

# Einsatz granulierter Aktivkohle auf dem Verbandsklärwerk „Obere Lutter“

Andreas Nahrstedt (Mülheim an der Ruhr), Hubert Burbaum (Gütersloh), Christian Mauer, Klaus Alt (Düsseldorf), Thomas Sürder (Detmold) und Jürgen Fritzsche (Frankfurt am Main)

## Zusammenfassung

In einem vom Land Nordrhein-Westfalen über die Bezirksregierung Detmold geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurde der Einsatz von granulierter Aktivkohle in Festbettverfahren zur CSB- und Spurenstoffelimination bei der weitergehenden Abwasserreinigung des Abwasserverbands „Obere Lutter“ im großtechnischen Pilotversuch untersucht. Der Versuchsbetrieb beider Projektabschnitte von Adsorbern mit granulierter Aktivkohle beim Verbandsklärwerk „Obere Lutter“ in beiden Projektabschnitten hat gezeigt, dass derartige Adsorber ein stabiles und praxistaugliches Betriebsverhalten aufzeigen. Es wurde eine CSB- und TOC-Elimination realisiert, die im Mittel eines Adsorberlaufs 45 %, bei geringerer Laufzeit auch wesentlich mehr beträgt. Organische Spurenstoffe konnten – je nach ihren spezifischen Eigenschaften – mit einer mittleren Eliminationsleistung für einen Adsorberlauf von bis zu 95 % entfernt werden. Dabei ist mit Betriebskosten von etwa 0,09 €/m<sup>3</sup> zu rechnen.

**Schlagwörter:** Abwasserreinigung, kommunal, Spurenstoff, Elimination, Aktivkohle, Granulat, Adsorption, Pilotprojekt, CSB, TOC, Kosten

DOI: 10.3242/kae2014.05.003

## Abstract

### Employment of Granulated Active Carbon in the “Obere Lutter” Association Wastewater Treatment Works

In a research and development project sponsored by the federal state of North Rhine Westphalia via the Detmold district authority, the employment of granulated active carbon has been investigated in fixed bed reactor processes for the removal of COD and trace elements with the advanced wastewater treatment of the “Obere Lutter” Wastewater Association in a large-scale pilot trial. The trials operation of both project models of adsorbers using granulated active carbon with the “Obere Lutter” association wastewater treatment works has shown that such adsorbers demonstrate stable and practicable operating behaviour. A COD and TOC removal was realised which, as average within an adsorber run, was 45 %, with a shorter running time was even considerably more. Organic trace elements could be removed – depending on their specific properties – with an average removal performance for an adsorber run of up to 95 %. With this, operating costs of ca. 0.09 €/m<sup>3</sup> are to be reckoned with.

**Key words:** wastewater treatment, municipal, trace element, (here) removal, active carbon, granulate, adsorption, pilot project, COD, TOC, costs

## 1 Einleitung

Die Wahl der Verfahrenstechnik zur Elimination anthropogener Mikroverunreinigungen aus Kläranlagenabläufen und deren betriebliche Auswirkungen sowie die Frage der Wirtschaftlichkeit stehen im Fokus aktueller Diskussionen. In einem vom Land Nordrhein-Westfalen über die Bezirksregierung Detmold geförderten Forschungs- und Entwicklungsvorhaben wurde der Einsatz von granulierter Aktivkohle in Festbettverfahren zur CSB- und Spurenstoffelimination bei der weitergehenden Abwasserreinigung des Abwasserverbandes „Obere Lutter“ (AOL) in großtechnischen Pilotversuchen untersucht.

Hierbei handelt es sich um die Entwicklung bzw. Optimierung einer neuen Aufbereitungstechnik für die Behandlung kommunaler Abwässer. Die Projektziele bestanden neben der Umsetzung und Adaptierung dieser Aufbereitungstechnik im Rahmen einer Pilotierung aus der Prüfung ihrer Funktionalität insbeson-

dere im Hinblick auf betriebliche Auswirkungen sowie aus der Bewertung ihrer Effektivität und der Ermittlung der Betriebskosten. Mittlerweile wurden Erfahrungswerte für die Dauer von drei Jahren Anlagenbetrieb (zwei Laufzeitperioden mit jeweils gut 14 Monaten Standzeit und anschließenden Reaktivierungen der erschöpften Aktivkohle) gesammelt. Aus diesen wurden Optimierungsstrategien für den großtechnischen Einsatz abgeleitet und Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt.

Neben oxidativen Technologien hat die Aktivkohleadsorption den Vorteil, dass keine Transformation der organischen Wasserinhaltsstoffe (Bildung von Metaboliten) stattfindet, sondern diese als Beladung der Aktivkohle aus dem Wasser entfernt werden. Inzwischen wurden mehrere Verfahrensvarianten großtechnisch erprobt, die sich grob in drei Kategorien unterteilen lassen:

# Kostengünstige OnLine Wasseranalytik



i::scan™

Der i::scan ist eine innovative optische Multiparameter-Sonde. Er misst Trübung, Organik, UV254 und Farbe. Durch die Verwendung einer neuen Lichtquellentechnologie können Kosten und Wartungsaufwand drastisch reduziert werden.

[www.i-scan.at](http://www.i-scan.at)

**s::can**  
Intelligent. Optical. Online.

s::can Messtechnik GmbH  
Brigittagasse 22-24  
1200 Wien  
Tel. +43 / 1 / 219 73 93-0  
Email: [sales@s-can.at](mailto:sales@s-can.at)  
[www.s-can.at](http://www.s-can.at)



5.-9. Mai 2014 | MESSE MÜNCHEN

**Besuchen Sie uns:  
Halle A5, Stand 236 & 413**



GWU-Umwelttechnik GmbH  
Bonner Ring 9  
50374 Erftstadt  
Tel. +49 / 22 35 / 955 22-0  
Email: [wasser@gwu-group.de](mailto:wasser@gwu-group.de)  
<http://www.gwu-group.de>



## Kostengünstige OnLine CSB-Messung im Kläranlagenablauf

Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) ist einer der wichtigsten Parameter bei der Überwachung des Kläranlagenablaufs. Der i::scan ist eine revolutionäre neue Sonde, welche neben dem CSB auch Trübung, UV254 und Farbe misst und dabei nicht viel mehr kostet als ein guter Trübungssensor.

Der CSB-Wert als Summengröße für die organische Verschmutzung ist aus der Abwasseranalytik nicht mehr wegzudenken und dient sowohl als Parameter für die Überwachung der Belastung von Wässern wie auch als Grundlage für die Berechnung von Abwasserabgaben.

Die Messung des CSB-Wertes kann über mehrere Verfahren erfolgen. Beispiele sind etwa die Analyse von Stichproben im Labor, der Einsatz von Analysatorschränken oder Sensoren.

### Probleme frühzeitig erkennen und Kosten reduzieren

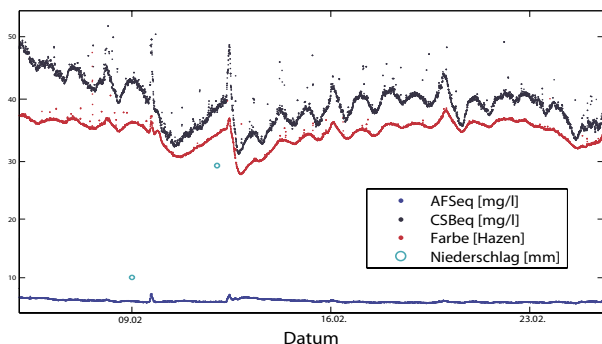
Mit dem i::scan hat s::can Messtechnik eine neue optische Multiparameter-Sonde entwickelt, welche CSB sowie zusätzlich auch noch Trübung, UV254 und Farbe messen kann. Bei der kontinuierlichen OnLine Messung stehen die Daten in Echtzeit zur Verfügung. Probleme im Klärprozess können so frühzeitig erkannt, Gegenmaßnahmen eingeleitet und Schäden vermieden werden. Durch den Einsatz des i::scans kann auch die Anzahl der zeitaufwändigen manuellen Probenentnahme deutlich reduziert und so Kosten gespart werden.

### Der i::scan

Speziell für Abwasseranwendungen gibt es ein i::scan Modell mit 5 mm optischer Pfadlänge. Der i::scan verfügt über eine automatische Druckluft-Reinigungsvorrichtung, wodurch der laufende Wartungsaufwand extrem gering gehalten werden kann. Gleichzeitig ermöglicht es die Verwendung einer neuen Lichtquellentechnologie den i::scan so günstig herzustellen,

dass er auch für kleinere Kläranlagen erschwinglich ist und sich die Anschaffungskosten in kurzer Zeit amortisieren.

Die untenstehende Abbildung zeigt Messdaten eines 5 mm i::scans der in der Hauptkläranlage Wien installiert ist. Es ist erkennbar, dass der CSB-Werte im Tagesverlauf deutlichen Schwankungen unterliegen. Am 12.02. ist der Effekt eines Regentages in den Daten gut erkennbar.



### Das Komplettpaket

s::can Messtechnik produziert bereits seit Jahren ein komplettes Sortiment an Wasserqualitätsmessgeräten, Bediengeräten und Messstationen. Der i::scan ist selbstverständlich mit allen s::can Bediengeräten kompatibel und weitere Sonden (z.B. für pH, gelösten Sauerstoff, NO<sub>3</sub> oder Leitfähigkeit) können einfach integriert werden.

### Mehr Informationen:

Michael Hein (wasser@gwu-group.de), Helmut Hafeneder (sales@s-can.at) und www.i-scan.at



### i::scan - Ihre Vorteile:

- OnLine Messung liefert Daten in Echtzeit
- bis zu vier Parameter gleichzeitig messen
- Trübung, Organik, UV254 und Farbe
- minimaler Wartungsaufwand
- automatische Reinigung verfügbar
- 100 % korrosionsfrei
- Version mit 35 mm Pfadlänge für Trinkwasser und Umweltmonitoring

### Automatisches Frühwarnsystem mit dem con::cube Bediengerät:

- Ereigniserkennung
- automatische Warnungen und Alarmer
- Benachrichtigungen per SMS
- App zur Anzeige der Messwerte auf dem Smartphone



- Verfahren mit Pulveraktivkohle (PAK), die in Haupt- oder Rezirkulationsströme von Belebung/Nachklärung/PAK-Kontaktbecken dosiert wird; gegebenenfalls sind auch Filter für den Rückhalt der aus Becken ausgetragenen PAK nachgeschaltet.
- Verfahren, bei denen die PAK-Dosierung im Zulauf eines Tiefenfilters unter Fällmittelzugabe erfolgt, um eine gezielte PAK-Einlagerung in das Filterbett zu erwirken.
- Verfahren mit granulierter Aktivkohle (GAK) im Festbettverfahren.

GAK-Filter bieten die Option, erschöpfte Aktivkohle ausbauen zu können, um sie bei einem Dienstleister reaktivieren zu lassen. Dabei werden neben den gespeicherten und hier fokussierten Spurenstoffe auch weitere Verbindungen des organischen Hintergrunds (DOC, CSB, AOX ...) thermisch ausgetrieben oder verkokt. Die entstehenden Abgase durchlaufen Nachbrennkammer und Quenche, sodass die organischen Verbindungen aus allen Stoffkreisläufen effektiv eliminiert sind. Die reaktivierte Aktivkohle kann nach Ergänzung von Fehlmengen infolge Reaktivierung durch Frischkohle (sogenanntes Make-up) erneut eingesetzt werden.

## 2 Kurzbeschreibung des Verbandsklärwerks „Obere Lutter“

Der Abwasserverband „Obere Lutter“ (AOL) ist ein Wasser- und Bodenverband im Sinne des Wasserverbandsgesetzes vom 12. Februar 1991. Gegründet wurde der Verband am 19. Januar 1965. Mitglieder dieses in Ostwestfalen gelegenen Verbandes sind die Städte Bielefeld mit einem Anteil von 86 % und Gütersloh mit 14 %.

