergebnisse aus Gütersloh Putzhagen stehen dabei stellvertretend für die Ergebnisse der beiden anderen aufwärts durchströmten Filter, da im Zuge der Untersuchungen ähnliche Beobachtungen gemacht werden konnte.

2.2 Kornverteilung im Filterbett

GAK-Körner klassieren sich im Zuge der Rückspülung nach Größe und Dichte. Unter der Annahme der homogenen Dichte der Aktivkohle im Filterbett klassieren sich die Partikel nach ihrem Durchmesser, weshalb sich im unteren Teil des Filterbettes gröbere und im oberen Teil feinere Partikel wiederfinden. Diese Annahme bestätigen sowohl die Siebanalysen des abwärts durchströmten Einschichtfilters auf der KA Bad Oeynhausen (Abbildung 2) als auch des Zweischichtfilters (Stützschticht aus gröberer Aktivkohle) auf der KA Gütersloh Putzhagen (Abbildung 3). Beim abwärts durchströmten Filter nimmt die Fraktion mit feinkörnigem Material ($< 1 \text{ mm}$) in 5 – 10 cm Tiefe einen Massenanteil von etwa 30 % ein, wohingegen der Massenanteil in der Tiefe von 207 – 212 cm bei etwa 17 % liegt. Gleichzeitig liegt der Anteil der gröberen GAK-Körner (2,0 – 2,5 mm) in der untersten Probenahmetiefe bei ca. 20 % und in der obersten bei nur ca. 5 %. Die beschriebene Klassierung von fein nach grob in Strömungsrichtung bei abwärts durchströmten GAK-Filtern – wie hier vorliegend – hat zur Folge, dass Feststoffe vorwiegend an der Filteroberfläche zurückgehalten werden und nicht weiter ins Filterbett eindringen können. Dieser Effekt kann durch die sogenannte Filterkuchenbildung im Laufe des anhaltenden Filtrationsprozesses verstärkt werden.

Der aufwärts durchströmte Filter auf der KA Gütersloh Putzhagen zeigt ebenfalls eine Klassierung von fein nach grob mit abnehmender Filtertiefe. Hier ist der Effekt jedoch durch den Einsatz einer Stützschticht noch ausgeprägter als im Filterbett des abwärts durchströmten, Einschicht-GAK-Filters. Dieser Effekt trägt maßgeblich zur guten raumfiltrierenden Wirkung von aufwärts durchströmten Abwasserfiltern bei (Barjenbruch et al., 1997). Somit kommen die eingetragenen Feststoffe mittels dieser Verteilung zunächst mit der gröberen GAK in Kontakt. Der damit einhergehende größere Zwischenraum wird – im Vergleich zu kleineren Zwischenräumen bei feinkörnigerer GAK – nicht oder weniger schnell durch Feststoffe verblockt, sodass die Feststoffe weiter ins Filterbett eindringen können. Somit bildet sich kein Filterkuchen aus (Jekel und Ruhl, 2016). Eine Abrasion der GAK-Körner über die Zeit konnte bedingt durch das Probenahmeverfahren nicht ermittelt werden.

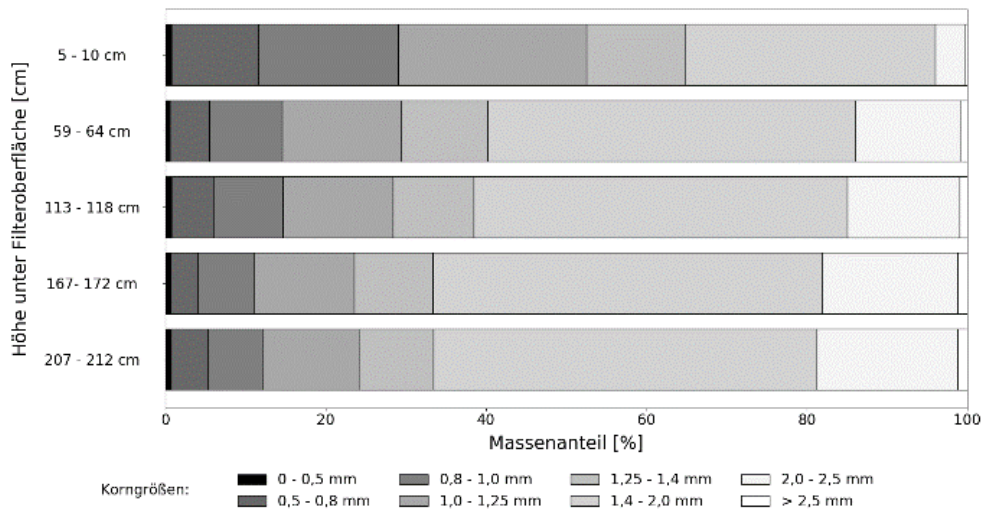


Abbildung 2: Korngrößenverteilung in unterschiedlichen Filterbettiefen – KA BO

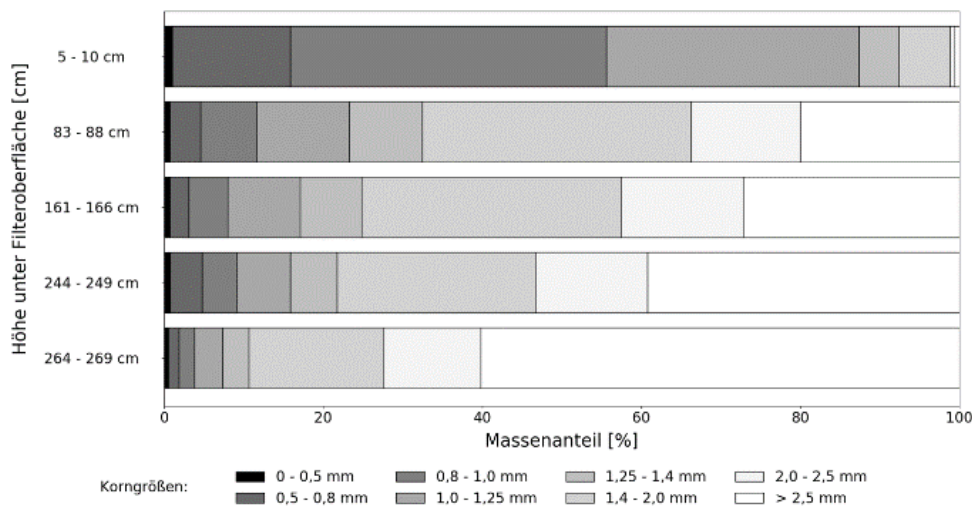


Abbildung 3: Korngrößenverteilung in unterschiedlichen Filterbettiefen – KA GT

2.3 Druckverlauf im Filterbett

Nachstehende Abbildungen zeigen die Druckverläufe in unterschiedlichen Höhen in den Filtern auf der KA Bad Oeynhausen (Abbildung 4) und auf der KA Gütersloh Putzhagen (Abbildung 5). Die Abbildungen sind wie folgt zu lesen:

- Sonde 1: Drucksonde, die sich am tiefsten im Filterbett befindet
- Sonde 5: Drucksonde, die sich am höchsten im Filterbett befindet
- Durchfluss: Üblicherweise werden beide Filter kontinuierlich beschickt. In den Nachtstunden wird der Filter zur Sicherstellung einer ausreichenden Spülwasserbevorratung teilweise nicht beschickt.
- Klappenstellung (nur Abbildung 4): Die Öffnung der Ablaufklappe wird automatisch nach Q_{soll} geregelt (dargestellt als Öffnungsgrad in %)

- Überstauhöhe (nur Abbildung 4): liegt im Normalbetrieb bei 0,4 m und wird in mbar dargestellt ($0,4 \text{ m} \cong 40 \text{ mbar}$)
- Trübung (nur Abbildung 5) Abbildung 5: Trübungsmessung im Ablauf des aufwärts durchströmten Filters (Filterüberstand)

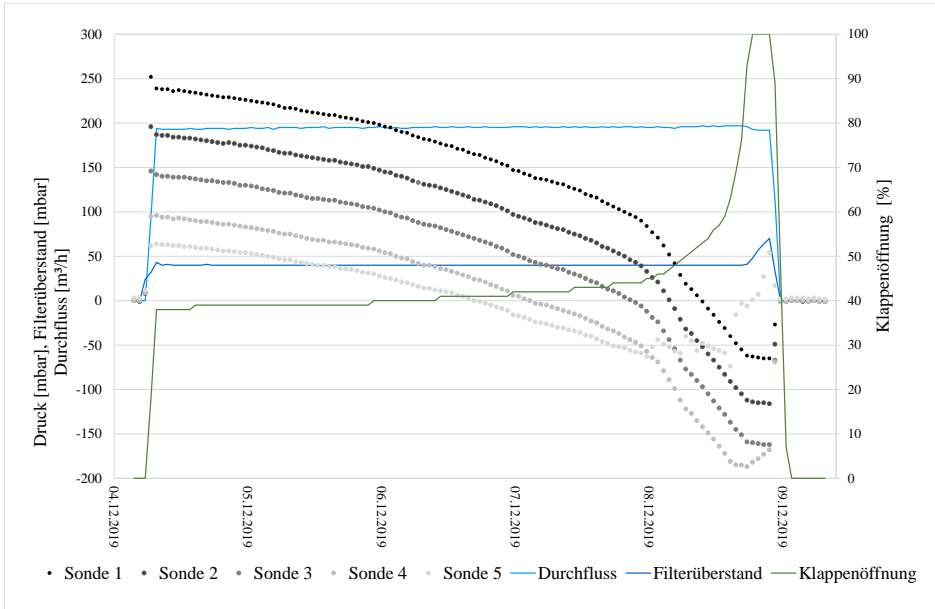


Abbildung 4: Druckverlauf im Filterbett für den Filtrationszyklus vom 04.12-09.12.2019 – KA Bad Oeynhausen – Beschickung mit Ablauf Nachklärung

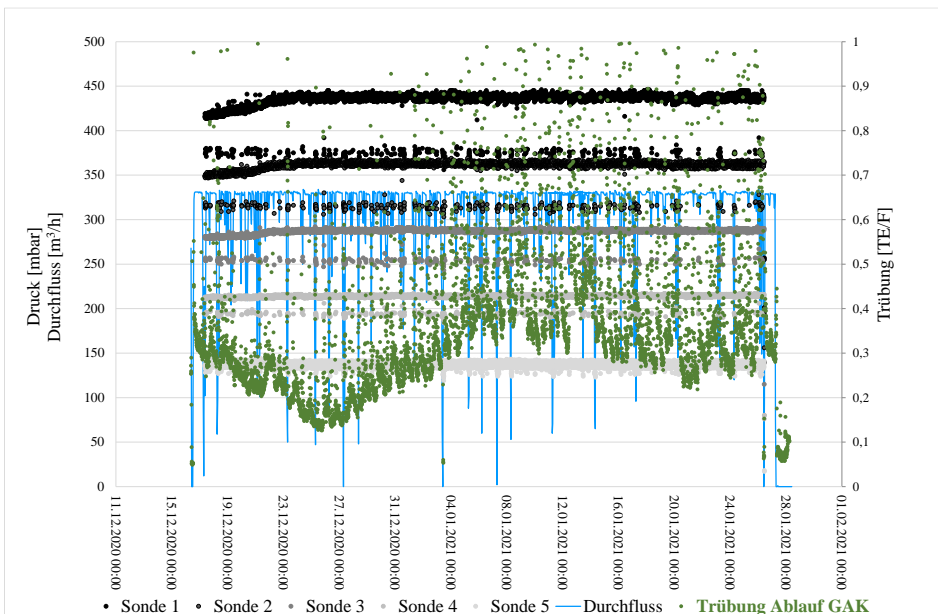


Abbildung 5: Druckverlauf im Filterbett für den Filtrationszyklus vom 16.12.2020 – 28.01.2021 – KA Gütersloh Putzhagen – Beschickung mit Ablauf Flockungsfiltration

Die Ergebnisse der Druckmessungen lassen folgende Interpretation zu:

