

Matthias Diel; Andreas Sack

Einsatz von kontinuierlich durchströmten Sandfiltern bei der Spurenstoffelimination

Sowohl zur effektiven Abtrennung der beladenen Pulveraktivkohle (PAK) nach Ozonung und Adsorption an PAK als auch zur direkten Entfernung von Spurenstoffen aus dem Abwasser mit granulierter Aktivkohle sind Sandfilter sehr gut geeignet. Welche Erfahrungen gibt es?

Die aktuell relevanten Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen sind die Ozonung mit anschließender biologisch aktivierter Filtration, die Adsorption an Pulveraktivkohle (PAK) und die Adsorption an granulierter Aktivkohle (GAK).

Bei allen drei Verfahren kann das kontinuierlich durchströmte Sandfilter (KDSF) – je nach Einsatzzweck mit Sand- oder GAK-Füllung – sehr gut eingesetzt werden. Ein wesentlicher Vorteil liegt dabei in der gleichzeitigen Spuren- und Feststoffentnahme in einer Filtereinheit. Der effiziente Einsatz von KDSF bei der Spurenstoffelimination in großtechnischen Anlagen wird durch eine zunehmende Anzahl von Anlagen im kommunalen/industriellen Bereich belegt.

Im Sinne der Zielstellung kommen folgende aktuelle Verfahren zur Spurenstoffelimination für einen Einsatz von KDSF (mögliche Füllungen: Quarzsand und GAK) in Frage /9/:

- Adsorptive Verfahren mit Pulveraktivkohle
- Adsorptive Verfahren mit granulierter Aktivkohle
- Oxidative Spurenstoffentfernung mit Ozon in Kombination mit PAK oder GAK.

Kontinuierlich durchströmte Sandfilter zur Spurenstoffelimination

Funktionsprinzip der kontinuierlich durchströmten Sandfilter

Beim KDSF handelt es sich um ein kontinuierlich arbeitendes Filtersystem, d. h. der Filter wird zwecks Rückspülung zum Reinigen des Sandes nicht abgeschaltet. Als Filtermaterial bei der Spurenstoffelimination wird zum einen Filtersand (Quarzsand gemäß EN Norm 12904 mit Korngrößen von 0,7 bis 1,2 mm und 1,0 bis 2,0 mm) eingesetzt und zum anderen Aktivkohle in Form von Pulver oder Granulat.

Während des Filtriervorgangs wird der Sand bzw. die Aktivkohle in einer Sandwäsche vollautomatisch gereinigt. Gleichzeitig werden die suspendierten Verunreinigungen entfernt. Das Wasser strömt durch das Sand-



Bild 1 **Spurenstoffe dezentral entfernt: Das Projekt „PILLS“ am Marienhospital Gelsenkirchen**

Quelle: Nordic Water

bett von unten nach oben, zugleich bewegt sich der Sand von oben nach unten. Mit einer Mammutpumpe wird der verunreinigte Sand zum oberen Teil des Filters gefördert und fällt in den Sandwäscher, wo er im Gegenstrom mit Filtrat gewaschen wird. Die abfiltrierbaren Stoffe fließen mit dem Wasser durch den Waschwasserauslauf ab. Der gereinigte Sand wird zur Oberfläche des Filterbettes zurückgeführt und ist erneut zum Filtrieren verfügbar.

Beim KDSF wird eine effektive Waschwasserreduktion erzielt, indem sich Phasen mit und ohne Waschen des Filtersands abwechseln (intermittierender Betrieb). In den Waschpausen wird kein Spülwasser erzeugt und keine extern zugeführte Luft von der Mammutpumpe verbraucht. Dadurch sinken Waschwasser- und Energieverbrauch.

Der intermittierende Betrieb indiziert die Ausbildung einer sekundären Filterbettschicht im Sandbett, wodurch sowohl der mechanische als auch der biologische Reinigungsgrad des zu behandelnden Mediums wesentlich verbessert werden.

