

## Kurzbericht zum Forschungsvorhaben

# "CSB- und Spurenstoffadsorption am Aktivkohlefestbett – Teil 2"

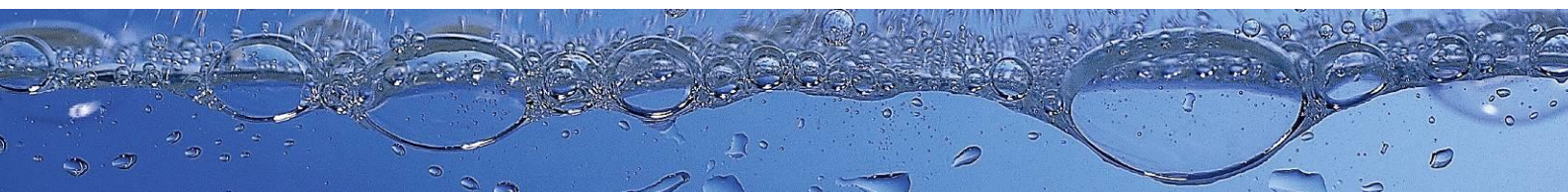
beim AOL - Abwasserverband „Obere Lutter“

für das:

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



September 2014



## Bearbeitung / Projektpartner

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser  
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH  
Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr

---

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für  
Siedlungswasserwirtschaft mbH  
Stockkampstraße 10  
40477 Düsseldorf  
[www.hydro-ingenieure.de](http://www.hydro-ingenieure.de)

---

Jacobi Carbons GmbH  
Feldbergstraße 21  
60323 Frankfurt am Main  
[www.jacobi.net](http://www.jacobi.net)

---

Bezirksregierung Detmold  
Leopoldstr. 15  
32756 Detmold  
[www.bezreg-detmold.nrw.de](http://www.bezreg-detmold.nrw.de)

---

Abwasserverband „Obere Lutter“  
Niehorster Str. 254  
33334 Gütersloh  
[www.obere-lutter.de](http://www.obere-lutter.de)

**Bearbeitungszeitraum:** August 2012 bis September 2014



A solid orange vertical bar is located on the left side of the page.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Hintergrund</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Das Verbandsklärwerk „Obere Lutter“</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Ziele des Projekts</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Verfahrenstechnischer Ansatz</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für den Betrieb einer zukünftigen Adsorptionsstufe mit Aktivkohle</b>	<b>6</b>

## 1 Einleitung und Hintergrund

In den Jahren 2011 bis Frühjahr 2012 wurde im Rahmen des ersten Projektteils, das ebenfalls vom MKULNV des Landes NRW gefördert wurde, die Spurenstoffadsorption an granulierter Aktivkohle (GAK) vom Typ AquaSorb 5000 (Jacobi Carbons Frankfurt) im Festbett halb- und großtechnisch untersucht, um diese für die Abwassertechnik neue Technologie auf ihre Eignung in Hinsicht auf Effektivität, Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit zu testen. Das Verbandsklärwerk „Obere Lutter“ eignete sich für ein derartiges F+E-Vorhaben in besonderer Weise, da

- es für ein kommunales Klärwerk einen hohen industriellen Abwasseranteil von etwa 65 % aufweist,
- ein Teil der angeschlossenen Industrie zudem stark belastete Abwässer mit ausgeprägten Spurenstoffspitzen einleitet, so dass Parameter wie CSB, BSB5, Phosphor und Stickstoff im unbehandelten Abwasser mit besonders hohen Messwerten auftreten und
- das Verbandsklärwerk des AOL zwei verfahrenstechnische Besonderheiten aufweist:
  - eine Verfahrensstufe mit Festbettdenitrifikation, die ein Filtrat erzeugt, dessen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) unter den üblichen Nachweisgrenzen liegt,
  - gefolgt von einer weiteren Verfahrensstufe zur Flockungsfiltration, an der einzelne Filterkammern (Großfilter GF) zu Festbettadsorbern (Großadsorber GA) umrüstbar waren/sind, um die Ablaufwerte für die Parameter CSB, BSB5, DOC und die Konzentration an organischen Spurenstoffen zu reduzieren.