Abwärts durchströmter GAK-Filter - KA Bad Oeynhausen

- Aufgrund des eingestellten Kriteriums zum Auslösen der Spülung (Anstieg des Filterüberstandes bei gleichzeitig 100 %-iger Öffnung der Auslaufklappe) wurde die maximale hydraulische Leistungsfähigkeit des Filters ausgenutzt (vollständiges Verblocken des Filters).
- Aufgrund des Höhenunterschiedes zwischen Filterüberstand und Auslauf Filter kommt es bei dem schwerkraftgetriebenen, abwärts durchströmten Filter der KA Bad Oeynhausen in mit zunehmender Filtrationszeit zu einem Unterdruck von bis zu -180 mbar.
- Aufgrund des entstehenden Unterdrucks im Filtrationsbetrieb wird im Abwasser gelöstes Gas ausgestrippt (mit abnehmendem Druck nimmt die Löslichkeit von Gasen in Wasser ab). Es ist zu vermuten, dass die Gasblasen Poren und damit Fließwege im Filterbett blockieren. Dies trägt ebenfalls zu einer hydraulischen Verblockung des Filters bei.
- Es ist zu vermuten, dass es aufgrund des aus den Ausgasungen reduzierten Fließquerschnittes zu lokal höheren Filtergeschwindigkeiten in präferierten Fließwegen im Filterbett kommen kann. Höhere Filtergeschwindigkeiten führen zu einer schlechteren Adsorptionsleistung gegenüber Spurenstoffen. Da die Spurenstoffanalytik jedoch nicht Gegenstand der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens SOLIDUS war, kann hierzu keine quantitative Aussage getroffen werden.
- Eingetragene Feststoffe lagern sich vorwiegend an der Oberfläche bzw. in der obersten Schicht der GAK-Filtration ab (hier maximal 0,6 m Filtrationstiefe). Ein ausgeprägtes Algenwachstum auf der Filteroberfläche kann den Prozess der Filterverblockung verstärken.
- Die Länge eines Filtrationsintervalls ist abhängig von den eingetragenen Feststoffen und nimmt mit Abnahme der AFS im Zulauf zur GAK-Filtration zu (Beschickung mit Ablauf NK: $c_{AFS,Zu,mittel} = 6 \text{ mg/l}$, $\text{Länge}_{\text{Filtrationsintervall}} = 3 - 5 \text{ d}$; Beschickung mit Ablauf FloFi: $c_{AFS,Zu,mittel} < 2 \text{ mg/l}$, $\text{Länge}_{\text{Filtrationsintervall}} = 7 - 60 \text{ d}$).
- Bei Beschickung mit nicht vorfiltriertem Abwasser (Ablauf der NK) ist zu vermuten, dass Feststoffe den maßgeblichen Einfluss auf die Verblockung des Filterbettes haben.
- Bei Beschickung mit vorfiltriertem Abwasser (Ablauf der Flockungsfiltration) ist zu vermuten, dass andere Einflüsse wie Aufwuchs von Biomasse auf und in dem Filter (z.B. Algen) den maßgeblichen Einfluss auf die Verblockung des Filterbettes haben.

Aufwärts durchströmt GAK-Filter - KA Gütersloh Putzhagen

- Der Feststoffrückhalt erfolgt über das gesamte Filterbett.
- Eine hydraulische Verblockung konnte bei allen drei untersuchten GAK-Filtern bis zum Auslösen der Spülung nach vorgegebener Zeit (KA Gütersloh Putzhagen, KA Köln-Rodenkirchen) bzw. nach vorgegebener durchgesetzter Wassermenge (KA Obere Lutter) nicht festgestellt werden (kein Anstieg des gemessenen Druckes). Somit konnte die maximale Länge für die Filtrationsintervalle im Rahmen der Untersuchungen in SOLIDUS nicht ermittelt werden.
- Damit konnte auch kein Zusammenhang zwischen eingetragenen Feststoffen im Zulauf zu den GAK-Filtern und einer hydraulischen Verblockung bzw. der maximalen Länge der Filtrationsintervalle ermittelt werden.
- Im Filtrationsbetrieb konnte eine (Teil-) Fluidisierung des Filterbettes der GAK-Filter und ein daraus einhergehender Feststoffaustrag optisch beobachten (Aufwirbelung von Schlamm) und gemessen werden (erhöhter TS im Ablauf der Filter).
- Aufgrund der Teilausträge von Feststoffen findet keine hydraulische Verblockung der GAK-Filter statt. In Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten (z.B. Vorbehandlung des Abwassers, Vordruck) können aufwärts durchströmte GAK-Filter aus hydraulischer Sicht deutlich längere Filtrationsintervalle aufweisen, als derzeit Stand der Technik ist (zum Teil 42 d ohne Rückspülung).
- Aufgrund der ungleichmäßigen und unregelmäßigen Feststoffausträge ist weiterhin zu vermuten, dass sich im Filterbett von aufwärts durchströmten GAK-Filtern ebenfalls präferierte Fließwege bilden, die zu einer schlechteren Adsorptionsleistung gegenüber Spurenstoffen führen (s.o. Abwärts durchströmte GAK-Filter). Da die Spurenstoffanalytik jedoch nicht Gegenstand der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens SOLIDUS war, kann hierzu keine quantitative Aussage getroffen werden.

3 Empfehlungen zur Planung und zum Betrieb von GAK-Filtern

Zur Bemessung von Raumfiltern mit konventionellem Filtermaterial wird das DWA-A 203 herangezogen. Das Arbeitsblatt befasst sich mit der weitergehenden Abwasserreinigung zur Elimination partikulärer Inhaltsstoffe und beschreibt den Stand der Technik der Abwasserraumfiltration. Die Basis zur Bemessung ist daher neben der Filtergeschwindigkeit die Feststoffraumbelastung. Da GAK-Filter jedoch in erster Linie auf die Adsorption von Spurenstoffen und nicht auf den Rückhalt von Feststoffen ausgelegt werden, kann das DWA-A 203 nicht uneingeschränkt für deren Bemessung verwendet werden. Zudem weist granuliertes Aktivkohle unterschiedliche Spezifikationen gegenüber konventionellem Filtermaterial auf, aus denen hydraulische Unterschiede im Betrieb hinsichtlich der Beschickung und der Spülung resultieren (z.B. unregelmäßigeres, inhomogeneres Korn, geringere Dichte). Um jedoch einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb von GAK-Filtern zu gewährleisten, ist eine Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit in Anlehnung an das DWA-A 203 erforderlich.