Bei gewünschter Phosphorelimination ist eine Dosierung von Aluminium- oder Eisensalzen als Flockungsmittel möglich. Die Abwasserreinigung lässt sich weiterhin mit einer biologischen Stickstoffelimination

(Nitrifikation/Denitrifikation) im KDSF verbinden.

Ein Drucksensor erfasst, wenn sich der Filterwiderstand aufgrund einer hohen Schwebstoffbelastung erhöht. Ein zusätzliches Waschen erfolgt und der Filter kehrt automatisch in den intermittierenden Betrieb zurück. Das Filter wird über den mittelgelieferten Pneumatikschrank gesteuert. Bei der Behälterversion ist das Filter in Edelstahl V2A (1.4301) / V4A (1.4571) (Bild 3) oder GFK ausführbar. Weiterhin sind Betoneinbauvarianten in den vorgenannten Materialien möglich /1/.

KDSF-Carbon-Filter

KDSF-Carbon-Filter entsprechen Sandfiltern und weisen nur geringfügige Modifikationen bei der Filterkonstruktion auf, um dem leichteren Filtermaterial (GAK) Rechnung zu tragen. Das Filter kann auf dieselbe Weise betrieben werden, jedoch wurden einige Einstellungen angepasst. Es können unterschiedliche granulierten Aktivkohlesorten eingesetzt werden.

Die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen und die Trübung im Zulauf vom KDSF-Carbon-Filtern sind in der Regel niedrig, deshalb kann die Wäsche des Filtermaterials intermittierend erfolgen (Waschwasserreduzierung). Diese Betriebsart führt zu Einspa-

rungen beim Waschwasser- und Energieverbrauch. Bei der Auslegung von Aktivkohlefiltern ist die Kontaktzeit entscheidend. Daher stehen unterschiedliche Filterbetthöhen zur Auswahl. Auch die maximale Oberflächenbelastung muss berücksichtigt werden, da eine Fluidisierung wegen der geringen Dichte von Aktivkohle bereits bei einer niedrigeren Geschwindigkeit als bei Sand auftritt. Die empfohlenen Oberflächenbelastungen bei der Spurenstoffelimination betragen ca. 7 bis 10 m/h /1/.

KDSF zur Spurenstoffelimination in großtechnischen Anlagen

Kontinuierlich durchströmte Sandfilter nach Ozonung Projekt „Strategie MicroPoll“: ARA Wüeri in Regensdorf (CH), EAWAG

Auf der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Regensdorf (26.000 EW) wurde im Zeitraum von Juli 2007 bis Oktober 2008 die Eignung der Ozonung als zusätzliche Reinigungsstufe für die Entfernung von Spurenstoffen getestet. Hier wurde die erste großtechnische Ozonungsanlage auf einer kommunalen ARA der Schweiz errichtet. Die verfahrenstechnischen Stufen der ARA waren zum Untersuchungszeitpunkt: Rechen, Sandfang, Vorklärbecken, Belebtschlammanlage, Phosphatfällung, Sandfilter /2/.

Mit den erfolgreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Ozonung großtechnisch machbar und für die angestrebten Ziele geeignet ist. Da bei der Ozonung unerwünschte Oxidationsnebenprodukte wie Bromat und Nitrosamin entstehen, ist eine nachgeschaltete biologische Stufe – in diesem Fall ein KDSF – erforderlich.

Die Eliminationsraten der Ozonung waren hoch. Das KDSF bewirkt nach der Ozonung einen weiteren, deutlichen Abbau der Spurenstoffkonzentration /2/.

Die während der Ozonung angestiegene Konzentration an AOC – und damit die Sauerstoffzehrung – wird im KDSF wieder um 10 bis 50% reduziert. Bei der Ozonung entstandenes Nitrosamin wurde zu 50% abgebaut, der DOC von 4,6 auf 3,9 mg/l gesenkt und negative ökotoxische Effekte der Ozonung ausgeglichen.