Die Aufgabe des AOL ist es, Abwässer in den verbandseigenen Sammlern aus den Mitgliedsgemeinden abzuleiten und im Verbandsklärwerk „Obere Lutter“ zu reinigen. Hierzu betreibt der AOL seit 1967 Sammler mit einer Gesamtlänge von ca. 20 km und das Verbandsklärwerk mit einer Ausbaugröße von 380 000 EW, an das derzeit ca. 200 000 EW angeschlossen sind. Die wesentlichen Grundlagen und Randbedingungen des Zentralklärwerts (siehe Luftbild in Abbildung 1) sind:

- Trockenwetterzufluss: 18 000 m<sup>3</sup>/Tag
- Regenwetterzufluss: max. 60 000 m<sup>3</sup>/Tag
- Siebrechenanlage (Stufenrechen)
- belüfteter Sandfang mit Fettfangkammern
- Vorklärung (3000 m<sup>3</sup>, in Betrieb 1500 m<sup>3</sup>)
- 1. biologische Stufe (mit Bypass, 5000 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen und 5950 m<sup>3</sup> Absetzvolumen – zurzeit in Betrieb 4460 m<sup>3</sup> – als Zwischenklärung)
- Frachtausgleichbecken 11 000 m<sup>3</sup>
- 2. biologische Stufe (9200 m<sup>3</sup> Reaktorvolumen und 12 480 m<sup>3</sup> Absetzvolumen, zurzeit 5990 m<sup>3</sup> – als Nachklärung)
- Festbettdenitrifikation als 3. biologische Stufe (acht Kammern mit Blähton gefüllt, je A<sub>f</sub> = 37,5 m<sup>2</sup>)
- Filtration (Biofor-Stufe, zehn Kammern je A<sub>f</sub> = 40 m<sup>2</sup>, Füllung: Biolit, das heißt silicatischer Diabas)
- Schönungssteiche (ca. 45 000 m<sup>3</sup>)

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in die Lutter. Dieses Gewässer entspringt im Bielefelder Stadtteil Quelle und mündet nach rund 25 km Fließweg südlich von Harsewinkel in



Abb. 1: Luftbild Verbandsklärwerk „Obere Lutter“

die Ems. Kleinere Nebengewässer der Lutter sind Trüggelbach und Reiherbach. Neben der Kläranlage Obere Lutter leiten noch mehrere industrielle Anlagen direkt oder über die genannten Nebengewässer ein.

Die Ems berührt sowohl im Oberlauf als auch nach dem Zufluss der Lutter mehrere Wasserschutzgebiete für die Trinkwasserversorgung, deren Rohwasser einen teils erheblichen Anteil an Uferfiltrat aufweisen. Insofern ist die Elimination von Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Obere Lutter und weiteren Anlagen im Einzugsgebiet der Ems wasserwirtschaftlich von erheblicher Bedeutung. Das kommunale Verbandsklärwerk des AOL eignet sich für ein derartiges F+E-Vorhaben aber auch aus zwei weiteren Gründen in besonderer Weise: Sein Abwasser hat einen hohen und überwiegend stark belasteten industriellen Anteil von ca. 65 %. Es bietet mit seiner nachgeschalteten Verfahrensstufe zur Flockungsfiltration (Biofor) zudem die Möglichkeit, einzelne Filterkammern als Festbettadsorber mit granulierter Aktivkohle (GAK-Filter) zu betreiben, um die organische Fracht im Kläranlagenablauf zu reduzieren. Dadurch werden neben der Verminderung der Ablaufwerte für den Parameter CSB organische Mikrotoxinstoffe eliminiert, die insbesondere durch die Indirekteinleitung einer chemisch-physikalischen Behandlungsanlage für Industrieschlämme und -abwässer (CPB) und eines Krankenhauses in das Abwasser eingebracht werden.

Infolge des Filter-Baubooms in den 1990er-Jahren sind in Nordrhein-Westfalen derzeit 87 Filterstufen zur Flockungsfiltration, das heißt zur P-Elimination unter Einsatz von Fällmitteln, in Betrieb. Grundsätzlich besteht bei derartigen Verfahrensstufen die Option, einzelne Filterkammern als GAK-Filter zu betreiben, sodass den beim AOL durchgeführten Pilotversuchen ein Modellcharakter zukommt. Als Besonderheit des AOL aber ist die vorgeschaltete Festbettdenitrifikation hervorzuheben, die einen nahezu trübstofffreien Zulauf zur Flockungsfiltrationsstufe sicherstellt, sodass die Pilotversuche in Bezug auf eine möglichst geringe Beaufschlagung der Aktivkohleschüttungen mit abfiltrierbaren Stoffen ideale Voraussetzungen finden.

## 3 Versuchstechnische Vorgehensweise

### 3.1 Verfahrenstechnik

Filterkammer Nr. 5 der Biofor-Stufe und deren MSR-Technik wurden als erstes im Winter 2010/2011 mit unten aufgezählten Maßnahmen umgebaut, sodass sie sich als „Großtechni-

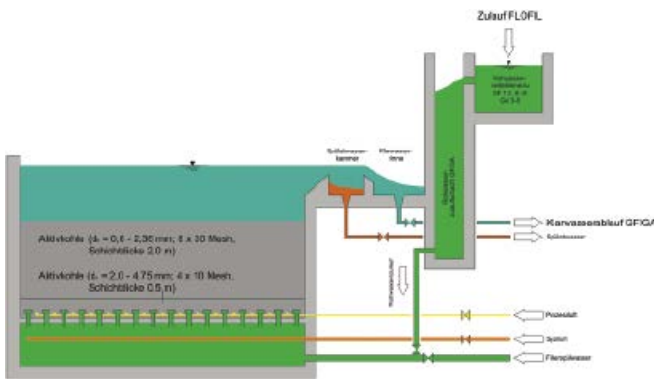


Abb. 2: Schnitt durch einen GAK-Filter des AOL (umgerüstete Filterkammer der Biofor-Stufe)

scher Adsorber“ (GA) mit einer Filterfläche von  $A_f = 40 \text{ m}^2$  im Aufstrom betreiben ließ (siehe Schema in Abbildung 2 und Draufsicht in Abbildung 3). Weitere Filterkammern folgten sukzessive. Ende 2013 waren fünf der insgesamt zehn Kammern der Flockungsfiltration umgerüstet:

- Installation von Probenahmestellen im Aktivkohlebett
  - Eine Rohrleitung in DN 50 mit Storz-C-Kupplung außen vor jeder Filterkammer, um Betriebswasser für das hydraulische Einfüllen der Aktivkohle bereitstellen zu können
  - Modifikation der Software und Programmierung der Steuerung/Regelung: Filtrationsbetrieb mit unterschiedlichen Filtergeschwindigkeiten, Spülprogramm mit zeitlich definierter Abfolge einzelner Phasen
- Der Einsatz von Stützkies ist in GAK-Filtern grundsätzlich zu vermeiden, da dieser beim späteren GAK-Ausbau für die Reaktivierung strikt von der Aktivkohle zu trennen ist, was in der Regel Probleme bereitet. Um die in den Kammern verbauten Düsen mit einer Schlitzweite von 2 mm (Abbildung 3 rechts), die für die gängigen Korngrößen für Aktivkohle zu weit bemessen ist, dennoch nicht ersetzen zu müssen, wurden bei den GAK-Filtern eine  $h_{s1} = 0,5 \text{ m}$  hohe „Stüttschicht“ aus einer grob granulierten Aktivkohle (Jacobi Carbons, AquaSorb 5000,  $d_k = 2,0 - 4,75 \text{ mm}$ ) aufgebracht. Diese trägt, wie Abbildung 2 zeigt, ein  $h_{s2} = 2,0 \text{ m}$  hohes Festbett des gleichen Aktivkohletyps, jedoch in feinerer Körnung (AquaSorb 5000,  $d_k = 0,63 - 2,36 \text{ mm}$ ). Mit der Wahl der groben Körnung auf den Köpfen der Filterdüsen wurde erreicht, dass im nunmehr dreijährigen Betrieb ein Korndurchtritt durch die Düsen-schlitzze zum Beispiel infolge der Filterspülung und bei der Filtration nicht auftrat.
- Laborversuche (sogenannte Isothermen) mit dem originären Filterstufenzulauf gaben den Ausschlag, den eher makroporösen Aktivkohletyp AquaSorb 5000 auf der Rohstoffbasis Li-

## Wasseranalytik

NANOCOLOR® UV/VIS II

### Smart photometry Spektralphotometer NANOCOLOR® UV/VIS II

- Revolutionäres Nutzererlebnis
- 10 Zoll HD Touchscreen-Display
- Intuitive und vollständig iconbasierte Menüführung
- Integrierte Trübungskontrolle (NTU-Check)
- Per WLAN und LAN mit Laborsystemen vernetzbar
- Hochwertige Livescans mit integriertem Analysetool

[www.mn-net.com](http://www.mn-net.com)

**MACHEREY-NAGEL**



MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG · Neumann-Neander-Str. 6-8 · 52355 Düren · Deutschland

<b>Deutschland und International:</b>	<b>Schweiz:</b>	<b>Frankreich:</b>
Tel.: +49 24 21 969-0	MACHEREY-NAGEL AG	MACHEREY-NAGEL EURL
Fax: +49 24 21 969-199	Tel.: +41 62 388 55 00	Tel.: +33 388 68 22 68
E-Mail: <a href="mailto:info@mn-net.com">info@mn-net.com</a>	Fax: +41 62 388 55 05	Fax: +33 388 51 76 88
	E-Mail: <a href="mailto:sales-ch@mn-net.com">sales-ch@mn-net.com</a>	E-Mail: <a href="mailto:sales-fr@mn-net.com">sales-fr@mn-net.com</a>



In Kürze  
erhältlich



Since 1911



Abb. 3: Biofor-Filtrationsstufe mit der ersten entleerten Filterkammer Nr. 5 (links und Mitte) für den großtechnischen Adsorberbetrieb mit Düsenboden und Düsen (rechts)

gnite (Braunkohle) für den Einsatz auszuwählen, dessen wichtigste Parameter kurz genannt werden sollen:

- Iodzahl  $\geq 1100$  mg Iod/g (Messwert nach DIN 12915-1: 1229 mg Iod/g)
- BET-Oberfläche  $\geq 1150$  m<sup>2</sup>/g
- Schüttdichte: 300 kg/m<sup>3</sup>

Der Befüll- und Entleerungsvorgang der Filterkammern findet aktuell in einem Austauschturnus von 14 bis 15 Monaten hydraulisch und somit weitgehend automatisiert statt: Über einen C-Schlauch wird das Silofahrzeug mit Betriebswasser versorgt. Mit diesem wird einerseits etwas Wasser in den Silotank mit

der GAK vorgelegt, andererseits ein T-Stück am Siloausslass versorgt, um das anliegende GAK-Wasser-Gemisch über eine Rohrleitung in die Filterkammer zu spülen. Bei diesem hydraulischen Transport der GAK tritt keine Kornzerkleinerung auf. In der Filterzelle wurde zuvor ebenfalls Wasser vorgelegt, um GAK und Düsen zu schonen. Spülvorgänge mit Luft sorgen für die flächige Verteilung der Aktivkohle in der Kammer. Der spätere Ausbau der erschöpften Aktivkohle für den Transport zur Reaktivierungsanlage verlief umgekehrt in ähnlich automatisierter Weise. Den Befüllvorgang zeigen Abbildung 4 und Videos unter [www.mikroverunreinigungen.de/obere-lutter](http://www.mikroverunreinigungen.de/obere-lutter). Hier sind auch weitere Details für den praktisch interessierten Siedlungswasserwirtschaftler nachzulesen.

Wasser- und Abwasserreinigung:	Rührwerke	Rühr- und Begasungssysteme	Membran-Belüftungssysteme	Softwareprodukte	Systemlösungen
--------------------------------	-----------	----------------------------	---------------------------	------------------	----------------

Ausgewählte Referenzen:  
 Berlin - Stahnsdorf (DE), Berlin - Schönerlinde (DE), Zürich (CH), Linz (AT), Wien (AT), Maastricht (NL), Apeldoorn (NL), Amsterdam (NL), Stockholm (SE), Barcelona (ES), Kuwait (KW), New York - Bowers Bay (US), New York - Wards Island (US), Washington D.C. - DC Wasa (US), Yokohama (JP), Melbourne (AU)...