3.1 Vergleich der Forschungsergebnisse mit dem DWA-A 203 (2019)

Die Basis für die Bemessung von konventionellen Raumfiltern für den weitergehenden Rückhalt partikulärer Stoffe beruht auf der Filtergeschwindigkeit und der Feststoffraumbelastung. Die Feststoffraumbelastung ist der Quotient aus eingetragene Feststofffracht, bezogen auf 24 h (Feststoffkonzentration * durchgesetzte Wassermenge) und dem Filtervolumen. Wichtig ist zu beachten, dass sich die Feststoffraumbelastung dabei auf eine maximale Länge eines Filtrationsintervalls (Filtrationsbetrieb zwischen zwei Spülungen) von 24 h bezieht. Die Bemessungskonzentration der Feststoffe liegt hierbei bei 20 mg_{AFS}/l. Hierbei wird auch eine Nachfällung zur Entfernung von Phosphor im Überstand der Raumfilter berücksichtigt. (DWA-A 203, 2020)

Vergleich der Filtrationsintervalllängen der GAK-Filter

Nachstehende Abbildung 6 zeigt die ermittelten Filtrationsintervalllängen der untersuchten GAK-Filter sowie des Referenzfilters auf der KA Köln Rodenkirchen und des GAK-Filters auf der KA Düren Merken. Die Filtrationsintervalllängen der untersuchten GAK-Filter variieren je nach Kriterium zum Auslösen der Spülung. Bei den aufwärts durchströmten Filtern wird die Filterspülung durch Zeit bzw. durchgesetzte Wassermenge ausgelöst. Für den GAK- und den Referenzfilter auf der KA Rodenkirchen ergeben sich so Filtrationsintervalle von 3 – 5 Tage. Auf der KA Obere Lutter variieren die Filtrationsintervalllängen zwischen 6 und 24 d. Die Spülung des GAK-Filters auf der KA Gütersloh Putzhagen wurde zu Beginn des Forschungsvorhabens SOLIDUS alle 10 Tage ausgelöst. Im Laufe des Projektes wurde die

Länge des Filtrationsintervalls auf 42 d erhöht. Bei allen untersuchten aufwärts durchströmten GAK-Filtern gab es beim Auslösen der Spülung keine Anzeichen einer hydraulischen Verblockung. Eine Verblockung des Filterbettes des Referenzfilters konnte im Rahmen der Untersuchungen festgestellt werden. Unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit kann hier vereinfacht angenommen werden, dass die maximale Filtrationsintervalllänge erreicht wurde.

Der abwärts durchströmte Filter auf der KA Bad Oeynhausen wurden nach Anstieg der Filterüberstandshöhe, als Resultat der hydraulischen Verblockung des Filterbettes, gespült. Daraus ergaben sich bei Beschickung mit Ablauf NK Filtrationsintervalle von 3 – 5 d. Bei Beschickung mit Ablauf FloFi wurden Filtrationsintervalllängen von 7 – 42 d erreicht. Der im Rahmen des Forschungsprojektes „MIKROFLock“ untersuchte abwärts durchströmte GAK-Filter auf der KA Düren Merken musste aufgrund der hohen Feststoffkonzentrationen im Zulauf im Mittel alle 6h gespült werden und war damit nicht tauglich für den dauerhaften Betrieb. Insgesamt lässt sich feststellen, dass die ermittelten Filtrationsintervalle der untersuchten GAK-Filter (ausgenommen KA Düren Merken) und des Referenzfilterfilters auf der KA Köln Rodenkirchen deutlich über dem Filtrationsintervall von 24 h, welches im DWA-A 203 zur Bemessung von konventionellen Raumfiltern angesetzt wird, liegt.

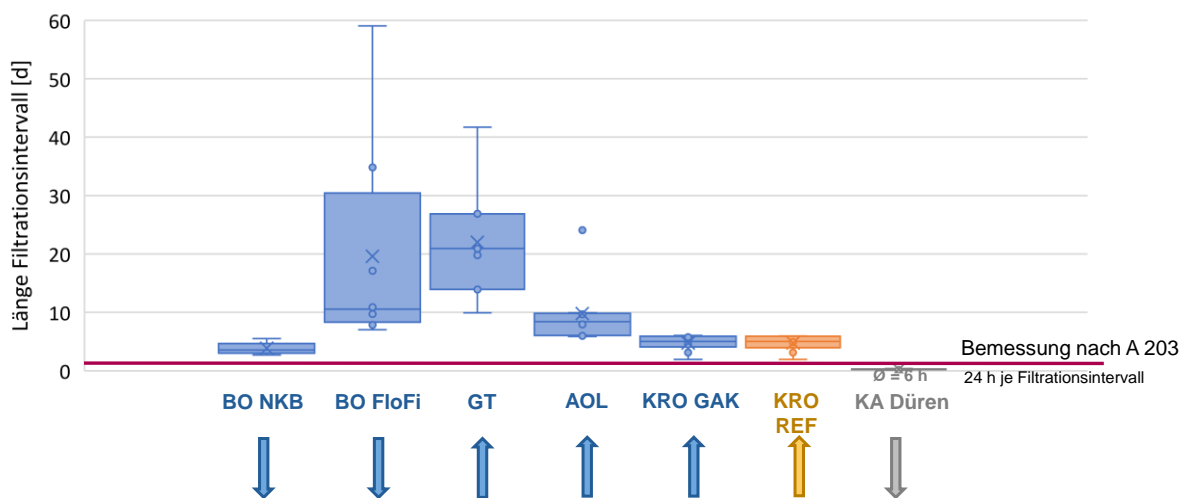


Abbildung 6: Länge der Filtrationsintervall der untersuchten GAK-Filter

Vergleich der Feststoffraumbelastungen der GAK-Filter

Nachstehende Abbildung 7 zeigt die ermittelten Feststoffraumbelastung der untersuchten GAK-Filter sowie des Referenzfilters auf der KA Köln Rodenkirchen und des GAK-Filters auf der KA Düren Merken. Für die aufwärts durchströmten GAK-Filter konnte eine Raumbelastung zwischen $-1,0$ und $3,7 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall ermittelt werden. Eine negative Raumbelastung kann aus der (Teil-) Fluidisierung des Filterbettes im Filtrationsbetrieb resultieren. Bei den Untersuchungen des GAK-Filters auf der KA Gütersloh konnte eine zunehmende Feststoffraumbelastung bei zunehmender Länge des Filtrationsintervalls festgestellt werden. Für den GAK-Filter auf der KA Bad Oeynhausen konnte sowohl bei Beschickung mit Ablauf NK als auch bei Beschickung mit Ablauf FloFi eine Raumbelastung von im Mittel $1,0 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall berechnet werden.