Die Ozonung mit anschließendem biologisch aktiviertem Sandfilter hatte generell einen positiven Einfluss auf die Abwassermatrix /2/.

Projekt „PILLS“: Marienhospital Gelsenkirchen (D), Emschergenossenschaft

Im Rahmen des EU-Projektes „PILLS“ (Pharmaceutical Input and Elimination from Local Sources) hat die Emschergenossen-

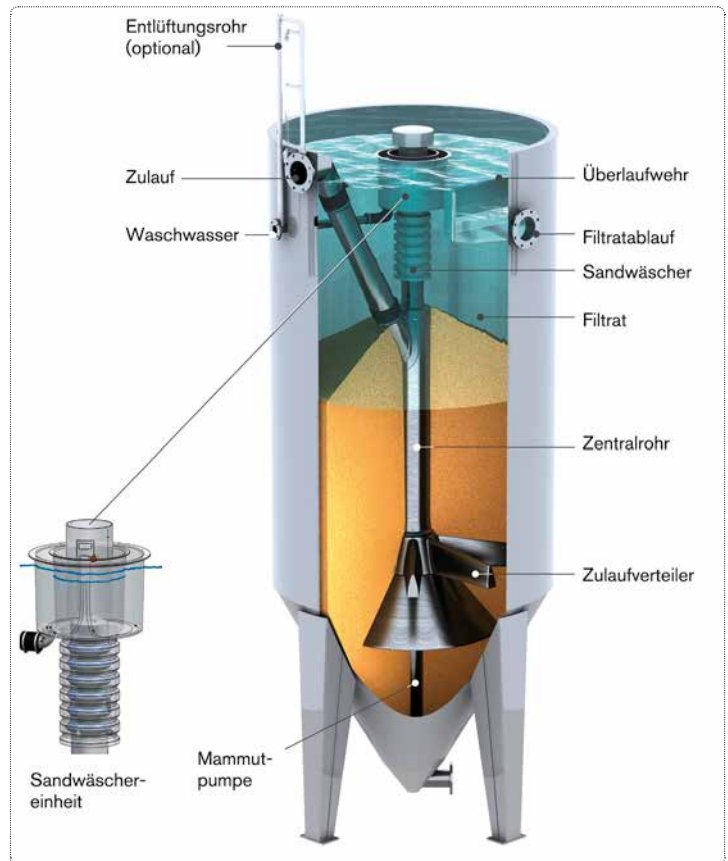


Bild 2 **Kontinuierlich durchströmter Sandfilter**
Quelle: Nordic Water



Bild 3 **Der DynaSand-Filter in der Edelstahlausführung**
Quelle: Nordic Water



Bild 4 **Erste bayerische Pilotanlage (KA Weissenburg): Ozonung mit nachgeschalteter Filtration mittels GAK-Filter**
Quelle: Nordic Water

schaft in den Jahren 2011/2012 die Spezialkläranlage zur Spurenstoffentfernung am Marienhospital in Gelsenkirchen (MHG) gebaut und erprobt (Bild 1). Mit EU-Förderung entstand die – derzeit weltweit einzige – Krankenhaus-Kläranlage zur gezielten Behandlung des gesamten, konzentrierten Krankenhausabwassers mit Ozon und Aktivkohle. Das Krankenhaus hat ein Abwasseraufkommen von 60.000 m³ im Jahr /3/.

Die Pilotanlage am Marienhospital wurde für einen maximalen Zulauf von 25 m³/h bei einem mittleren Zulauf von 200 m³/d konzipiert. Die Kläranlage besteht aus einer Membranbiologie (MBR), einer Ozonung, einer PAK-Dosierung und einem KDSF mit 3 m² Filterfläche und 2 m Filterbetthöhe. Die Ozonung und die PAK-Dosierung können entweder einzeln oder in Reihe betrieben werden. Zehn verschiedene Verfahrensvarianten wurden getestet. Sowohl die Ozonung als auch die Behandlung mit PAK zeigten gute Eliminationsleistungen /3/.