**INVENT - inventor of HMT\***  
 \* Hyperboloid Mixing Technology

**IFAT 2014! Wir sind dabei!**  
 Halle A2, Stand 319/418

**HYPERCLASSIC®  
 Mixer - evolution 7**  
**The Benchmark in Mixing**

Von Leonardo da Vinci erbt das **INVENT** Hyperboloid-Rührwerk das Streben nach Vollendung in Form, Funktion und Effizienz wie auch seinen innovativen Geist: er ist die Triebfeder, die uns unsere Ziele stets höher stecken lässt und ist der Motor für kontinuierliche Verbesserung. Die brandneue "evolution 7" Version ist effizienter als jeder andere vergleichbare Rührer.  
 Fordern Sie unser Infopaket an.

i n n o v a t i o n f o r n a t u r e

INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG • Am Pestalozziring 21  
 91058 Erlangen • Fon 0 91 31/ 6 90 98-0 • Fax 0 91 31/ 6 90 98-99 • [Http://www.invent-uv.de](http://www.invent-uv.de)

[www.hyperboloidmixer.com](http://www.hyperboloidmixer.com)



Abb. 4: Hydraulischer Füllvorgang von Filterzelle 5 (rechts) mit Aktivkohle mittels Silofahrzeug (links)

### 3.2 Randbedingungen des ersten Betriebszyklus

Der Start des ersten Betriebsversuchs mit frischer GAK im „Großadsorber GA-5“ fand am 28. Januar 2011 bei einer zunächst sehr konservativen Filtrationsgeschwindigkeit von  $v_f = 1,5 \text{ m/h}$  statt, die am 22. Februar 2011 auf  $v_f = 2 \text{ m/h}$  angehoben wurde. Ziel war eine Leerbettkontaktzeit von 75 min zwischen Wasser und Aktivkohle für eine maximale Adsorptionswirkung. Bis zum April 2012 (d. h. für 440 Tage) wurde der GA-5 derart und bis auf die periodische Spülung unterbrechungsfrei betrieben. Die Spülung des GA-5 erfolgte einmal in der Woche und in der Regel montags. Die übrigen Filterkammern der Biofor-Stufe wurden wie zuvor mit Filtergeschwindigkeiten zwischen 2 und 8 m/h, einem periodischen Lufteintrag von unten und bei Bedarf mit Dosierung des Fällungsmittels  $\text{FeCl}_3$  für die Phosphatentfernung eingesetzt. Eines dieser Filtrate aus Filterkammer 4 („Großfilter GF“) wurde parallel

zum GA-5 beprobt, um Eliminationsleistungen infolge reiner Partikelabscheidung und biologischem Abbau im Vergleich zum GA-5 separat erfassen zu können.

Parallel zum GA-5 wurde ein „Kleintechnischer Adsorber KA“ im Pilotmaßstab in Betrieb genommen (Abbildung 5). Der kleintechnische Maßstab bezieht sich dabei nur auf die Filterfläche ( $A_f = 0,028 \text{ m}^2$ ), die Betttiefe des KA entspricht hingegen GA-5. Im Unterschied zum GA-5 wurde der KA aber nur mit AquaSorb 5000 der feineren Körnung befüllt, da Düsen mit entsprechend feiner Schlitzweise verbaut wurden. Der KA wurde mit einer deutlich höheren Filtrationsgeschwindigkeit von  $v_f = 10 \text{ m/h}$  im Abstrom bzw. mit einer Leerbettkontaktzeit von nur 15 min betrieben. Mit dieser Wahl sollten im Vergleich zum GA-5 eine schnellere Beladungszunahme und ein rascher Durchbruch der Mikroverunreinigungen erwirkt werden, um in einer frühen Projektphase verlässliche Annahmen für das Verhalten des GA-5 treffen zu können. Im Zeitraum ab dem 28. Januar 2011 bis zum

**EKO-PLANT**  
100% erfahren

Klärschlammmanagement:

**ÖKOLOGISCH,  
PLANUNGSSICHER,  
POLITISCH KORREKT.**

Der künftige Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ist politischer Wille. Weil die Zukunft schon gleich beginnt, haben wir bereits jetzt wegweisende Lösungen für das Klärschlammmanagement kleiner und mittlerer Kommunen. Wirtschaftlich und zukunftssicher. **So sieht ein Ausstieg aus!**

EKO-PLANT GmbH | Karlsbrunnenstraße 11 | 37249 Neu-Eichenberg | info@eko-plant.de | www.eko-plant.de



**Kompetenz mit  
Rundum-Service:**  
Planung, Bau,  
Betrieb und Verwertungsmanagement

**IFAT 2014**

5. – 9. MAI 2014 MESSE  
MÜNCHEN | HALLE A2  
STAND 336 | [www.ifat.de](http://www.ifat.de)

Vereinbaren Sie einen Termin  
mit Frau Ute Bachmann:

**+49 5542 9361-61**

Member of  
**THE PAULY GROUP**  
NATURE MEETS TECHNOLOGY  
[www.thepaulygroup.com](http://www.thepaulygroup.com)



Abb. 5: Versuchsbetrieb des Kleinadsorbers KA (Filtersäule mit  $d_{innen} = 190\text{ mm}$ )

Filterdurchbruch nach 97 Betriebstagen, als die CSB- und TOC-Elimination des KA mit der des GF vergleichbar wurde, fand ein unterbrechungsfreier kontinuierlicher Betrieb („kont. KA“) statt.

Nach einer erneuten Befüllung des KA mit frischer Aktivkohle wie zuvor fand in der Zeit ab dem 16. Mai 2011 ein intermit-

tierender Betrieb („diskont. KA“) an nur fünf Tagen je Woche statt. Nach 117 Tagen mit Filtrationsbetrieb wurde dieser Adsorbentlauf noch vor Erreichen eines vollständigen Filterdurchbruchs für CSB, TOC oder viele Spurenstoffe abgebrochen. Diese „5/7-Betriebsweise“ diente dem Versuchszweck, die Aktivkohle nur mit einem anteilig auch industriell belasteten Abwasser (hoher CSB und viele industriebürtige Spurenstoffe) zu beschicken, das etwas zeitversetzt an fünf Wochentagen im Zulauf der Adsorbent auftritt. Diese fokussierte Betriebsweise sollte Nutzen aus zwei Faktoren ziehen: Zum einen ergibt sich eine längere Standzeit der Aktivkohle, bevor eine Reaktivierung erfolgen muss. Zum anderen wurde infolge der Pausenzeiten eine bessere Stoffaustauschkinetik erwartet. Die Filterspülung erfolgte an allen Tagen mit Filtrationsbetrieb (kont. KA: 7 Spülungen/Woche; diskont. KA: 5 Spülungen/Woche). Eine Gesamtübersicht der Versuchsparameter im ersten Projektteil bietet Tabelle 1.

### 3.3 Randbedingungen des zweiten Betriebszyklus

Das problemlose und betreuungsarme Verhalten des Großadsorbers im Alltagsbetrieb, dessen einfache Befüllung und Entleerung sowie die erzielten Eliminationsleistungen waren für den AOL Anlass, einen weiteren Projektabschnitt 2 zwischen Juni 2012 und Oktober 2013 zu starten. Für diesen wurden mit Filter Nr. 3 und 4 zwei weitere Kammern umgerüstet, mit Frischkohle desselben GAK-Typs (AquaSorb 5000) befüllt und in das Untersuchungsprogramm eingebunden (GA-3 und GA-4). Parallel hierzu wurde die erschöpfte GAK aus GA-5 ausgebaut, reaktiviert, wieder eingefüllt und Fehlmengen durch frische GAK ergänzt (sogenanntes Make-up). Bei diesem Projektabschnitt (Verfahrensparameter siehe Tabelle 2) standen drei neue Fragestellungen im Fokus:

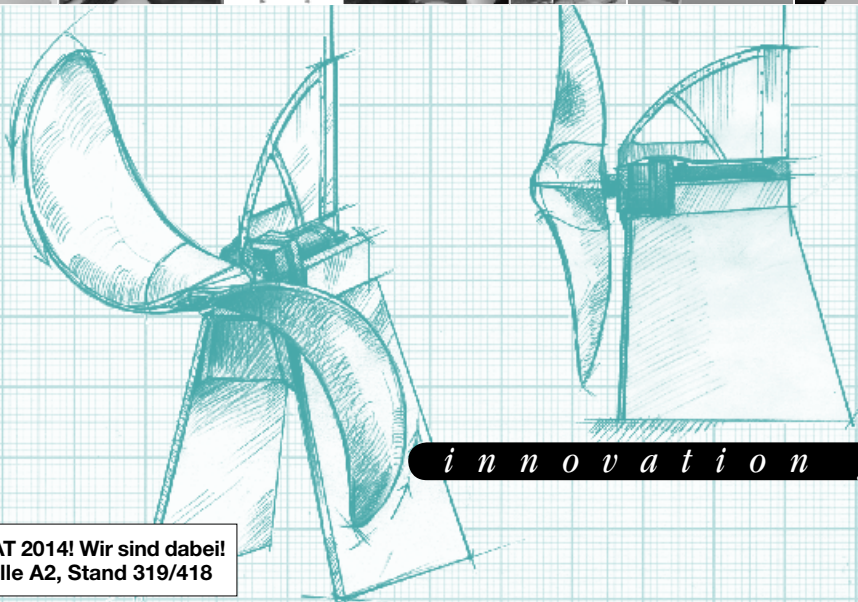
Wasser- und Abwasserreinigung | **Rührwerke** | Rühr- und Begasungssysteme | Membran-Belüftungssysteme | Softwareprodukte | Systemlösungen

INVENT CYBERFLOW® Strömungsbeschleuniger - Die ultimative Strömungsmaschine für Umlaufbecken



### Der INVENT CYBERFLOW® - Strömungsbeschleuniger

wurde speziell zur energieeffizienten Erzeugung einer horizontalen Strömung in Umlaufbecken für die biologische Abwasserreinigung entwickelt und optimiert. Hierbei kommt ein, im Vergleich zu herkömmlichen Strömungserzeugern, revolutionäres strömungsmechanisches Gesamtkonzept zur Anwendung. Dieses führt, abhängig vom Einsatzfall, zu Wirkungsgradsteigerungen von bis zu 30 Prozent.



innovation for nature

IFAT 2014! Wir sind dabei!  
Halle A2, Stand 319/418



INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG • Am Pestalozziring 21  
91058 Erlangen • Tel. 0 91 31 / 6 90 98-0 • Fax 0 91 31 / 6 90 98-99 • [Http://www.invent-uv.de](http://www.invent-uv.de)

[www.flowacceleration.com](http://www.flowacceleration.com)



Filter-Nr.	Kurzbezeichnung	GAK-Typ/Filtermaterial	Filtergeschwindigkeit	Betriebszeit/Betriebsart
4	GF	Biolit	variabel 2 bis 8 m/h	kontinuierlich fortlaufend
5	GA-5	Frischkohle AquaSorb 5000	konstant 2 m/h	kontinuierlich 28.01.2011–12.04.2012
–	kont. KA	Frischkohle	konstant 10 m/h	kontinuierlich 28.01.2011–05.05.2011
–	diskont. KA	Frischkohle	konstant 10 m/h	diskontinuierlich (intermittierend) 16.05.2011–27.10.2011

Tabelle 1: Verfahrensvarianten der untersuchten Adsorber und Filter in Projektabschnitt 1

Filter Nr.	Kurzbezeichnung	GAK-Typ/Filtermaterial	Filtergeschwindigkeit	Betriebszeit/Betriebsart
3	GA-3	Frischkohle AquaSorb 5000	variabel 2 bis 8 m/h $\varnothing = 3,6$ m/h	intermittierend 12.06.2012 – 06.09.2013
4	GA-4	Frischkohle	konstant 2 m/h	intermittierend 12.06.2012 – 04.10.2013
5	GA-5 <sub>R</sub>	Reaktivat + Make-up	konstant 2 m/h	intermittierend 12.06.2012 – 18.09.2013
6	GF	Biolit	variabel 2 bis 8 m/h	kontinuierlich fortlaufend

Tabelle 2: Verfahrensvarianten der untersuchten Adsorber und Filter in Projektabschnitt 2

- Wie verändert die Reaktivierung das Adsorptionsvermögen der Aktivkohle und welche Veränderung der Standzeit ist die Folge (Vergleich GA-5 mit GA-4)?
- Wie stark lässt sich die Filtrationsgeschwindigkeit dynamisieren, um sie variabel an eine aktuelle Abflussmenge anpassen zu können (Vergleich GA-3 mit GA-4)?
- Welchen Nutzen hat ein intermittierender Betrieb an 5 von 7 Wochentagen zur weitergehenden Aufbereitung eines stark industriell beeinflussten Abwassers im großtechnischen Maßstab?