Die ermittelte Feststoffraumbelastung der GAK-Filter liegt damit deutlich unter der vom DWA-A 203 empfohlenen Feststoffraumbelastung für konventionelle Raumfilter von $2 - 3 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{Filtermaterial}}$ je 24h-Filtrationsintervall. Zu vermuten wäre, dass diese aus der unterschiedlichen Beschaffenheit der Aktivkohle (unregelmäßiges, inhomogeneres Korn) und damit einer schlechteren raumfiltrierenden Wirkung resultiert. Beim Vergleich der Feststoffraumbelastungen des GAK-Filters und des Referenzfilters auf der KA Rodenkirchen zeigt jedoch, dass der GAK-Filter im Mittel sogar eine höhere Feststoffraumbelastung und damit eine bessere Feststoffabscheidung zeigt. Auffällig ist außerdem, dass die Feststoffraumbelastung des Referenzfilters auf der KA Rodenkirchen mit $0,5 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall ebenfalls deutlich unter den Empfehlungen des DWA-A 203 liegt. Unter Berücksichtigung der Betriebssicherheit können die Längen der Filtrationsintervalle des Referenzfilters jedoch nicht weiter erhöht werden, sodass die ermittelte Raumbelastung mit $0,5 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall das Maximum darstellt. Eine Begründung der verhältnismäßig geringen Feststoffraumbelastung könnte die Alterung (eventuelle Abrasion und Verdichtung der Filterpackung) und die daraus resultierenden Verschlechterung der Feststoffabscheidung des eingesetzten Filtermaterials im Referenzfilter sein (seit 1994 ohne Austausch in Betrieb). Zu beachten ist ebenfalls, dass sich die empfohlene Feststoffraumbelastung von $2 - 3 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^3_{\text{Filtermaterial}}$ auf ein Filtrationsintervall von 24h bezieht. Die Filtrationsintervalle der untersuchten GAK-Filter lagen mit zum Teil 42 Tagen deutlich über diesem Wert.

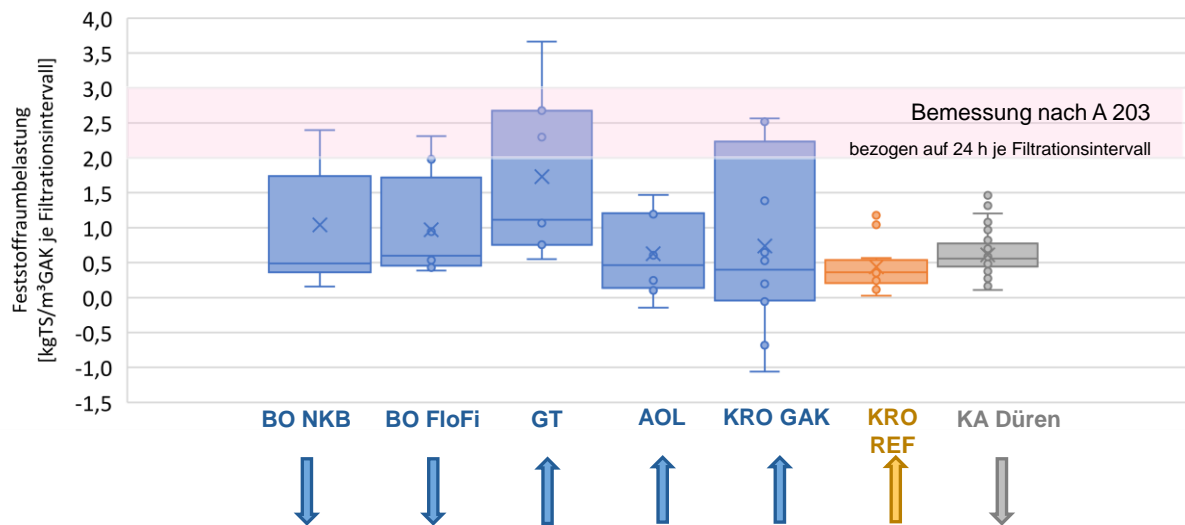


Abbildung 7: Feststoffraumbelastung der untersuchten GAK-Filter

Ein Vergleich der ermittelten Forschungsergebnisse mit dem DWA-A 203 zeigen, dass eine Übertragung der Dimensionierungsempfehlungen aus dem Arbeitsblatt auf die Bemessung von GAK-Filtern nicht uneingeschränkt möglich ist.

3.2 Empfehlung zur Dimensionierung von GAK-Filtern

Auch wenn das primäre Ziel einer GAK-Filtration auf der Spurenstoffelimination liegt und die GAK-Filter daher auch auf diese Zielgröße ausgelegt werden, erfolgt eine parallel ablaufende Feststoffabscheidung. Eingebrachte Feststoffe führen zur Verblockung des Filterbettes, aus der sich die Notwendigkeit einer regelmäßigen Filterspülung ergibt. Die Untersuchungen des GAK-Filtern auf der KA Düren Marken zeigten, dass zu hohe Feststoffkonzentrationen im Zulauf dazu führen, dass granulierten Aktivkohlefilter nicht sicher und wirtschaftlich betrieben werden können (Spülung alle 6h). Damit haben partikuläre Stoffe im Zulauf zur GAK-Filtration nicht nur einen maßgeblichen Einfluss auf den Betrieb, sondern auch bei der Entscheidung, ob eine Kläranlage mit einer GAK-Filtration ausgerüstet werden kann oder ob ein anderes Verfahren zur Spurenstoffelimination, wie beispielsweise Ozonung, bevorzugt wird. Eine potentielle Betriebstauglichkeit von GAK-Filtern unter Berücksichtigung der Feststoffkonzentration im Zulauf sollte daher bereits im Zuge der Planung überprüft werden. Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens SOLIDUS konnte ein erster Bemessungsansatz zur hydraulischen Überprüfung hergeleitet werden, der nachstehend im Detail erläutert wird.