Der gesamte Ablauf wird durch die Aktivkohle im Sandfilter filtriert und das aktivkohlehaltige Waschwasser zurück in die Biologie gegeben. Die Filtration mit dem KDSF funktioniert sehr gut und zuverlässig. Mit der Verfahrenskombination können Spurenstoffeliminationsraten von ca. 80 % erzielt werden. Der Energieverbrauch beim PAK-Einsatz lag inklusive Sandfiltration bei 0,45 kWh/m³. Die Gesamtelimination bei Behandlung des MBR-Ablaufs mit frischer GAK war größer als 95 % für alle untersuchten Einzelstoffe /3/.

KA Weißenburg, Stadt Weißenburg

Im Oktober 2017 wurde die erste bayerische Pilotanlage – die mit einer Ozonung und nachgeschalteter Filtration mittels granulierter Aktivkohle (GAK-Filter) ausgerüstet ist – in den Versuchsbetrieb genommen (Bild 4). Die GAK-Filter werden dabei nicht als konventionelle Adsorptionsfilter, sondern als sogenannte BAK-Filter (biologisch aktivierte GAK-Filter) betrieben. Die granulierten Aktivkohle wird dabei nach Erreichen der Adsorptionskapazität nicht ausgetauscht. Auf der Aktivkohle soll sich ein adaptierter Biofilm zum biologischen Abbau von Transformationsprodukten der Ozonung ausbilden. Es wird erwartet, dass sich im Vergleich zur konventionellen Sandfiltration eine bessere Abbauleistung ergibt /4/.

Die Nachbehandlung zur Reduzierung der entstehenden Transformationsprodukte wird dabei zweistraßig mit je einer BAK-Filter-Straße, sowie einer Sandfilter-Straße mit insgesamt 8 KDSF ausgeführt. Im Versuchsbetrieb ist auch das Hintereinanderschalten der beiden Filterstufen (GAK/BAK und Sand) möglich /4/.

Nach bisherigen Erkenntnissen der Verfasser erfüllt die Kombination Ozonung mit nachgeschalteter Filtration mittels granulierter Aktivkohle (GAK-Filter) die Erwartungen, hinsichtlich einer weitest gehenden Spurenstoffelimination. Die Ergebnisse des einjährigen Versuchsbetriebs werden voraussichtlich im Herbst 2018 veröffentlicht werden.

Kontinuierlich durchströmte Sandfilter nach PAK-Dosierung ARA Flos, Wetzikon (CH)

Der Versuch in der ARA Flos in Wetzikon war im Jahr 2012 (Projektlaufzeit bis Ende 2013) das erste Projekt, dass die Kombination der Direktdosierung von Pulveraktivkohle in das Belebtschlammbecken mit anschließendem KDSF im Dauerbetrieb großtechnisch auf einer Abwasserreinigungsanlage untersucht hat.

Als Verfahrensstufen sind eine zweistraßige Rechenanlage, Sand- und Fettfang, Vorklärung, 4 alternierend-intermittierend belüftete Belebtschlammbecken mit 8 Nachklärbecken und 4 nachgeschalteten Sandfiltern in Betrieb /5/.

Für die Versuche wurde die Filterzelle 4 von den anderen drei Filterzellen hydraulisch komplett abgetrennt und ausschließlich mit biologisch gereinigtem Abwasser aus der Versuchsstraße beschickt. Der großtechnische Versuch auf der ARA Flos hat gezeigt, dass dieses Verfahren ganzjährig während Trocken- und Regenwetter stabil betrieben werden kann. Die Eliminationsleistungen der untersuchten Spurenstoffe lagen in beiden Fällen bei rd. 80 % /5/.

Das KDSF hat während des ganzen Versuchs sehr gut funktioniert. Im Regenwetterfall kann ein Teil des Belebtschlamm-Aktivkohle-Gemisches aus der Biologie ausgetragen werden. Wie sich gezeigt hat, konnten auch die erhöhten Feststoffkonzentrate ohne Probleme vom Filter zurückgehalten werden /5/.