### 3.4 Parameterauswahl für die Analytik

Zulauf und Abläufe der Adsorber wurden vom Betriebslabor des AOL in Bezug auf Standardparameter untersucht (24-h-Mischprobe: CSB, TOC, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, P<sub>ges</sub>, pH, Leitfähigkeit, Sauerstoff). Die Auswahl der in Tabelle 3 aufgelisteten Spurenstoffe erfolgte als Kompromiss zwischen der Relevanz

eines Parameters für den Kläranlagenablauf (vorausgegangen waren zwei Screenings mit einer deutlich umfangreicheren Parameterliste auf der Basis einer Bewertung von Bergmann et al., 2008) und einer kostengünstigen Analytik mit nur wenigen Labormethoden.

## 4 Ergebnisse des ersten Projektabschnitts

### 4.1 Praktische Erfahrungen und Betriebsverhalten der Aktivkohleadsorber

Die praktischen Erfahrungen des Betriebspersonals konnten insgesamt als sehr positiv bezeichnet werden. Der Aufwand für die Entfernung von 100 m<sup>3</sup> Filtermaterial beträgt bei einem Einsatz von drei Personen und einem Saugfahrzeug 10 Stunden. Um eine Filterkammer mit Aktivkohle zu füllen, sind drei Silowagen erforderlich (100 m<sup>3</sup> × 0,3 t/m<sup>3</sup> = 30 t Aktivkohle). Die Befüllung der granulierten Kohle erfolgte zu Beginn über eine fliegende

MicroClear®








CLEAR RESULTS – PURE LIFE

**Eine Lösung für Ihre Branche**

MicroClear®-Filteranlagen sind technologisch führend bei der Abwasserbehandlung mit Membranbioreaktoren. Sie kommen weltweit zum Einsatz:

- Kommunaler Einsatz
- Papierindustrie
- Schiffskläranlagen
- Automobilindustrie
- Containerkläranlagen
- Lebensmittel- und Getränkeindustrie



**newterra GmbH**  
Steinbruchstraße 8  
35428 Langgoens  
Germany

Tel +49 (0) 6447 88605-0  
Fax +49 (0) 6447 88605-10  
E-Mail [info@microclear.de](mailto:info@microclear.de)  
Web [www.microclear.de](http://www.microclear.de)



Parameter(gruppe)	Einzelsubstanzen in der Gruppe
Komplexbildner	EDTA, NTA, DTPA
Betablocker	Metoprolol, Sotalol
Analgetika/ Antiphlogistika	Diclofenac, Ibuprofen, Naproxen
Lipidsenken	Bezafibrat
Antiepileptika	Carbamazepin
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure, Iomeprol, Iopamidol, Iopromid
PFC	Perfluorbutylsulfonat (PFBS) Perfluoroctylsulfonat (PFOS)
sonstige	Sulfolan (Tetrahydrothiophen-1,1-dioxid) TMDD (2,4,7,9-Tetramethyl-5-decin-4,7-diol)-Tensid Benzotriazol Gadolinium

Tabelle 3: Parametersatz der Spurenstoffanalytik (gelöste Anteile) beim Monitoring der Verfahrenswirksamkeit für die Filter/Adsorber

Schlauchleitung, im späteren Versuchsverlauf über fest installierte Befüllungsleitungen. Mit der Befüllung einer Filterkammer mit GAK war ein Mitarbeiter des AOL an drei Anlieferungen jeweils drei Stunden beschäftigt. Für die Entnahme der Aktivkohle zur Regenerierung entstand für einen Mitarbeiter ein Aufwand von jeweils fünf Stunden an den drei Abholtagen. Dieser Gesamtaufwand war aus Sicht des Abwasserzweckverbandes geringer als erwartet und vertretbar für einen großtechnischen Betrieb.

Eine erste Wasserspülung der eingebauten GAK fand nach mehreren Tagen Wartezeit statt, damit das Porensystem des

GAK-Korns Wasser aufnehmen kann und mit einer möglichst vollständigen Benetzung seine Kornnassdichte erreicht. Ein geringer Anteil der GAK ließ sich auch nach mehreren Tagen nicht ausreichend benetzen, schwamm auf und musste vor Versuchsstart per Spülung ausgetragen werden.


Die Spülwassergeschwindigkeit wurde auf der Basis von Produktdatenblättern und einer Korrekturfunktion für den Einfluss der Wassertemperatur zu 25 bis 30 m/h berechnet und im Rahmen von Vorversuchen mit bis zu 27 m/h so optimiert, dass eine ausreichende Fluidisierung (10 bis 15 % Bettexpansion) für einen effektiven Austrag abgeschiedener Trübstoffe erzielt wird, ohne GAK in die stirnseitige Rinne für das Spülwasser auszutragen. Ein zumindest in kleinem Umfang erwarteter Verlust von Aktivkohle blieb in beiden Projektzeiträumen vollständig aus, wie periodische Kontrollen von Spülwasserablauf und Betthöhe belegen. Durch Siebanalysen von Aktivkohleproben aus verschiedener Betttiefe konnten auch Effekte wie Kornabrieb oder -zerkleinerung ausgeschlossen werden. Sichtkontrollen im Raum unterhalb des Düsenbodens dienten der Feststellung, dass ein Korndurchtritt durch die Düsen-schlitze nicht stattfindet. Im Routinebetrieb dieser Verfahrensstufe bleibt der Personaleinsatz auf Kontroll- und Überwachungsaufgaben (inklusive Probenahmen) beschränkt. Bei der Erstbefüllung und Reaktivierung der Aktivkohle fallen in geringem Umfang zusätzlich administrative Arbeiten an (Terminplanung, kaufmännische Abwicklung).

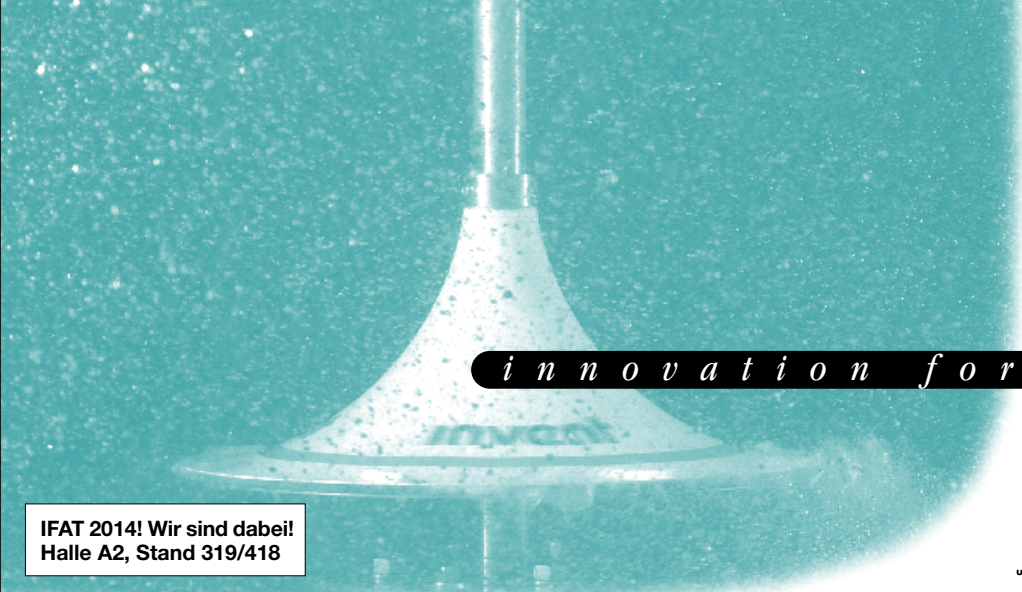
#### 4.2 CSB- und TOC-Adsorption

Der zeitliche Verlauf des CSB im Zu- und Ablauf der Adsorber und des Großfilters im Projektabschnitt 1 ist Abbildung 6 zu

Wasser- und Abwasserreinigung:
Rührwerke
Rühr- und Begasungssysteme
Membran-Belüftungssysteme
Softwareprodukte
Systemlösungen

Ausgewählte Referenzen:  
 Monfaucon (CH), Chiusi (IT), Hilleröd (DK), Kimberley Clark (UK), DSM Deretil (ES), Hisaraya (BG), Goldap (PL), Slite (SE), Jabel Ali (UAE), Doha West (QA), Al Mahmoudia (EG), Dow Chemicals (CA), Arla Foods (AR), Caleta Oliva (AR), Lavapés (BR), Dow Chemicals (BR), Presidente Prudente (BR)...





HYPERCLASSIC®

Mixer/ Aerator -


Das Hyperboloid Rühr- und Begasungssystem

arbeitet auch dort noch zuverlässig, effizient und sicher, wo herkömmliche Belüftungssysteme bereits versagen. Und dies ohne Verschleiß, Druckverlustanstieg oder Verstopfen.

Fordern Sie unser Infopaket an.

innovation for nature

IFAT 2014! Wir sind dabei!  
 Halle A2, Stand 319/418



umwelt und verfahrenstechnik

www.mixeraerator.com

INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG • Am Pestalozziring 21  
 91058 Erlangen • Fon 0 91 31/ 6 90 98-0 • Fax 0 91 31/ 6 90 98-99 • Http://www.invent-uv.de

entnehmen. Es wird deutlich, dass der Filterzulauf den Überwachungswert des CSB von 60 mg/L nicht konsequent unterschreitet. Der belüftete Großfilter GF mit der Biolit-Schüttung (GF) leistet einen mikrobiologischen Abbau des CSB von bis zu 10 mg/L, was die Einhaltung der Überwachungswerte aber nicht in vollem Umfang sicherstellt. Der großtechnische Adsorber (GA) erwirkt bei den langen Aufenthaltszeiten des Wassers im Aktivkohlebett anfänglich eine relativ konstante Filtratqualität mit einem CSB in der Regel um 10 mg/L (CSB-Reduktion von ca. 30 bis 60 mg/L). Etwa ab dem 22. März 2011, das heißt nach 22 Betriebstagen, findet ein linearer Anstieg mit Spitzenwerten des CSB im Filtrat von bis zu 30 mg/L im Juli statt. Im Anschluss nähert sich die Kurve asymptotisch einem mittleren Wert des CSB von ca. 30 bis 34 mg/L, wobei CSB-Spitzen den Zulauf bis zum Laufzeitende am 12. April 2012 immer noch auf um 15 bis 20 mg/L vermindert werden, was mehr ist als die 10 mg/L Elimination im GF. Der CSB im Filtrat des kontinuierlichen KA mit der fünffach höheren Filtrationsgeschwindigkeit steigt entsprechend steiler und geht nach ca. 8 Wochen Adsorberlaufzeit in einen horizontalen Verlauf über, dessen Niveau mit dem des GA etwa vergleichbar ist.

Die Kurve für den diskontinuierlich betriebenen KA und der gleichen Filtrationsgeschwindigkeit weist hingegen einen Steigungsverlauf auf, wie er bei GA-5 ermittelt wurde. Dieser Versuch wurde noch vor dem Erreichen einer maximalen Beladung abgebrochen.