Insbesondere aus dem Versuchsbetrieb des großtechnischen Adsorbers im ersten Projekt ließ sich nach 14,5 Monaten ununterbrochener Betriebsweise schlussfolgern, dass die Festbettadsorption ein sehr effektives und großtechnisch praktikables sowie vollkommen störungsfreies Reinigungsverfahren für Abwasser darstellt. Die notwendigen periodischen Spülungen der Adsorber zum Trübstoffaustrag hatten aus praktischer Sicht keine negativen Auswirkungen auf das Adsorptionsverhalten. Verbackungen oder Verluste von Aktivkohle traten nicht auf. Daher entschloss sich der AOL, den Ausbaugrad der Adsorptionsstufe auf drei Adsorber innerhalb des hier vorgestellten zweiten Projektes zu erweitern, um mit diesen den Routinebetrieb aufzunehmen, dessen Startschuss Herr Minister Remmel am 14.11.2012 gab.

Da auch die fortlaufend in diesem Projekt ermittelten Ergebnisse als sehr gut und zielführend einzustufen waren, entschloss sich der AOL dann sogar zu einem weiteren Ausbau der Adsorptionsstufe, mit der er nun 5 von 10 Kammern der Flockungsfiltration als Adsorber betreibt.

## 2 Das Verbandsklärwerk „Obere Lutter“

Der Abwasserverband „Obere Lutter“ (AOL) ist ein Wasser- und Bodenverband im Sinne des Wasserverbandsgesetzes vom 12.02.1991. Gegründet wurde er am 19.01.1965. 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, Abwasser in den verbandseigenen Sammlern aus den Mitgliedsgemeinden abzuleiten und in dem 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 (90.000 Einwohner und 290.000 Einwohnergleichwerte). Angeschlossen sind zurzeit ca. 75.000 Einwohner und 110.000 Einwohnergleichwerte. Bei Trockenwetter wird eine Abwassermenge von ca. 18.000 m<sup>3</sup>/Tag gereinigt. Das gereinigte Abwasser wird in die Obere Lutter, einem Nebenfluss der Ems, eingeleitet.

Die Abwasserbehandlung des AOL besteht aus folgenden Reinigungsstufen:

- Siebrechenanlage (Stufenrechen) mit nachgeschalteten (5) Kanalpumpen
- belüfteter Sandfang mit Fettfangkammern
- Vorklärung
- 1. biologischer Stufe mit Zwischenklärung
- 2. biologischer Stufe mit Nachklärung
- Festbettdenitrifikation als 3. biologischer Stufe
- Flockungsfiltration (Biofor-Stufe) mit parallel betriebenen 10 Kammern von jeweils 40,5 m<sup>2</sup> Filtrationsfläche, von denen einzelne mit granulierter Aktivkohle gefüllt und zu Festbettadsorbern umgerüstet wurden
- Schönungsteiche

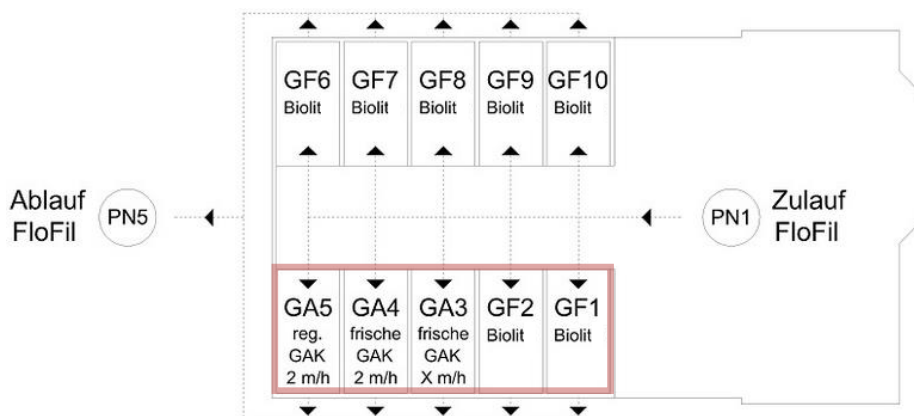
### 3 Ziele des Projekts

Die IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH (IWW) wurde mit der Spurenstoffanalytik und der wissenschaftlichen Begleitung des gesamten F+E-Vorhabens beauftragt, in dem folgende Fragen zu beantworten sind:

- Wie unterscheidet sich die Adsorptionsleistung der frischen von der reaktivierten Aktivkohle?
- Wie unterscheidet sich die Adsorptionsleistung des nun intermittierenden vom kontinuierlichen Betrieb eines Großadsorbers (Vergleichsdaten erstes Teilprojekt)?
- Nach wie vielen Bettvolumina und bei welcher CSB-Beladung oder TOC-Beladung muss mit einem Durchbruch des CSB/TOC bzw. mit Durchbrüchen von organischen Mikroverunreinigungen gerechnet werden?
- Wie beeinflusst im Kontext dieser Ergebnisse die Reaktivierung der beladenen Aktivkohle die Kosten und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens?
- Tauchen im Routinebetrieb weitere Faktoren auf, welche Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens nehmen?
- Welche Parameter sind signifikant für die zu erwartende Adsorptionsleistung beider Aktivkohlen (Frischkohle/Reaktivat) gegenüber CSB bzw. TOC und welche gegenüber einzelnen Spurenstoffen?
- Welche Energieeffizienz weist die Festbettadsorption beim Einsatz von Frischkohle auf und welche im Zuge der Reaktivierung?
- Welchen Carbon-Footprint verursachen der Einsatz von Frischkohle und welchen die Reaktivierung (inklusive so genannter Make-up-Kohle, d. h. mit Frischkohle ergänzter Fehlmengen, die infolge Abbrand auftreten)?
- Welche Filtergeschwindigkeiten bzw. Aufenthaltszeiten (Leerbett-Kontaktzeiten) sind günstig zur Verringerung des CSB, des PO<sub>4</sub>-P sowie der Spurenstoffe?

## 4 Verfahrenstechnischer Ansatz

Die Verfahrensstufe zur Flockungsfiltration des AOL (Typ Biofor, Aufstromfiltration) besteht aus insgesamt 10 geometrisch identischen Filterkammern, die mit dem feststoffarmen Ablauf der Festbettdenitrifikation im Aufstrom beschickt werden. Einen Lageplan der Kammern innerhalb der gesamten Verfahrensstufe zeigt Abbildung 1. Kammer Nr. 5 wurde bereits in Teilprojekt 1 zu einem Adsorber mit granulierter Aktivkohle (GA-5, Filterfläche 40 m<sup>2</sup>, Betttiefe 2,5 m, Bettvolumen 100 m<sup>3</sup>) umgerüstet und mit Erfolg betrieben. Zum Start dieses Projektteils 2 kamen noch die beiden Adsorber GA-4 und GA-3 hinzu. Die insgesamt gute Eignung im Betriebsalltag und die gute Leistungsfähigkeit führten dann zum Jahreswechsel 2014 zu der Umrüstung von nochmals 2 Kammern (GF-2 zu GA-2 und GF-1 zu GA-1), so dass aktuell die halbe Filtrationsstufe mit parallel agierenden Adsorbern betrieben wird (Filterkammern im farbigen Rahmen der Abbildung 1).