Projekt „PILLS“: Marienhospital Gelsenkirchen (D), Emschergenossenschaft

Die KA vom Marienhospital Gelsenkirchen wird – wie bereits beschrieben – mit einer Ozonung und alternativ einer PAK-Dosierung mit nachgeschalteter Filtration betrieben. Da beide Verfahrensschritte enthalten sind, erfolgt eine Benennung auch an dieser Stelle.

Aktuelle Untersuchungsergebnisse von KDSF zur PAK-Abtrennung

In der Zeit von April 2016 bis Februar 2017 wurde am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA) eine Testanlage eines KDSF betrieben. Ziel der Untersuchungen war es, den Rückhalt von Pulver-

aktivkohle empirisch zu ermitteln. Dabei sollten der Versuchsaufbau und die sonstigen Randbedingungen möglichst an die im Rahmen der Projekte „MIKRO-FLOCK“ vom ISWA durchgeführten Untersuchungen angelehnt werden, um eine Vergleichbarkeit mit den dort getesteten Produkten zu erreichen /6/.

Es wurden anfangs vier Versuchsreihen definiert, die bei gleicher PAK-Dosierung den Einfluss von Fällmittelzugabe, sowie einer mittleren und hohen Filtergeschwindigkeit umfassen sollten. Zur Überprüfung des Abtrennerfolgs wurde die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Zu- und Ablauf gemessen. Dazu wurde definiert, mindestens zehn belastbare Messergebnisse pro Testreihe zu gewinnen. Alle sonstigen filterspezifischen Betriebsdaten, wie Filterwiderstand, Sand-sinkgeschwindigkeit und Spülwassermenge wurden ebenfalls regelmäßig erfasst /6/.

Das verwendete Testfeld bestand aus einer PAK-Vorlage mit einer Dosierpumpe, einer Fällmittelvorlage mit Dosierpumpe, einem vollaufmischten Kontaktbecken, einem Übergabebecken und der eigentlichen KDSF-Testanlage.

Die ersten Versuche wurden mit einem Feinsand der Körnung 0,7 bis 1,2 mm bei einer Filtergeschwindigkeit von 10 m/h und einer PAK-Dosierung von 20 mg/l begonnen. Danach erfolgte die Fällmittelzugabe mit 2 mg/l Fe in Form von Eisen(III)-chlorid /6/.

Die nächste Versuchsreihe mit Standardsand der Körnung 1-2 mm wurde erneut ohne und mit Fällmittel gefahren. Gegen Ende der geplanten Versuchsreihen wurde die Eisendosierung von 2 mg/l auf 3 mg/l erhöht, um zu prüfen, ob sich die Ablaufergebnisse nochmals verbessern lassen /6/. Im Januar 2017 erfolgte die Durchführung einer Versuchsreihe mit zusätzlicher Polymer-, Fe- und PAK-Zugabe. Dazu wurde eine vollautomatische Flüssigpolymerdosierstation aufgebaut und in Betrieb genommen. Es wurde ein geeignetes kationisch wirkendes Polymerprodukt ermittelt, mit dem im Endeffekt mit einer Wirksubstanz von 0,2 mg/L ein stabiler Filterbetrieb erreicht wurde /6/.

Die besten Filtrationsergebnisse konnten mit dem Feinsand der Körnung 0,7 bis 1,2 mm, bei gleichzeitiger Dosierung von Fällmittel erzielt werden. Hier konnten AFS-Ablaufwerte von unter 1 mg/l erreicht werden /6/. Mit Standardsand der Körnung 1 bis 2 mm wurde mit einer erhöhten Fällmittelzugabe von 3 mg/l Fe ähnlich gute Ergebnisse wie mit dem Feinsand erzielt. Die Zugabe von Polymer zeigte keine statistisch abgesicherte Steigerung des Abtrennerfolgs. Tendenziell waren aber einzelne AFS-Ablaufwerte deutlich unter 1 mg/l zu verzeichnen /6/.