Um die Adsorptionsprozesse bzw. die auf die Adsorptionskinetik einwirkenden Randbedingungen vergleichbarer darzustellen, empfiehlt sich eine Auftragung der auf den Zulauf normierten Ablaufkonzentration  $c/c_0$  über der aktuellen Beladung einzelner Adsorber, wie in Abbildung 7 beispielhaft für den Parameter CSB dargestellt. Die Beladung wird dazu aus der Differenz der Konzentrationen von Zulauf und Filtrat sowie dem jeweils durchgesetzten Wasservolumen bilanziert. Die Entfernung des CSB von bis zu 10 mg/L infolge mikrobiologischen Abbaus und Trübstoffabscheidung, die sich anhand der Messdaten für den GF abzeichnete, wurde dabei aber nicht in Abzug gebracht. Bei dieser Darstellung ist generell zu beachten, dass gleiche Beladungszustände verschiedener Adsorber entsprechend zeitversetzt aufgetreten sind. Konzentration und Zusammensetzung des Zulaufs bei gleichen Bela-

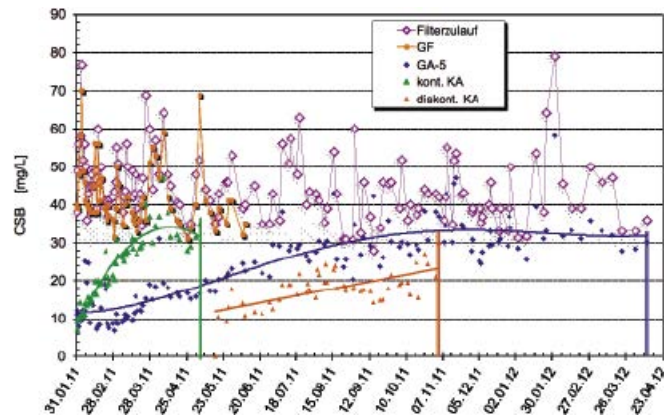


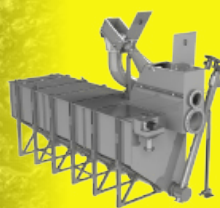
Abb. 6: Zeitlicher Verlauf des CSB im Zulauf und in den Filtraten der Filter/Adsorber (Verfahrensparameter 1. Projektabschnitt, Tabelle 1)

dungszuständen können daher gegebenenfalls stark unterschiedlich sein.

Der kont. KA ( $v_f = 10$  m/h) wies am Ende seiner Filterlaufzeit von 97 Tagen und nach 9120 durchgesetzten Bettvolumina (bed volume treated, BVT) eine hohe CSB-Beladung von knapp 60 Gew.-% auf (TOC-Beladung: 20 Gew.-%), wie Abbildung 7 zeigt. Der diskont. KA ( $v_f = 10$  m/h) erreichte bereits vor Ende einer maximal möglichen Filterlaufzeit nach 163 Tagen (mit nur 117 Tagen Filtrationsbetrieb) eine noch höhere CSB-Beladung von nahezu 75 Gew.-% (TOC-Beladung: 29 Gew.-%).

Mit der geringeren Filtrationsgeschwindigkeit von  $v_f = 2$  m/h folgt der GA-5 zunächst dem Verhalten des kont. KA, zeigt in der mittleren Beladungsphase eine etwas schlechtere Filtratqualität und gleicht sich gegen Laufzeitende dem Endniveau des kont. KA bei etwa  $c/c_0 = 80$  % an. GA-5 erreichte nach 440 Tagen Laufzeit mit 8.220 durchgesetzten Bettvolumina eine geringere maximale CSB-Beladung als der kont. KA mit etwa 46 Gew.-% (TOC-Beladung knapp 16 Gew.-%). Während sich der Einfluss der unterschiedlichen Filtrationsgeschwindigkeiten nur leicht abzeichnet und gegebenenfalls auch von der etwas gröberen Aktivkohle auf dem Düsenboden des GA-5 kompensiert wird (langsamere Kinetik), hat der intermittierende Betrieb einen ganz erheblichen Einfluss auf ein deutlich langsames Abklingen der Eliminationsleistung.

## Komponenten für die Abwasser- und Schlammbehandlung



**WASTEMASTER® TSF**  
Kompaktanlagen

**GRITSEP® FGC**  
Sandklassierer



**SSC**  
Spiralförderer



**WASTEMASTER® FTR**  
Siebtrommeln



5.-9. Mai 2014 Besuchen Sie uns:  
MESSE MÜNCHEN Halle A2, Stand 405



**WAM GmbH**  
**SPECO® Division**  
Dornierstraße 10  
D - 68804 Altlußheim

Tel.: +49 (0) 62 05 39 49-0  
Fax: +49 (0) 62 05 39 49 49

wam@wamgmbh.de  
www.wamgmbh.de/speco



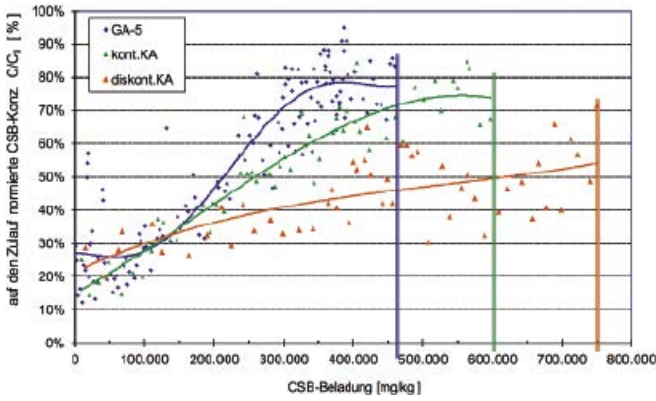


Abb. 7: Auf den Zulauf normierte CSB-Konzentration  $c/c_0$  in den Filtraten der Adsorber in Abhängigkeit von der CSB-Beladung (Verfahrensparameter erster Projektabschnitt, siehe Tabelle 1)

### 4.3 Spurenstoff-Adsorption

Abbildung 8 bietet anhand ausgewählter Probenahmeterminale eine Gesamtübersicht zur Veränderung der normierten Ablaufkonzentrationen  $c/c_0$  aller Spurenstoffe des Monitorings mit zunehmender Filterlaufzeit des GA-5. Als Beispiel für eher schlecht adsorbierbare Mikroverunreinigungen zeichnet sich das Verhalten der Chelat-Komplexbildner NTA, EDTA und DTPA ab: Es treten nach 14 Tagen die ersten Spuren an EDTA und NTA sowie an – ebenfalls polaren – Sulfolan im Filtrat auf. Beim EDTA wurde dann bereits bei der Probe vom 7. April 2011 eine Ablaufkonzentrationen oberhalb des Adsorberzulaufs gemessen, womit eine Verdrängung des EDTA infolge der konkurrierenden Adsorption nachgewiesen wurde. Ab Mitte 2011 lag eine solche Tendenz auch für das DTPA vor, während

die Filtratkonzentration des NTA ab März/April 2011 stabil zwischen 70 und 80 % des Zulaufs pendelt und gegen Laufzeitende knapp 92 % erreicht. Das Ausmaß dieser durch Konkurrenz mit anderen Stoffen entstehenden Verdrängung soll später in Abbildung 9 anhand der Entwicklung der Beladungsbilanzen für die Mikroverunreinigungen näher erläutert werden.

Das Element Gadolinium (Bestandteil des Röntgenkontrastmittels Gadovist), das nur anteilig mittels der Chelat-Komplexbildner komplexiert wird und somit nur indirekt adsorptiv entfernbare ist, wurde von Anfang an relativ konstant mit 7 bis 9 % der Zulaufkonzentration nachgewiesen und gegen Laufzeitende bis zu einem geringen Anteil wieder aus dem Adsorber verdrängt (Abbildung 8). Amidotrizoesäure wurde im Filtrat ab Mitte 2011 detektiert, ihre Filtratkonzentration erreichte bereits ab 20. September 2011 und danach bis zum Laufzeitende schwankende Werte bis zu knapp 70 % der Zulaufkonzentration. Das polare Lösungsmittel Sulfolan taucht uneinheitlich hin und wieder im Filtrat mit bis zu 25 % der Zulaufkonzentration des GA-5 auf, die ihrerseits mit Spitzenwerten bis zu 21  $\mu\text{g/L}$  nachgewiesen wurde. Das Tensid TMDD wies zeitlich ein ähnliches Durchbruchverhalten auf (mit Spitzenwerten im GA-Zulauf von bis zu 800  $\mu\text{g/L}$ ), erreichte gegen Laufzeitende dann Konzentrationen von 96 % des Zulaufes. Alle übrigen Mikroverunreinigungen (mit Ausnahme von Ibuprofen gegen Laufzeitende) zeigten nahezu keine Durchbruchstendenzen (Abbildung 8).

Für jeden Spurenstoff wurden die korrespondierenden Frachten, mit denen einerseits die Adsorber beschickt wurden und die andererseits zu einer Beladungszunahme der Aktivkohle führte, mittlere Eliminationen für die gesamte Adsorberlaufzeit berechnet. In Abbildung 9 wurde diese für die Gesamtlaufzeit des GA-5 und kont. KA aufgetragen. Auch hier zeich-

Wasser- und Abwasserreinigung:	Rührwerke	Rühr- und Begasungssysteme	Membran-Belüftungssysteme	Softwareprodukte	Systemlösungen
--------------------------------	-----------	----------------------------	---------------------------	------------------	----------------

Ausgewählte Referenzen: Rheinpapier (DE), Kirchlzell (DE), Lauenbrück (DE), Kaisten (CH), Polynt (IT), Val di Luce (IT), Danone - Volvic (FR), Norske Skog Follum (NO), Houttalem (BE), Madrid (ES), Morelia (MX), Lala Milk (MX), Cuauhtemoc (MX), Colima (MX), Durango (MX), Piçarrão (BR), Macaé (BR), Huludao (CN), ...

## INVENT® - Belüftungssysteme

Wählen Sie aus einer breiten Palette von **INVENT** Belüftungssystemen das für Ihre Anwendung optimale System. Wir unterstützen Sie bei der Auswahl mit verfahrenstechnischer Kompetenz und langjähriger Erfahrung. Unser Anspruch ist es, zusammen mit Ihnen das für Sie geeignete Belüftungssystem hinsichtlich Funktion, Material und Effizienz zu realisieren.

*i n n o v a t i o n   f o r   n a t u r e*

**IFAT 2014! Wir sind dabei!**  
Halle A2, Stand 319/418

INVENT Umwelt- und Verfahrenstechnik AG • Am Pestalozzing 21  
91058 Erlangen • Fon 0 91 31/ 6 90 98-0 • Fax 0 91 31/ 6 90 98-99 • [Http://www.invent-uv.de](http://www.invent-uv.de)

[www.membraneaerator.com](http://www.membraneaerator.com)

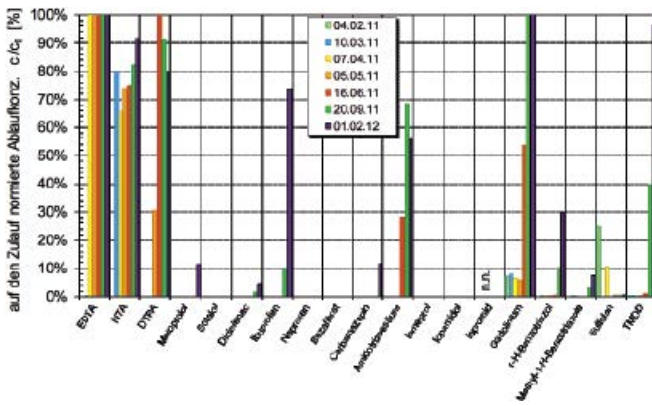


Abb. 8: Auf den Zulauf normierte Spurenstoffkonzentrationen  $c/c_0$  des Filtrats von GA-5 für analysierte Mikroverunreinigungen (n.n. = nicht nachweisbar im Zulauf)

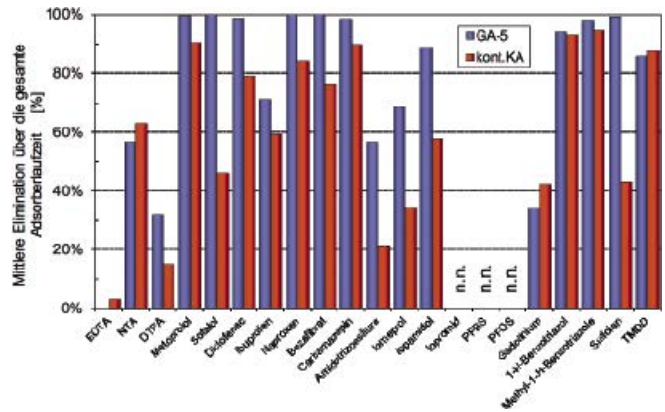


Abb. 9: Über die Gesamtlaufzeit des GA-5 und des kont. KA aus Beschickungsfracht und GAK-Beladung ermittelte Elimination der Spurenstoffe (n. n. = nicht nachweisbar im Zulauf)

net sich eine geringe (NTA, DTPA) bis fehlende (EDTA) Elimination für die Chelat-Komplexbildner sowie für das damit assoziierte Gadolinium ab. Im Mittelfeld für GA-5 mit knapp 60 bis 70 % mittlerer Elimination liegen Amidotrizoesäure, Iomeprol und Ibuprofen. Alle übrigen untersuchten Spurenstoffe erreichen trotz der immensen Konkurrenz durch die als CSB oder TOC erfassten organischen Stoffe mittlere Eliminationen oberhalb von etwa 90 %.