**Abbildung 1: Übersicht über die in das F+E-Vorhaben eingebundenen Filterkammern Nr. 3 bis 5 (GA-3, GA-4 und GA-5: Adsorptionsfilter mit GAK) sowie Nr. 6 als Vergleich (GF-6: Flockungsfilter mit Biolit)**

Der geometrische Betaufbau ist bei allen Adsorbern identisch: Auf dem mit Filterdüsen und Luftverteilungsrohren bestückten Düsenboden wurde eine 0,5 m hohe Stüttschicht aus einer grob granulierten Aktivkohle (Jacobi AquaSorb 5000, Korndurchmesser 4x10 Mesh entspr. 2,0 - 4,75 mm) aufgebracht, die ein 2,0 m hohes Festbett des gleichen Aktivkohletyps, jedoch in feinerer Körnung (Jacobi AquaSorb 5000, Korndurchmesser 8x30 Mesh entspr. 0,63 - 2,36 mm) trägt. Die grobe Körnung auf den Düsenköpfen wurde so bemessen, dass einen Durchtritt von Feinkorn der Aktivkohle durch den Düsenboden während der Filterspülung (zweimal wöchentlich) und der Filtration verhindert wird. Die eingebrachten feinen Aktivkohlen der oberen 2 m des Filterbetts sind grundsätzlich vom selben Typ, wurden zum Teil jedoch zuvor eingesetzt (GA-5), nach Erschöpfung der Adsorptionskapazität ausgebaut, reaktiviert und wieder eingebracht.

Die Inbetriebnahme aller Adsorptionsfilter fand am 12.06.2012 statt. Wie der Kurzübersicht zu den Varianten der untersuchten Filter/Adsorber in Tabelle 1 zu entnehmen ist, wurde GA-4 zwar mit einer konstanten Filtergeschwindigkeit von 2 m/h (Leerbettkontaktzeit = 75 min) beschickt, jedoch im Wochenverlauf an den 5 von 7 Wochentagen (Sollvorgabe) mit deutlich erhöhten Abwasseranteilen aus der Industrie intermittierend betrieben (im Mittel 5,2 Betriebstage je Woche). GA-5 mit Reaktivat wurde mit dem Ziel des direkten Vergleichs zu GA-4 identisch gefahren. Die Spülfrequenz der beiden Adsorber wurde dabei auf 2 je Woche angehoben: Vor der Stillstandsphase an

den Wochenenden wurde eine zusätzliche Spülung durchgeführt, um mit der Entfernung eingelagerter Trübstoffe Faulungseffekte auszuschließen.

**Tabelle 1: Verfahrensvarianten der untersuchten Adsorber und Filter**

Filterzelle Nr.	Kurzbez.	GAK-Typ / Filtermaterial	Filtergeschwindigkeit	EBCT	Betriebszeit
3	GA-3	Frischkohle AquaSorb 5000 Jodzahl = 1.100 mg/g	dynamisch 2 bis 8 m/h Ø 3,6 m/h	variierend Ø 42 min	12.06.2012 – 06.09.2013 intermittierend
4	GA-4	Frischkohle AquaSorb 5000 Jodzahl = 1.100 mg/g	konstant 2 m/h	konstant 75 min	12.06.2012 – 04.10.2013 intermittierend
5	GA-5	Reaktivat + Make-up (AquaSorb 5000) Jodzahl = 925 mg/g	konstant 2 m/h	konstant 75 min	12.06.2012 – 18.09.2013 intermittierend
6	GF-6	Biolit	dynamisch 2 bis 8 m/h	variierend Ø 42 min	fortlaufend kontinuierlich

Während der hydraulische Ein- und Ausbau der Aktivkohle in Teilprojekt 1 noch mit fliegenden Leitungen (Schlauch mit Storz-A-Kupplung) erfolgte, wurden im zweiten Teilprojekt Befüll- und Entleerungsleitungen aus Edelstahl in die Adsorptionsfilter eingebaut. Auch eine Entnahmeleitung des vor Ort notwendigen Treibwassers für die hydraulische Förderung wurde an der äußeren Stirnseite der Filter angebracht, was den Aktivkohleumschlag im Routinebetrieb wesentlich beschleunigen konnte. Details und Videos hierzu gibt es auf der projekteigenen Homepage unter der URL:

<http://www.mikroverunreinigungen.de/obere-lutter/>.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Alle großtechnischen Adsorber (GA-3 bis GA-5) erzielen eine gute CSB- und TOC-Elimination von anfänglich 80 bis 90 % (anfänglich in den Filtraten: CSB um 10 mg/l; TOC ca. 1-3 mg/l), die mit der Anzahl durchgesetzter Bettvolumina abnimmt.
- Die auch insgesamt sehr effektive und stabile Eliminationsleistung der GAK gegenüber den Parameter CSB und TOC führt am Ende der Filterlaufzeit
  - bei GA-3 nach 11.454 durchgesetzten Bettvolumina zu einer Beladung von gut 630 g CSB/kg GAK (mittlere CSB-Elimination von 31 %) und knapp 180 g TOC/kg GAK (mittlere TOC-Elimination von 27 %).
  - bei GA-4 nach 6.024 durchgesetzten Bettvolumina zu einer Beladung von gut 550 g CSB/kg GAK (mittlere CSB-Elimination von 45 %) und knapp 160 g TOC/kg GAK (mittlere TOC-Elimination von 39 %) und
  - bei GA-5 nach 6.156 durchgesetzten Bettvolumina zu einer Beladung von knapp 420 g CSB/kg GAK (bei einer mittleren CSB-Elimination von 35 %) und gut 120 g TOC/kg GAK bei einer mittleren TOC-Elimination von 32 %),

- Nahezu alle untersuchten Spurenstoffe wurden in GA-4 und GA-5 in den ersten Betriebswochen zwischen etwa 90 und 100 % eliminiert mit Ausnahmen bei den folgenden Stoffen:
  - bei GA-4: Gadolinium (77 %) und EDTA (64 %)
  - bei GA-5: Gadolinium (75 %), EDTA (611 %), NTA (18 %), Benzotriazole (71 – 76 %), Amidotrizesäure (86 %), lomeprol (84 %),
- Für GA-3 mit der schnelleren und variierenden Filtergeschwindigkeit und somit auch mit der höheren Anzahl durchgesetzter Bettvolumina zu einem bestimmten Probenahmezeitpunkt fallen dieser Ergebnisse etwas geringer aus.
- Die insgesamt erzielte mittlere Elimination der einzelnen Adsorber ist Tabelle 2 zu entnehmen.

**Tabelle 2: Im Projektzeitraum erzielte mittlere Elimination der drei Adsorber für bestimmte im Projekt untersuchte organische Spurenstoffe**

			mittlere Elimination in %		
Adsorber:			GA-3	GA-4	GA-5
Komplexbildner	EDTA	[µg/kg]	0,0	0,0	0,0
	NTA	[µg/kg]	0,0	0,0	0,0
	DTPA	[µg/kg]	0,0	0,0	0,0
Betablocker	Atenolol	[µg/kg]	43,6	100,0	90,5
	Bisoprolol	[µg/kg]	69,5	99,0	95,7
	Metoprolol	[µg/kg]	81,1	99,7	95,4
	Sotalol	[µg/kg]	75,1	100,0	89,7
med. Gruppe Humanphar	Diclofenac	[µg/kg]	93,6	98,8	90,7
	Ibuprofen	[µg/kg]	51,5	96,6	36,8
	Naproxen	[µg/kg]	92,0	100,0	82,0
	Bezafibrat	[µg/kg]	90,0	100,0	86,0
	Carbamazepin	[µg/kg]	93,9	99,5	97,6
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizesäure	[µg/kg]	0,0	36,9	7,6
	lomeprol	[µg/kg]	0,0	0,0	0,0
	Iopamidol	[µg/kg]	35,4	98,0	59,2
	Iopromid	[µg/kg]	100,0	0,0	0,0
	Gadolinium	[µg/kg]	18,4	0,0	0,0
Benzotriazol(metabolite)	1-H-Benzotriazol	[µg/kg]	56,9	97,6	80,1
	Methyl-1-H-Benzotriazole	[µg/kg]	75,6	99,1	91,2
Sulfamethoxazol(derivate)	Sulfamethoxazol	[µg/kg]	0,0	92,2	65,6
	N4-Acetyl-sulfamethoxazol	[µg/kg]	100,0	100,0	100,0
Antibiotika	Clarithromycin	[µg/kg]	84,7	100,0	100,0
Oxazepam	Oxazepam	[µg/kg]	69,2	100,0	100,0
Zuckerersatzstoffe	Acesulfam	[µg/kg]	0,0	0,0	6,5
	Sucralose	[µg/kg]	11,8	96,9	66,6
Herbizide	Mecoprop	[µg/kg]	55,0	100,0	46,9
	Terbutryn	[µg/kg]	93,2	100,0	100,0
TMDD	TMDD	[µg/kg]	73,4	95,3	77,4
Anzahl durchgesetzter Bettvolumina :			11.454 BVT	6.024 BVT	6.156 BVT