Die Untersuchungsergebnisse der GAK-Filter zeigten erwartungsgemäß deutliche Abweichungen zu den Empfehlungen des DWA-A 203. Aufgrund der Feststellung, dass beim abwärts durchströmten GAK-Filter auf der KA Bad Oeynhausen die Feststoffabscheidung eher an der Filteroberfläche bzw. in der oberen Schicht stattfindet, kann die Feststoffraumbelastung unter Bezug des gesamten Filtervolumens nicht als Dimensionierungsgröße herangezogen werden. Die untersuchten aufwärts durchströmten GAK-Filter zeigten wiederum eine raumfiltrierende Wirkung. Um diese zwei unterschiedlichen Filtrationsmechanismen auf eine Bemessungsgröße zu beziehen, wird die Feststoffflächenbelastung herangezogen. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens ermittelte Feststoffflächenbelastung der GAK-Filter ist der nachstehenden Abbildung 8 zu entnehmen. Aufgrund der Tatsache, dass der GAK-Filter auf der KA Düren Merken mit einem mittleren Filtrationsintervall von 6h nicht betriebstauglich war, wird dieser bei der Herleitung eines ersten Bemessungsansatzes nicht weiter berücksichtigt. Insgesamt lag die ermittelte Feststoffflächenbelastung bei den untersuchten GAK-Filtern im Mittel zwischen 1,1 und 3,8 $\text{kg}_{\text{TS}}/\text{m}^2_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die maximale Filtrationsintervalllänge nur bei den abwärts durchströmten GAK-Filtern erreicht wurde. Außerdem ist zu beachten, dass die Filtrationsintervalllängen insgesamt sehr hohen Variationen (3 – 42 d) unterlagen, sodass sich die ermittelte Feststoffflächenbelastung nicht auf ein einheitliches Filtrationsintervall bezieht.

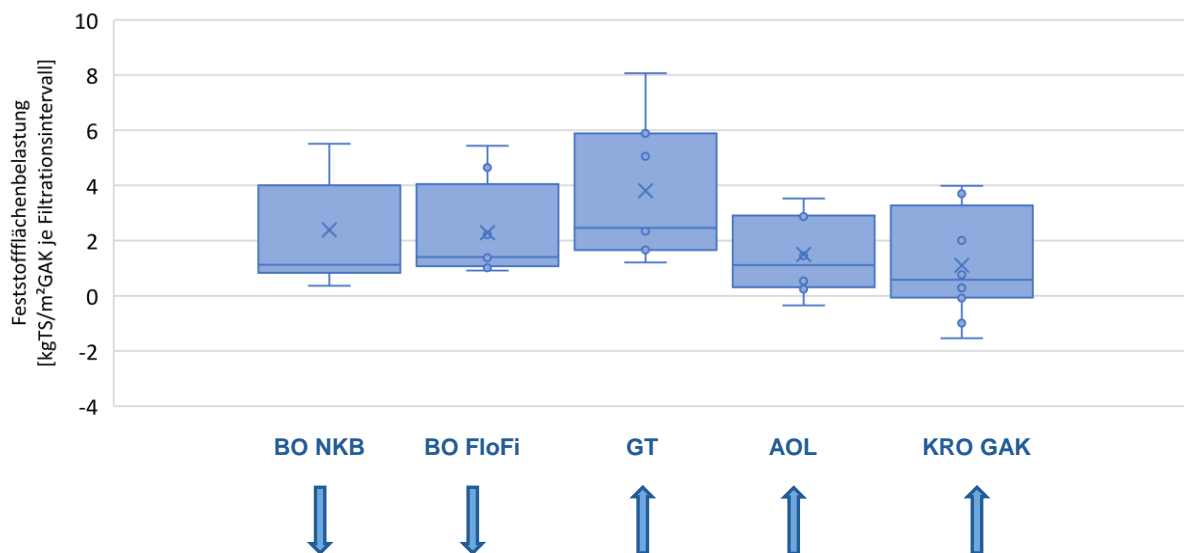


Abbildung 8: Feststoffflächenbelastung der untersuchten GAK-Filter

Für eine wirtschaftliche Dimensionierung ist jedoch eine einheitliche Bezugsgröße hinsichtlich der Filtrationsintervalllänge notwendig. In Anlehnung an das DWA-A 203 wurde daher definiert, dass GAK-Filter im Regelbetrieb mindestens 24 h ohne Spülung betreibbar sein

müssen (Ausnahmen bei z.B. Regenwetterzufluss). Weiterhin wurde zur Definition einer maximalen Feststoffflächenbelastung nur die ermittelte mittlere Flächenbelastung des GAK-Filters auf der KA Bad Oeynhausen berücksichtigt, da dieser als einziger Filter eine hydraulische Verblockung beim Auslösen der Spülung aufwies und damit eine maximale Länge eines Filtrationsintervalls erreicht war. Nachstehende Abbildung 9 zeigt unterstützend die Herleitung der maximalen Feststoffflächenbelastung. Die Feststoffflächenbelastung zur Überprüfung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von GAK-Filtern beträgt damit

$$B_A \leq 2,3 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^2_{\text{GAK}} \text{ je Filtrationsintervall}$$

wobei die Länge eines Filtrationsintervalls im Regelbetrieb mindestens 24 h sein muss. Die Anwendung des Bemessungswertes wird nachstehend im Kapitel 3.3 anhand eines fiktiven Bemessungsbeispiels erörtert.