Verglichen mit den Untersuchungen des ISWA im Rahmen des Projekts „MIKRO-FLOCK“ zeigte das KDSF hervorragende Ablaufergebnisse mit Werten von unter 1 mg/l AFS – also jenseits der Nachweisgrenze /6/.

Kontinuierlich durchströmte Sandfilter mit GAK zur Spurenstoffentfernung KA Rietberg der Stadt Rietberg

Die Versuche zur Elimination von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser fanden vom Oktober 2012 bis Ende April 2013 statt. Aufbauend auf den Versuchen wurde die bestehende Sandfilteranlage mit 12 KDSF mit 60 m² Filterfläche und 3,5 m Filterbetthöhe in Betonbauweise für die Filtration mit Aktivkohle umgerüstet /7/.

Die Untersuchungen ergaben, dass die GAK AquaSorb 2000 (Basis Steinkohle, mittelhart, hohe Porosität) der Firma Jacobi Carbons für die Filtrationsaufgabe am besten geeignet war.

Die Eliminationsleistung der Aktivkohlen war sehr unterschiedlich. Die untersuchte Aktivkohle auf Kokosnussbasis wies schlechtere Eliminationsraten auf. Daher sollten für die Spurenstoffelimination Kohlen auf Steinkohlebasis eingesetzt werden /7/.

Für die CSB-Elimination sind ca. 5000 BV und für die Entfernung von Carbamazepin ca. 8000 BV anzunehmen. Bei den für die großtechnische Anlage relevanten Filtergeschwindigkeiten bis 6,4 m/h trat keine Flootation auf. Abhängig von Belastung und Kohlesorte sind Standzeiten der AK von bis zu 5 Jahren möglich /7/.

Der großtechnische Umbau der bestehenden Anlage erfolgte im Jahr 2014, der Betrieb läuft seit Januar 2015 /7/.

KA Emmingen-Liptingen (D)

Bei der bestehenden Sandfilteranlage der Kläranlage Emmingen-Liptingen (7.500 EW) wurde einer der 3 KDSF mit 5 m² Filterfläche und 1,5 m Filterbetthöhe für den Betrieb mit GAK umgebaut. Der Umbau und die halbtechnischen Versuche fanden ab September 2013 statt. Als GAK wurde CycleCarb 401 der Firma Chemviron eingesetzt /8/.

Begleitend wurden die Versuche von der Uni Stuttgart in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Jedele und Partner (Stuttgart) durchgeführt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Verfahrens liegt in der gleichzeitigen Spurenstoff- und Feststoffentnahme in einer Einheit. Weitere Einheiten zur Nachbehandlung sind nicht notwendig /8/.

Die Versuche ergaben folgende Ergebnisse: kein GAK-Austrag über den Ablauf, kaum GAK-Austrag über das Waschwasser, kein GAK-Abrieb, Filtergeschwindigkeit mit der ausgewählten GAK auf ca. 7 m/h begrenzt, GAK-Filter und Sandfilter zeigen gleiche Entnahme bzgl. N, P, zu Beginn

messbare CSB-Entnahme im GAK-Filter durch Adsorption, betrieblicher Aufwand ähnlich hoch wie beim Sandfilter, lange Standzeit möglich. Bei den Spurenstoffen sind im Mittel über die rd. 13.500 BV nahezu bei allen untersuchten Parametern Eliminationsraten >70 % zu verzeichnen /8/. Der jährliche Verlust an Aktivkohle entspricht in etwa dem Sandabtrieb in Sandfiltern (in etwa 0,1 bis 0,3 % der Füllung) /8/.

KA Weißenburg, Stadt Weißenburg (D)

Die KA Weißenburg in Bayern wurde – wie bereits beschrieben – mit einer Ozonung mit nachgeschalteter Filtration mittels granulierter Aktivkohle (GAK-Filter) ausgerüstet. Da beide Verfahrensschritte enthalten sind, erfolgt die Benennung auch an dieser Stelle.