Da für die KA-Versuche nur beim kontinuierlichen Betrieb (kont. KA) ein vollständiger Adsorberlauf mit vollständigem CSB-Durchbruch untersucht wurde, kann auch nur dessen Gesamtbilanz für die Spurenstoffadsorption diskutiert werden. Im Vergleich zum GA-5 liegen zu einem bestimmten durchgesetzten Bettvolumen beim kont. KA die Elimination für nahezu alle Spurenstoffparameter etwas geringer, da mit der um den

Faktor 5 höheren Filtrationsgeschwindigkeit eine entsprechend geringere Verweilzeit im Bett einher geht, die auf die Kinetik des Stofftransports am äußeren Aktivkohlekorn einwirkt. Dies hatte sich bei den Summenparametern TOC und CSB nicht abgezeichnet. Das grundsätzlich zu erwartende Durchbruchverhalten ist beim KA für alle im Zulauf detektierten Spurenstoffe bereits nach 38 Tagen Adsorberlaufzeit (ca. 3700 durchgesetzte Bettvolumina) im Ansatz zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt werden einige Stoffe bereits durch die konkurrierende Adsorption in das Filtrat verdrängt. Doch besteht insbesondere für die Humanpharmaka bis knapp 100 Tage Laufzeit (9100 Bettvolumina) noch ein Aufnahmevermögen, allerdings bei deutlich einbrechender Eliminationsleistung.

Die geringsten mittleren Eliminationen liegen beim kont. KA (Abbildung 9) wie beim GA für die beiden Komplexbildner EDTA

# Unternehmensgruppe



**Schauen Sie vorbei!**  
5. bis 9. Mai 2014  
Halle A4 Stand 501

## Abwasser- und Umwelttechnik

# Innovationen aus einer Hand



■ Werk I Wassertechnik:  
Burgsteinfurter Damm 89  
48485 Neuenkirchen  
Fon 05973/63-01 Fax 05973/63-200  
E-Mail [info@windhoff-wassertechnik.de](mailto:info@windhoff-wassertechnik.de)  
Internet [www.windhoff-wassertechnik.de](http://www.windhoff-wassertechnik.de)



**UWA**  
BETON UND MASCHINENBAU

high end waterdesign

32388 Minden Postfach 3110  
Fon 0571/4045-0 Fax 0571/4045-299  
E-Mail [info@uwa-anlagenbau.de](mailto:info@uwa-anlagenbau.de)

- Hauptverwaltung Minderheideweg 2
- F+E Zentrum Königstraße 414
- Elektrofertigung Königstraße 416



■ Werk II Gastetechnik:  
Trifte 85 32657 Lemgo  
Fon 05261/770 80-0 Fax 05261/77080-50  
E-Mail [info@windhoff-gastetechnik.de](mailto:info@windhoff-gastetechnik.de)

[www.uwa-anlagenbau.de](http://www.uwa-anlagenbau.de)

## Engineering • Maschinenteknik • Elektrotechnik • Service

(3 %) und DTPA (15 %) vor, gefolgt von den Röntgenkontrastmitteln Amidotrizoesäure (22 %) und Iomeprol (35 %). Daran schließen sich auf einem fast einheitlichen Eliminationsniveau (42 bis 47 %) an: Gadolinium (überwiegend komplexiert), das polare Lösungsmittel Sulfolan, der CSB, der Betablocker Sotalol und der TOC. Das nächsthöhere Eliminationsniveau (58 bis 63 %) bilden die Stoffe Iopamidol, Ibuprofen und der Komplexbildner NTA. Besonders gut schneiden Bezafibrat (77 %), Diclofenac (79 %), Naproxen (84 %), TMDD (88 %), Carbamazepin (90 %), Metoprolol (91 %) sowie die Benzotriazole (93 bis 95 %) ab, die im Adsorberzulauf in hohen Konzentrationen vorlagen (Mediane des Zulaufs: 26,4 µg/L 1H-Benzotriazol, 15,6 µg/L Methyl-1H-Benzotriazole, TMDD: 42 µg/L).

Analog zum CSB wurden auch für die Spurenstoffe die spezifischen Filterbeladungen der Adsorber bilanziert, die in Abbildung 10 für den GA anhand exemplarisch ausgewählter Probenahmeterminen dargestellt sind.

Bei allen Parametern mit Ausnahme des EDTA und des Gadoliniums ist noch bis nahezu Laufzeitende eine Beladungszunahme zu erkennen. EDTA durchschreitet bereits im April ein Beladungsmaximum, bevor es anschließend infolge der konkurrierenden Adsorption wieder vollständig in das Filtrat verdrängt wird (der sogenannte „Chromatographie-Effekt“). Die größten Beladungen werden für die Industriechemikalien mit den hohen Zulaufkonzentrationen – mit Ausnahme des EDTA – erzielt. Neben den Benzotriazolen (in Summe 0,81 kg/t) ist hier die Maximalbeladung des TMDD von knapp 1,2 kg/t Aktivkohle hervorzuheben. In dem großtechnischen Adsorber mit 30 t Aktivkohle wurden also – parallel zu anderen Spurenstoffen – vom Spurenstoff TMDD allein knapp 36 kg eliminiert und adsorptiv gespeichert! Die analogen Werte für den kontinuierlich betriebenen KA lagen teil-

weise um ein Mehrfaches höher, was aus den hohen Konzentrationsspitzen an Industriechemikalien im Zulauf zu Beginn der Adsorberlaufzeit resultiert.

### 5 Reaktivierung der Aktivkohle

Anhand von Kernproben aus dem Aktivkohlebett, die am 14. September 2011 nach 4150 durchgesetzten Bettvolumina und einer Laufzeit von 226 Tagen aus unterschiedlichen Bettiefen (Abbildung 11) dem GA-5 entnommen wurden, fand eine Bestimmung der verbliebenen Iodzahl (gemäß ASTM D 4607) statt. Wie erwartet, liegt im unteren Bereich des Filterbettes nahe dem Zulauf die geringste Iodzahl von ca. 550 mg/g vor, was in etwa der Hälfte des Wertes der neuen Aktivkohle (Herstellerangabe: 1100 mg/g) entspricht. Mit geringerer Bettiefe in Richtung Filtratablauf steigen die Iodzahlen dann bis zu einem Wert von ca. 780 mg/g an. Dieser kontinuierliche Anstieg ist ein Indiz dafür, dass eine Bettdurchmischung infolge von Filterspülung nur in geringem Maße stattfindet.

Eine Betrachtung der Schüttdichte der getrockneten Proben zeigt im Vergleich zu unbeladener GAK mit einem Wert von 300 kg/m<sup>3</sup> den Massenzuwachs infolge Beladungszunahme von oben (316 kg/m<sup>3</sup>) nach unten (470 kg/m<sup>3</sup>). Auch dieser sich mit der Filterlaufzeit ausbildende Dichtegradient wirkt stabilisierend auf die Schichtung der GAK.

Die am Ende der Laufzeit von GA-5 (12. April 2012) vollständig ausgebaute GAK wies im Mittel eine Iodzahl von 545 mg/g (bei einer trockenen Schüttdichte von 446 kg/m<sup>3</sup>) auf. Diese konnte durch die Reaktivierung im Drehrohrofen wieder auf einen Wert von 835 mg/g angehoben werden. Verluste am GAK-Schüttvolumen infolge Abbrand, Staubaustrag und Absiebung (die beiden letztgenannten Mengen werden als Pulveraktivkoh-

Wasser- und Abwasserreinigung:    Rührwerke    Rühr- und Begasungssysteme    Membran-Belüftungssysteme    Softwareprodukte    Systemlösungen

INVENT ALPHAMETER® - Innovativ und energiesparend



### Das INVENT ALPHAMETER® - Der neue Standard

Das INVENT ALPHAMETER® ist ein neuartiges Messgerät für die energieeffiziente Regelung von Belüftungssystemen. Das ALPHAMETER® bestimmt über eine Analyse der Abluft kontinuierlich die Sauerstoffausnutzung, den spezifischen Sauerstoffverbrauch und den α-Wert. Diese Vorgehensweise ermöglicht einen

*innovation for nature*

völlig neuen Ansatz für die Regelung des biologischen Prozesses und führt in der Praxis zu hohen Energieeinsparungen. Sprechen Sie uns an!

IFAT 2014! Wir sind dabei!  
Halle A2, Stand 319/418



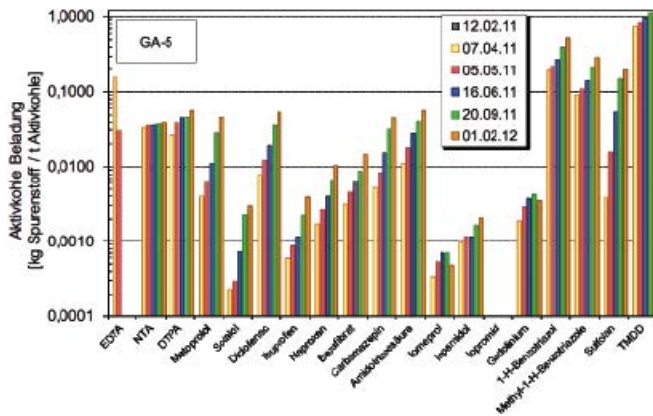


Abb. 10: Bilanzierte spezifische Spurenstoffbeladung des GA-5 bis etwa Laufzeitende

le anderen Verwendungszwecken zugeführt) wurden durch Frischkohle ersetzt. Der Make-up-Anteil betrug 23 Massen-%. Die daraus letztlich resultierende Iodzahl, mit der GA-5 im zweiten Projektabschnitt startete, lag bei 904 mg/g.

## 6 Ergebnisse des zweiten Projektabschnitts

### 6.1 CSB- und TOC-Adsorption

Die betriebswirtschaftlich wichtigste Fragestellung des zweiten Projektabschnitts, dessen Randbedingungen in Abschnitt 3.3 erläutert wurden, betrifft die Veränderung des GAK-Leistungsvermögens infolge der Reaktivierung. Daher wurde die reaktivierte GAK in GA-5R unter den exakt gleichen Randbedingungen betrieben wie die frische GAK in GA-4: Die Filtergeschwindigkeit betrug konstant 2 m/h bei einem intermittierenden Betrieb. Dazu wurden sie zweimal wöchentlich gespült, wobei eine Spülung präventiv vor der Außerbetriebnahme am Samstagmorgen erfolgte, um Faulungseffekten in der Stillstandphase bis zur Wiederinbetriebnahme am Montagmorgen vorzubeugen. Parallel hierzu wurde GA-3 ebenfalls mit frischer GAK befüllt, intermittierend betrieben, jedoch mit variabler Filtergeschwindigkeit wie die übrigen Filter mit dem Filtermaterial Biolit. Fällt bei einer Anzahl aktuell betriebener Filter mit abklingendem Zulaufvolumenstrom die Filtergeschwindigkeit unter 2 m/h, werden sukzessive einzelne Filter außer Betrieb genommen. Steigt der Zulaufvolumenstrom wieder an, führt eine Überschreitung der Fil-

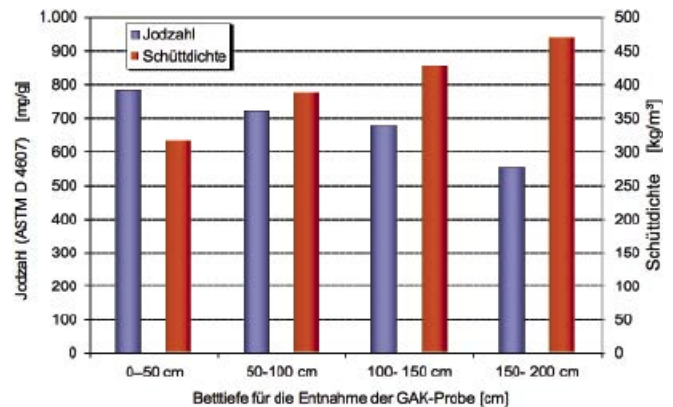


Abb. 11: Gemessene Iodzahl und trockene Schüttdichte der am 14. September 2011 dem GA-5 aus vier verschiedenen Bettiefen entnommenen GAK-Proben

tergeschwindigkeit von 8 m/h zu einer Wiederinbetriebnahme einzelner Filter. Im Projektzeitraum 2 ergab sich dadurch für GA-3 im Mittel eine Filtergeschwindigkeit von 3,6 m/h.