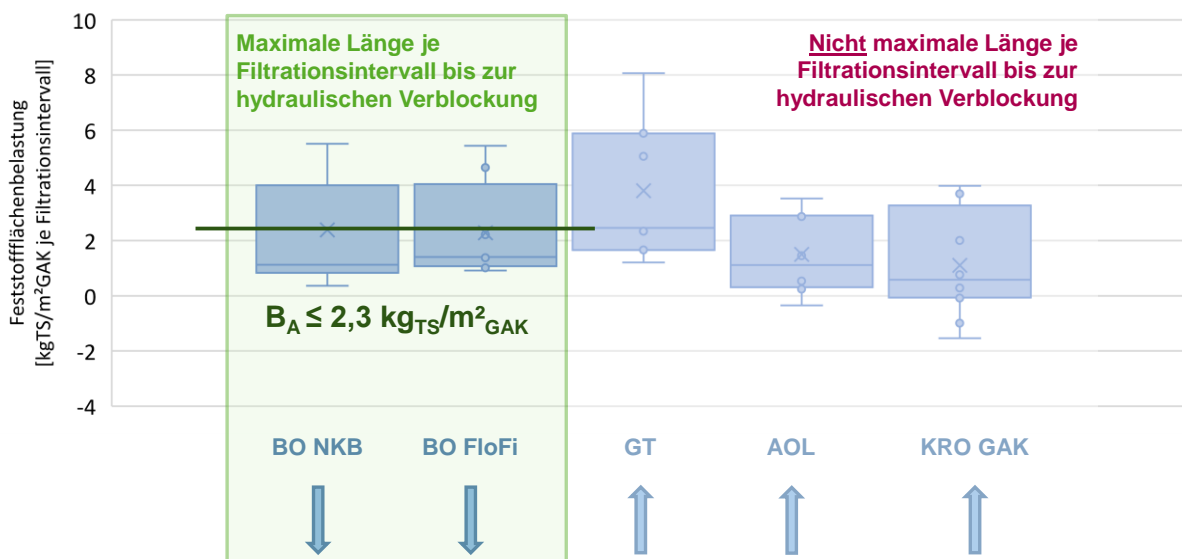


Abbildung 9: Herleitung der Feststoffflächenbelastung

3.3 Bemessungsbeispiel

Nachstehend wird die Anwendung der zuvor ermittelten Feststoffflächenbelastung anhand eines fiktiven Bemessungsbeispiels für einen abwärts durchströmten GAK-Filter mit konstanter Überstauhöhe verdeutlicht. Dabei werden drei Fälle mit unterschiedlichen mittleren Feststoffkonzentrationen im Zulauf betrachtet. Zu beachten ist, dass sich die Berechnung auf eine Filterzelle bezieht. Die Auslegung der GAK-Filtration erfolgt in erster Linie immer auf die

Adsorption von Spurenstoffen. Die aktuellen Empfehlungen zur Dimensionierung u.a. aus dem DWA-A 285 sind dabei zu beachten (z.B. $EBCT_{\min} = 20 \text{ min}$, $v_f < 9 \text{ m/h}$). Die Feststoffflächenbelastung dient lediglich der hydraulischen Überprüfung von GAK-Filtern. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, sollte ein GAK-Filter aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gründen im Regelbetrieb mindestens 24 h ohne Spülung betreibbar sein, weshalb sich die nachstehende Rechnung zur hydraulischen Überprüfung auf ein Zeitintervall von 24 h bezieht.

Hydraulische Randbedingungen im Bemessungsbeispiel

Bemessungswassermenge $Q_{\text{Dim}} = 60 \text{ l/s} \triangleq Q_{\text{Dim},24\text{h}} = 5.200 \text{ m}^3/24\text{h}$

Fläche GAK-Filter $A_{\text{GAK}} = 25 \text{ m}^2$

Maximale Feststoffflächenbelastung $B_{A,\max} \leq 2,3 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{m}^2_{\text{GAK}}$ je Filtrationsintervall

Tabelle 1: Bemessungsbeispiel mit unterschiedlichen AFS-Konzentrationen zum Zulauf der GAK-Filtration

$C_{\text{AFS,Zu}}$	2 mg/l	10 mg/l	15 mg/l
Feststofffracht in 24 h	$0,002 \text{ kg/m}^3 * 5.200 \text{ m}^3 =$ 10,4 kg / 24h	$0,01 \text{ kg/m}^3 * 5.200 \text{ m}^3 =$ 52 kg / 24h	$0,015 \text{ kg/m}^3 * 5.200 \text{ m}^3 =$ 78 kg / 24h
Feststoffflächen- belastung B_A	$10,4 \text{ kg} / 25 \text{ m}^2 =$ $0,42 \text{ kg}_{\text{AFS}} / \text{m}^2_{\text{GAK}}$ je 24h	$52 \text{ kg} / 25 \text{ m}^2 =$ $2,08 \text{ kg}_{\text{AFS}} / \text{m}^2_{\text{GAK}}$ je 24h	$78 \text{ kg} / 25 \text{ m}^2 =$ $3,12 \text{ kg}_{\text{AFS}} / \text{m}^2_{\text{GAK}}$ je 24h
$B_A \leq B_{A,\max}$	0,42 \leq 2,3	2,08 \leq 2,3	3,12 \geq 2,3

Tabelle 1 zeigt, dass die dargestellte GAK-Filterzelle, die im Regelfall eine mittlere Feststoffkonzentration von 2 bzw. 10 mg/l im Zulauf erfährt, theoretisch 24 h ohne Filterspülung betrieben werden kann. Liegt die mittlere Feststoffkonzentration hingegen bei 15 mg/l im Zulauf zum GAK-Filter, ist es wahrscheinlich, dass der Filter häufiger als einmal in 24 h gespült werden muss. Damit wäre aus wirtschaftlicher und betrieblicher Sicht eine GAK-Filtration für diesen Bemessungsfall ohne weitere Vorbehandlung des Abwassers nicht zu empfehlen.

Abschließend ist zu betonen, dass die Betrachtung der Feststoffflächenbelastung lediglich für die Dimensionierung erforderlich ist. Ein anlagenspezifisches Kriterium zur Auslösung einer bedarfsgerechten Spülung (z.B. Druck, Trübung, Filterüberstand) sollte im Rahmen der Inbetriebnahme erfolgen. Die Reduzierung von Spülungen hat neben den betrieblichen Vorteilen (Personalentlastung) außerdem wirtschaftliche Vorteile.