Zusammenfassung

Die aktuell relevanten Verfahren zur Entfernung von Spurenstoffen sind die Ozonung, die Adsorption an Pulveraktivkohle und die Adsorption an granulierter Aktivkohle.

Sowohl zur effektiven Abtrennung der beladenen PAK nach Ozonung, als auch zur direkten Entfernung von Spurenstoffen aus dem Abwasser mit GAK, ist das kontinuierlich durchströmte Sandfilter sehr gut geeignet.

Für die Spurenstoffelimination bei kommunalen Kläranlagen wird hauptsächlich Aktivkohle auf Basis von Steinkohle eingesetzt. Je nach Anwendungsfall, d. h. nach Adsorptionsfähigkeit der Aktivkohle und Belastung des Wassers, sind sehr lange Intervalle (bis zu 5 Jahre) zwischen einem Aktivkohleaustausch möglich.

Im Jahr 2017 wurden am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA) Untersuchungen zum Rückhalt von Pulveraktivkohle mit KDSF durchgeführt. Verglichen mit den Untersuchungen des ISWA im Rahmen des Projekts „MIKRO-FLOCK“ zeigte das KDSF hervorragende Ablaufergebnisse mit Werten von unter

1 mg/L AFS. KDSF die ausschließlich mit GAK zur Spurenstoffelimination eingesetzt werden, erreichen Eliminationsraten von ca. 70 %. Bei Einsatz der Verfahrenskombination Oxidative Spurenstoffentfernung mit Ozon und PAK oder GAK, werden Eliminationsraten von mehr als 90 % erreicht. Die Kombination aus Filtration und Adsorption ist ein effektives und wirtschaftliches Verfahren zur Spurenstoffentfernung.

Der effiziente Einsatz von KDSF bei der Spurenstoffelimination in großtechnischen Anlagen wird durch namhafte aktuelle Referenzanlagen bestätigt.

LITERATUR

- /1/ Zehendner, M.: Bericht Aktivkohle, Nordic Water GmbH, Neuss, 2014
- /2/ Ozonung von gereinigtem Abwasser, Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf, Studie der Eawag im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU und des AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, BMG Engineering AG und Hunziker-Betatech AG, Dübendorf, 2009
- /3/ Pharmazeutische Rückstände in der aquatischen Umwelt – eine Herausforderung für die Zukunft, Erkenntnisse und Aktivitäten des Europäischen Kooperationsprojekts PILLS, Abschlussbericht, Gelsenkirchen, 2012
- /4/ Rödel, S.: Projekt „Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“ (Pilotprojekt 4. Reinigungsstufe), Informationsblatt, München, 2016
- /5/ Obrecht, J. et al.: PAK-Dosierung ins Belebungsverfahren, Alternative zur nachgeschalteten Pulveraktivkohleabsorption, AQUA & GAS Nr. 2, Schweiz, 2015
- /6/ Platz, S.: Untersuchung eines Sandfilters zur PAK-Abtrennung, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA), Stuttgart, 2017
- /7/ Knollmann, J.; Hübner, H.: Ertüchtigung der Zentralkläranlage Rietberg zur Elimination von Spurenstoffen, Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie, Hannover, 2013
- /8/ Locher, C.; Jedele, K.: Einsatz granulierter Aktivkohle zur Entnahme von Mikroverunreinigungen in kontinuierlich durchströmten Filtern, Bericht, Stuttgart, 2014
- /9/ Diel et al.: Effizienter Einsatz von kontinuierlich durchströmten Sandfiltern bei der Spurenstoffelimination nach Ozonung und/oder Pulveraktivkohledosierung und mit granulierter Aktivkohle. In: Korrespondenz Abwasser, 1/2018

KONTAKT

Nordic Water GmbH

Dipl.-Ing. Andreas Sack
Dipl.-Ing. Matthias Diel
 Hanseemannstraße 41
 41468 Neuss
 Tel.: 036376/67063
 E-Mail: mdziel@nordicwater.com
 www.nordicwater.com