Es wird trotz der Messwertstreuung in Abbildung 12 deutlich, dass der zeitliche Verlauf der CSB-Konzentration im Zulauf der Adsorber eine klare saisonale Abhängigkeit aufweist. GA-4 mit frischer GAK und konstanter Filtergeschwindigkeit erreicht für den CSB die beste Filtratqualität mit den geringsten Konzentrationen. Diese Tendenz bleibt während des gesamten Untersuchungszeitraums erhalten. Die Anfangseliminationsleistung verhält sich ähnlich zu den anderen Adsorbern, wobei sich über einen relativ langen Zeitraum eine konstante Filtratqualität von in der Regel um 15 mg/L nachweisen ließ. Erst ab November (nach 160 Tagen mit Filtrationsbetrieb) wurde ein nahezu linearer Anstieg auf ein Niveau von 40 mg/L im September 2013 gemessen (nach rechnerisch 341 ganzen Tagen mit Filtrationsbetrieb bzw. 7600 durchgesetzten Bettvolumina).

Die CSB-Konzentration im Filtrat von Adsorber GA-5R mit identischer Betriebsweise, jedoch reaktivierter GAK zeigt nach dem ersten Monat einen etwas steileren linearen Anstieg, verläuft aber etwa mit Beginn des Jahres 2013 parallel zur Kurve des GA-4, das heißt mit fast identischer Steigung, aber grob 8 mg CSB/L darüber. Hier wirkt sich die geringere Iodzahl des Reaktivats gegenüber der Frischkohle auf das geringere Leistungsvermögen aus. Am Ende der Laufzeit mit 7300 durchgesetzten Bettvolumina streuen die CSB-Messwerte des GA-5R um 50 mg/L.

# AQUADATA

Regelungen auf Kläranlagen  
- Konzepte - Software - Ausrüstung -

Nitrifikation  
Denitrifikation  
Phosphorelimination  
Schlammbehandlung  
Energiemanagement  
Sonderanwendungen

AQUADATA  
Abwassertechnik GmbH  
Friedrich-Seele-Straße 1b  
38122 Braunschweig  
Tel.: +49 (0) 5 31 / 50 14 52  
Fax: +49 (0) 5 31 / 50 09 07  
E-Mail: info@aquadata.de  
Internet: www.aquadata.de

Grabenlos gut!

IFAT Stand-Nr. B5.411/510, 5. bis 9. Mai 2014

**DIRINGER & SCHEIDEL**  
ROHRSANIERUNG

**D&S**

Aschaffenburg | Dessau | Freiburg  
Herne | Leipzig | Mannheim | München  
Nürnberg | Oldenburg | Saar | Wetzlar  
Frankreich | Italien | Luxemburg | Polen  
www.dus-rohr.de

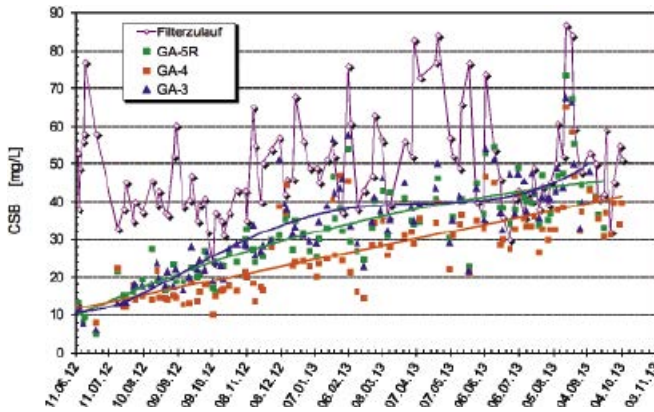


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf des CSB im Zulauf und in den Filtraten der Adsorber (Verfahrensparameter zweiter Projektabschnitt, Tabelle 2)

GA-3 hat im Vergleich aufgrund der variablen Filtergeschwindigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt in etwa das doppelte Volumen durchgesetzt. Daher war zu erwarten, dass der CSB-Verlauf steiler erfolgt und den Kurven der anderen Adsorber „vorausläuft“, was bis zum September 2012 nur im Vergleich zu GA-4, nicht jedoch zu GA-5R der Fall war. Erst danach liegt die CSB-Konzentration bis zu 6 mg/L höher als im Filtrat von GA-5R, nähert sich aber ab Mai 2013 wieder an und erreicht bis zum September 12.300 durchgesetzte Bettvolumina.

Die insgesamt sehr effektive und stabile Eliminationsleistung der GAK gegenüber den Parameter CSB (Abbildung 13) und auch TOC führt am Ende der Filterlaufzeit

- bei GA-5R zu einer Beladung von knapp 420 g CSB/kg GAK (das entspricht 42 Gew.-%) und gut 120 g TOC/kg GAK,
- bei GA-4 zu einer Beladung von gut 550 g CSB/kg GAK und knapp 160 g TOC/kg GAK und
- bei GA-3 zu einer Beladung von gut 630 g CSB/kg GAK und knapp 180 g TOC/kg GAK.

### 6.2 Spurenstoff-Adsorption

Auch für die Adsorberläufe in dem zweiten Projektabschnitt wurden die korrespondierenden Frachten aus Filterbeschickung und Beladungszunahme der Aktivkohle zur Berechnung mittlerer Eliminationen herangezogen. Änderungen am Para-

metersatz des Monitorings erlauben eine Bilanz des breiten Spurenstoffspektrums nur bis ca. 6200 durchgesetzte Bettvolumina (BVT) bei allen Adsorbern (GA-3, G-4 und GA-5R).

Vergleicht man in Abbildung 14 die Elimination der frischen GAK in GA-4 mit der des Reaktivats in GA-5, so sind leichte Leistungseinbußen für fast alle Spurenstoffe erkennbar. GA-4 erzielt fast ausnahmslos Eliminationen im Wertebereich zwischen 90 und 100 %. Als Ausnahme ist die Amidotrizoesäure zu nennen, die bei allen Adsorbern relativ frühzeitig durch Stoffkonkurrenz wieder von GAK verdrängt wurde. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Projektphase 1 (Abbildung 9) für frische GAK mit gleicher Filtrationsgeschwindigkeit jedoch kontinuierlicher Betriebsweise. Die übrigen Röntgenkontrastmittel werden jedoch von GA-4 gut eliminiert, während GA-3 und GA-5R in der Summe keinen Rückhalt zeigen.

Für das Reaktivat in GA-5R ist die geringe Elimination von Ibuprofen (Mittelwert 19 %), Sulfamethoxazol (Mittelwert 46 %) und Mecoprop (Mittelwert 36 %) festzustellen sowie kein Rückhalt gegenüber den Röntgenkontrastmitteln Amidotrizoesäure, Iomeprol, Iopamidol und Iopromid (Abbildung 14).

Die variable und im Mittel höhere Filtergeschwindigkeit von GA-3 bedingt ebenfalls Einbußen bei der Elimination, wie der Vergleich mit den Daten von GA-4 zeigt. Sie weisen keine – wenn man Iopromid mit einem Mittelwert von 100 % ausklammert – Elimination der Röntgenkontrastmittel, von Sulfamethoxazol oder N4-Acetyl-sulfamethoxazol aus. Die Betablocker Atenolol, Bisoprolol, Metoprolol und Sotalol sowie das Korrosionsschutzmittel 1H-Benzotriazol werden im Mittel geringer eliminiert als beim GA-5R. Für alle übrigen Spurenstoffe des Monitorings wird eine gleiche oder etwas bessere Elimination erzielt.

### 7 Berechnung der Betriebskosten

Das beim „5/7-Betrieb“ einer Adsorption resultierende positive Betriebs- und Eliminationsverhalten, das speziell der Elimination hoher Belastung im Kläranlagenzulauf mit ausgeprägten Wochenganglinien durch die Industrie Rechnung trägt, war Anlass dazu, die Übernahme dieser Betriebsweise in den großtechnischen Routinebetrieb im zweiten Projektabschnitt im Jahr 2012 zu übernehmen. Für industriebürtige Spurenstoffe treten beim „5/7-Betrieb“ im Vergleich zu einem kontinuierlichen Betrieb kaum Einbußen bei der mittleren Elimination (gemäß Abbildungen 9 und 14) auf. Die Elimination von Spurenstoffen ohne aus-

# AEROSTRIP®

Streifenbelüfter von AQUACONSULT

Besuchen Sie uns  
auf der IFAT 2014!

**Halle A3  
Stand 139**

**UNERREICHT IN EFFIZIENZ  
UND LANGLEBIGKEIT**

[www.aerostrip.at](http://www.aerostrip.at)



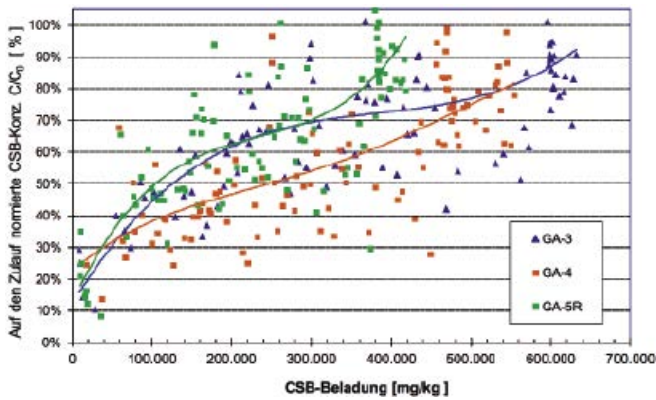


Abb. 13: Auf den Zulauf normierte CSB-Konz.  $c/c_0$  in den Filtraten der Adsorber in Abhängigkeit von der CSB-Beladung (Verfahrensparameter zweiter Projektabschnitt, Tabelle 2)

geprägte Wochenganglinien verändert sich in der Gesamtbilanz dann mit dem Faktor 5/7 (Abnahme um 28 %).

Bei der Berechnung der Betriebskosten (Nettoangaben) treten folgende Basisparameter auf

- der verbandsspezifische Ansatz von 0,16 €/kWh für elektrische Energie (der Energiebedarf von Pumpen und Gebläse wurde gemessen),
- der verbandsspezifische Ansatz von 40 000 €/a für Mitarbeiterjahre (Management der Verfahrensstufe: Überwachung inklusive Zeit für Routineanalytik, Befüllung, Be-

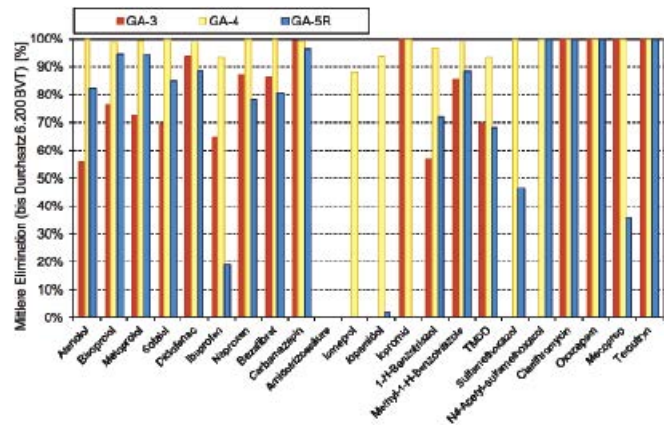


Abb. 14: Über eine Laufzeit von GA-3, GA-4 und GA-5R bis zu etwa 6200 durchgesetzten Bettvolumina aus Beschickungsfracht und GAK-Beladung ermittelte Elimination der Spurenstoffe

trieb, Analysen, Administration und Begleitung des Aktivkohleaustauschs),

- ein marktüblicher Ansatz von 1100 €/t für die Reaktivierung granulierter Aktivkohle inklusive Ersatz des Abbrandverlustes (Make-up) und Transporte,
- ein marktüblicher Ansatz von 1700 €/t für frische granulierte Aktivkohle inklusive Transport,
- als Verfahrensparameter die 5/7-Betriebsweise von Montag bis Freitag,
- als Verfahrensparameter die versuchstechnisch ermittelte und konservativ gewählte Anzahl maximal durchgesetzter

# ECOMONDO

a platform for the sustainable growth

05.-08.  
NOVEMBER 2014  
RIMINI - ITALIEN

18. Internationale Fachmesse  
für Recycling und Energie  
und nachhaltige Entwicklung



Zeitgleich mit:



www.keyenergy.it



www.cooperambiente.it



Organisiert von:



Unter der Schirmherrschaft von:



Für jegliche Information oder Anfragen zu Eintrittskarten aus den deutschsprachigen Ländern wenden Sie Sich an:  
Italienische Handelskammer für Deutschland - Frau Raffaella Saviori - Tel. +49 69 97145221 rsaviori@itkam.org

Bettvolumina unter den jeweiligen Randbedingungen, bis die CSB-Elimination etwa mit der eines Biofor-Filters identisch ist, obwohl im Gegensatz zum Biofor-Filter CSB-Spitzen auch dann immer noch abgefangen werden.