3.4 Empfehlungen zum Betrieb von GAK-Filtern

Folgende betriebliche Empfehlungen für GAK-Filter lassen sich aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens SOLIDUS zusammenfassend ableiten:

- Zwar erfolgt die hydraulische Bemessung von GAK-Filtern auf einem Filtrationsintervall von 24 h, die tatsächliche Länge eines Filtrationsintervalls variiert jedoch u.a. je nach Feststoffkonzentrationen im Zulauf, der Ausbildung einer biologisch aktiven Schicht im und auf dem Filter und der Durchströmungsrichtung. Die Praxis hat gezeigt, dass Filtrationsintervalle von mehreren Tagen bis zu mehreren Wochen möglich sind.
- Das Auslösen einer bedarfsgerechten Spülung kann bei abwärts durchströmten Filtern nach Filterüberstand bzw. nach Druck im oberen Filterbettbereich erfolgen. Bei Auslösung nach Filterüberstand ist die maximale, anlagenspezifische Höhe zu beachten, um einen Rückstau bzw. ein Überlaufen der Filtrationsanlage zu vermeiden.
- Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist es von Vorteil, wenn die Ausbildung eines Unterdruckes vermieden wird. Hierzu sollte eine Druckmessung im oberen Bereich des Filterbettes installiert werden (ca. 50cm unterhalb geplanter GAK-Oberfläche).
- Aufwärts durchströmte Filter weisen selbst bei hohen Filtrationsintervalllängen von mehreren Wochen bei geringen Feststoffkonzentrationen im Zulauf ($< 5\text{mg}_{\text{AFS}}/\text{l}$) keine hydraulische Verblockung auf, sofern es während der Spülung zu einem vollständigen Aufbrechen des Filterbettes kommt. Im Filterbetrieb erfolgt jedoch eine Teilfluidisierung des Filterbettes, aus der ein Feststoffaustrag resultiert. Dieser Feststoffaustrag ist anhand eines punktuellen Anstiegs der Trübung im Ablauf des GAK-Filters feststellbar. Unter Berücksichtigung der Ablaufwerte kann die Spülung von aufwärts durchströmten Filtern anhand einer Trübung im Ablauf erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass es aufgrund des punktuellen Feststoffaustrags zu einem kurzzeitigen Anstieg der Trübung im Ablauf kommen kann. Der gewählte Wert zum Auslösen der Spülung sollte daher einen geglätteten Wert abbilden, der kurzzeitige Ausreißer nicht berücksichtigt (Beachten des Trends).
- Der Einfluss der Teilfluidisierung bei aufwärts durchströmten Filtern auf die Adsorption wurde im Rahmen von SOLIDUS nicht untersucht. Die Ablaufkonzentration der Spurenstoffe ist bei der Anpassung der Filtrationsintervalllänge in jedem Fall zu beachten.
- Es ist zu empfehlen, den Filter in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 2 – 3 Monate) abzulassen und die Filteroberfläche zu sichten (vor und nach der Spülung). Starke Unregelmäßigkeiten auf der Filteroberfläche lassen darauf schließen, dass die Spülung

fehlerhaft eingestellt ist und keine optimale Durchmischung des Filterbettes erfolgt. Die Spülung sollte daraufhin optimiert werden (z.B. höhere Luftgeschwindigkeiten sowie mehrere, kürzere, aufeinanderfolgende Spülstöße von 2 bis 3 min mit Luft).

- Bei der Einstellung der Spülgeschwindigkeit (Luft, Wasser) sollte generell die vorhandene Höhe des Filterüberstandes beachtet werden, um einen Austrag von Aktivkohle während der Spülung zu vermeiden. Bei der Planung sollte ein ausreichender Freibord gewählt werden (zwischen 1,2 – 1,8 m)

4 Literaturverzeichnis

- BARJENBRUCH, M. 1997: Leistungsfähigkeit und Kosten von Filtern in der kommunalen Abwasserreinigung Universität Hannover Inst. f. Siedlungswasserwirtsch. u. Abfalltechn.
- BENSTÖM, F. (2014): Granulierte Aktivkohle zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Dissertation an der RWTH Aachen.
- BÖHLER, M., JOSS, A., MCARDELL, C., MEIER, A. 2020: Konsenspapier zum Ergebnis des Workshops vom 9.12.2019 an der Eawag Hinweise zur Planung und Auslegung von diskontinuierlich gespülten GAK-Filtern zur Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Online verfügbar unter <https://micropoll.ch/Mediathek/hinweise-zur-planung-und-auslegung-von-diskontinuierlich-gespuelten-gak-filtern-zur-elimination-organischer-spurenstoffe-aus-kommunalem-abwasser-konsenspapier-zum-workshop-vom-9-12-2019-an-der-eawag/>.
- BORNEMANN, C., HACHENBERG, M., KAZNER, C., HERR, J., JAGEMANN, P., LYKO, S., BENSTÖM, F., MONTAG, D., PLATZ, S., WETT, M., KAUB, J. M., KOLISCH, G., OSTHOFF T, ROLFS, T., STEPKES, H. 2012: Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren, Abschlussbericht, Arge "Forschung Spurenstoff NRW" - MIKROFlock, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_MikroFlock.pdf).
- DIN 38409-2:1987-03 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Flockung der abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H 2).
- DIN EN 872:2005-04 Wasserbeschaffenheit - Bestimmung suspendierter Stoffe - Verfahren durch Abtrennung mittels Glasfaserfilter; Deutsche Fassung EN 872:2005.
- DWA-A 203 2019: Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung.
- DWA-M 285-2 2021: Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen - Teil 2: Einsatz von Aktivkohle - Verfahrensgrundsätze und Bemessung.
- JEKEL, M., RUHL A. S., ALTMANN J., SPERLICH A., SCHALLER J., GNIRß R., MIEHE U., STAPF M., REMY C., MUTZ D. 2016: Integration der Spurenstoffentfernung in Technologieansätze der 4. Reinigungsstufe bei Klärwerken. Bewertung, Barrieren und Risikokommunikation (ASKURIS). Universitätsverlag der TU Berlin, 182.