Das bedeutet für

- frische GAK und variable  $v_f=2$  bis 8 m/h (wie GA-3): 8000 BVT,
- frische GAK und konstant  $v_f=2$  m/h (wie GA-4): 9000 BVT,
- reaktivierte GAK und konstant  $v_f=2$  m/h (wie GA-5R): 6000 BVT.

Ausgehend von einer mittleren Elimination von zum Beispiel 85 % für die Leitparameter Diclofenac und Carbamezipin erscheinen auf der Basis der Messdatenverläufe beim AOL [1, 2] und ihrer Extrapolation die nachfolgenden höheren Bettvolumina erreichbar

- frische GAK und variable  $v_f = 2$  bis 8 m/h: 13 000 BVT,
- frische GAK und konstant  $v_f=2$  m/h (wie GA-4): 14 000 bis 16 000 BVT,
- reaktivierte GAK und konstant  $v_f = 2$  m/h: 8 000 bis 12 000 BVT.

Für den Fall der zukünftig geplanten Betriebsweise mit Filtergeschwindigkeiten zwischen 2 und 8 m/h (im Mittel 3,6 m/h) und „5/7-Betrieb“ wird nachfolgend beispielhaft die Standzeit der granulierten Aktivkohle berechnet.

**Annahmen (beispielhaft für eine Betriebsweise analog zu der von GA-3):**

- Filterbetthöhe  $h = 2,5$  m
- Filterfläche, 1 Zelle  $A = 40$  m<sup>2</sup>
- Oberflächenbeschickung  $q = 3,6$  m/h
- Bemessungsrelevanter Volumenstrom  $Q = 3,6$  m/h · 40 m<sup>2</sup> = 144 m<sup>3</sup>/h

**Aktivkohleverbrauch je Filter und Jahr:**

- Durchgesetzte Bettvolumina (BVT) je Betriebsstunde = 144 m<sup>3</sup>/h / (40 m<sup>2</sup> · 2,5 m) = 1,44 BVT/h
- Filtrationszeit je Monat mit 4,33 Wochen und 5 Betriebstagen je Woche = 4,33 · 5 · 24 = 520 h
- Durchgesetzte Bettvolumina = 1,44 BVT/h · 520 h/Monat = 749 BVT/Monat
- GAK-Beladungskapazität (CSB) = 8000 BVT
- Periode GAK-Austausch 8000 BVT / (749 BVT/Monat) = 10,7 Monate  
15 000 BVT / (749 BVT / Monat) = 20,0 Monate

Analoge Ansätze können für die übrigen untersuchten Betriebsweisen für die GAK-Filter gemacht werden. Berechnet man auf dieser Basis die spezifischen Kosten für das mittels Adsorption aufbereitete Wasser, so ergibt sich unabhängig von der im zweiten Projektabschnitt gewählten Betriebsweise



**TCP/IP-WEB-Connector**

**„Intelligente Fernwirktechnik und vielseitiges Gateway“**



**Typ 1xCOM**

- preiswert
- geringer Platzbedarf
- 2x LAN-Anschluss
- optimiert für Micro-SPS
- Energie-Management

**Kostengünstige Übertragung mit TCP/IP über**

- Mobilfunk (GPRS, EDGE, UMTS, LTE)
- DSL, analoge und digitale Standleitungen

**Sicher, leistungsfähig, bewährt**

- bewährte Technik – seit 2004 im weltweiten Einsatz
- Datenpufferung mit Zeitstempel, nach ATV-DWK M207
- Datenübertragung zeit- oder ereignisgesteuert
- vielseitiges Redundanzkonzept
- Netzwerksicherheit durch VPN-Technologie

**Flexibel und herstellernerneutral**

- Problemlose Ankopplung ohne zusätzliche Hardware an SPSen von Siemens, Schneider, ABB, WAGO u. weitere
- Einfache Anbindung der Leittechnik über OPC oder IEC
- Kurze Inbetriebnahmezeiten, völlig fernparametrierbar
- flexible Störmelde- und Überwachungsfunktionen, SMS-Alarmierung, Querverkehr ohne Zentrale

**Bestandsschutz**

- ältere SPS-Steuerungen oder Leitsysteme lassen sich nahtlos in ein neues Fernwirkkonzept integrieren
- Ersatz von Stand- und Mietleitungen

**Energiemanagement**

- universeller Einsatz 1xCOM zur Energiedatenerfassung

**Baade GmbH**

Tel.: 0 48 72 / 90 11 4  
E-Mail: info@baade-gmbh.de  
www.baade-gmbh.de

**Baade M2M-Solutions GmbH**

Tel.: 0 64 34 / 90 74 43  
E-Mail: info@bm2m.de  
www.bm2m.de



**IFAT 2014, Halle A3, Stand 119/218**  
Neue Messe München  
05. - 09. Mai 2014

ein Wert von 0,09 €/m<sup>3</sup> (brutto). Der Preisvorteil einer Reaktivierung (inklusive Make-up) gegenüber frischer Aktivkohle wird durch die Unterschiede bei der Adsorptionskapazität nahezu vollständig kompensiert. Die jährlichen Betriebskosten (brutto) für einen GAK-Filter mit der Betriebsweise wie GA-4 oder GA-5R liegen dann bei etwa 47000 Euro/Jahr. Eine Betriebsweise wie bei GA-3 mit variabler Filtergeschwindigkeit ermöglicht ein jährlich höheres durchgesetztes Wasservolumen, erhöht jedoch die Austauschfrequenz. Die hierzu berechneten jährlichen Betriebskosten (brutto) liegen bei etwa 84000 Euro/Jahr.

## 8 Fazit und Ausblick

Der Versuchsbetrieb von Adsorbern mit granulierter Aktivkohle beim Verbandsklärwerk „Obere Lutter“ in beiden Projektabschnitten hat gezeigt, dass

- derartige Adsorber ein stabiles und praxistaugliches, das heißt störungsfreies Betriebverhalten aufzeigen,
- Befüll- und Entleerungsprozesse der Filterzellen mit granulierter Aktivkohle hydraulisch erfolgen können und damit wenig personalintensiv sind,
- eine CSB- und TOC-Elimination realisiert wurde, die im Mittel eines Adsorberlaufs (das heißt unter vollständiger Nutzung der Adsorptionskapazität) 45 %, bei geringerer Laufzeit auch wesentlich mehr beträgt,
- organische Spurenstoffe – je nach ihren spezifischen Eigenschaften – mit einer mittleren Eliminationsleistung für einen Adsorberlauf von bis zu 95 % entfernt werden konnten,
- bei einzelnen sehr polaren organischen Spurenstoffen die mittlere Elimination eher gering ist, im extremen Einzelfall wie zum Beispiel bei EDTA sogar mit Null ermittelt wurde,
- insbesondere bei einzelnen industriebürtigen Spurenstoffen enorm hohe Beladungen der Aktivkohle möglich sind,
- Standzeiten der granulierten Aktivkohle im intermittierenden Betrieb (5/7 Tagen) bis zur Erschöpfung des CSB-Rückhaltes von 9 (variable Filtrationsgeschwindigkeit) bis knapp 20 (konstante Filtrationsgeschwindigkeit) Monaten erreichbar sind und
- mit Betriebskosten von etwa 0,09 €/m<sup>3</sup> (brutto, abzüglich Einsparung bei der Abwasserabgabe beim Parameter CSB) zu rechnen ist.

Damit liegen die Betriebskosten im eher unteren Bereich vergleichbarer Anlagen [3–6]. Die Ergebnisse waren in ihrer Gesamtheit derart positiv, dass der AOL sukzessive beschloss, Zug um Zug weitere Filterkammern (aktuell sind es fünf) zu Adsorbern umzurüsten und somit

- erstmalig unter Einweihung der Anlage durch den nordrhein-westfälischen Umweltminister Johannes Remmel einen Routinebetrieb mit granulierter Aktivkohle aufzunehmen und
- diesen Routinebetrieb mithilfe wissenschaftlicher Begleitung auch weiterhin dazu zu nutzen, noch offene Fragen zu beantworten (zum Beispiel Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch ein nachhaltiges Management der Reaktivierungen, CO<sub>2</sub> Bilanzierung). Denn bei dem angestrebten Ziel, die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens durch das Erreichen längerer Standzeiten bzw. höherer durchgesetzter Bettvolumina zu steigern, ist dem einhergehende Verlust an rückge-

winnbarer Iodzahl bei der Reaktivierung Rechnung zu tragen.

## Literatur

- [1] Benstöm, F., Nahrstedt, A., Rolfs, T.: Filtration über granuliert Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination, DWA-Seminar „Spurenstoffelimination auf Kläranlagen – Notwendigkeiten, Verfahren, Kosten“, Siegburg, 14. November 2013
- [2] Nahrstedt, A., Alt, K.: Erfahrungen mit der Anwendung von granulierter Aktivkohle, DWA-Seminar „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Strategie für Bayern“, Augsburg, 24. Februar 2014
- [3] Pinnekamp, J., Benstöm, F.: Übersicht über die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Anwendung von Aktivkohle auf kommunalen Kläranlagen, Kölner Kanal- und Kläranlagenkolloquium, 2012
- [4] Alt, K., Barnscheidt, I.: Kosten zum Einsatz von Aktivkohle in bestehenden Flockungsfiltrationsanlagen, *Korrespondenz Abwasser* 2012, 59 (1), 28–35
- [5] Alt K., Kuhlmann S.: Energiebedarf und Kosten der Spurenstoffelimination, DWA-Workshop „Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, Bielefeld, 3. Juli 2013
- [6] Nahrstedt, A., Burbaum, H., Alt, K., Barnscheidt, I.: Adsorption am Aktivkohlefestbett zur CSB- und Spurenstoffelimination, in: Pinnekamp, J. (Hrsg.): Schriftenreihe Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, Band 224: 38. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 14. bis 16. März 2012 in Essen, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., 2012

## Autoren

*Dr.-Ing. Andreas Nahrstedt*  
 IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
 Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH  
 Moritzstraße 26  
 45476 Mülheim an der Ruhr

*E-Mail: a.nahrstedt@iww-online.de*

*Dipl.-Ing. Hubert Burbaum*  
 Abwasserverband „Obere Lutter“  
 Niehorster Straße 254, 33334 Gütersloh

*E-Mail: Hubert.Burbaum@obere-lutter.de*

*Dr.-Ing. Christian Mauer, Dipl.-Ing. Klaus Alt*  
 Hydro-Ingenieure GmbH Planungsgesellschaft  
 für Siedlungswasserwirtschaft  
 Stockkampstraße 10, 40477 Düsseldorf

*E-Mail: klaus.alt@hydro-ingenieure.de*

*Dipl.-Ing. Jürgen Fritzsche*  
 Jacobi Carbons GmbH  
 Feldbergstraße 21, 60323 Frankfurt am Main

*E-Mail: juergen.fritzsche@jacobi.net*

*Dipl.-Ing. Thomas Sürder*  
 Bezirksregierung Detmold  
 Anlagenbezogener Umweltschutz  
 Sachgebiet Kommunale Abwasseranlagen  
 Büntestraße 1, 32427 Minden

*E-Mail: thomas.suerder@bezreg-detmold.nrw.de*