Der laufende Betrieb von derzeit bereits 5 GAK-Zellen kann hinsichtlich seiner Tauglichkeit und Anforderungen im Vergleich zu den 5 Filterzellen der konventionellen Flocculationsfiltration als gleichwertig bzw. ähnlich unproblematisch betrachtet werden.

- Der Zeitaufwand für das Abholen der erschöpften GAK wurde vom AOL als Betreiber mit 3 x 5 Std. und die Befüllung mit reaktivierter GAK mit 3 x 3 Std. je Filter und Jahr veranschlagt.
- Die Einarbeitung in die neuen Aufgabe bei der GAK-Adsorption wurde vom Betriebspersonal beim AOL in kurzer Zeit ohne deutlichen Zusatzaufwand vollzogen. Insbesondere ist kein zusätzliches Betriebspersonal für den Bereich der 4. Reinigungsstufe eingestellt bzw. notwendig geworden.
- Die Umrüstung der Filterkammern (Durchflussmessung und –regelung, Aktivkohle inkl. Anlieferung und Aus-/Einbau) schlug mit netto 81.000 €/Adsorber zu Buche.
- Die erzielte Rückhaltung von CSB, TOC und der untersuchten Spurenstoffe geben dazu Anlass, die durchsetzbaren Bettvolumina bis zu einer Reaktivierung der Aktivkohle für GA-3 auf 7.000 BVT zu begrenzen, für GA-5 auf 6.000 BVT zu begrenzen und durch Extrapolation der Messdaten für GA-4 auf etwa 9.000 BVT zu erweitern.
- Berechnet man auf dieser Basis die Betriebskosten mit den Beschaffungskosten der Aktivkohle, mit Energiekosten von netto 0,16 €/kWh und Personalkosten mit netto 40.000 € je Person und Jahr für eine zukünftige Adsorberstufe, so resultieren einheitlich 0,09 bis 0,10 €/m<sup>3</sup> aufbereitetes Wasser. Der Preisvorteil beim Einsatz von Reaktivat (netto 1.100 €/t) gegenüber einer Frischkohle (netto 1.700 €/t) wird durch die unterschiedlichen Bettvolumina bis zur Erschöpfung kompensiert.
- Die gesamten spezifischen Treibhausgas-Emissionen mit allen Energie- und Materialmengen wurden berechnet. Emissionen der elektrischen Energie wurden zu 60 % dem Strom aus dem öffentlichen Netz (mit 0,544 kg CO<sub>2</sub>e/kWh) und zu 40 % dem Strom durch Eigenerzeugung aus Faulgas (mit 0,0058 kg CO<sub>2</sub>e/kWh) zugeordnet. Die gesamte Emissionen der Adsorber GA-3 und GA-4 (mit Frischkohle) lagen bei 329 bzw. 260 g CO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup> und die von GA5 (mit Reaktivat) deutlich geringer mit 186 g CO<sub>2</sub>e / m<sup>3</sup>.

## 6 Empfehlungen für den Betrieb einer zukünftigen Adsorptionsstufe mit Aktivkohle

- Die Filtergeschwindigkeit sollte an den Abwasservolumenstrom angepasst und daher zwischen 2 und 8 m/h variiert werden.
- Die für die Versuche ausgelegte Betthöhe der Aktivkohleschüttung von 2,5 m hat sich bei der CSB- TOC- und Spurenstoffadsorption erneut als sinnvoll erwiesen.
- Um speziell den stark industriell beeinflussten Wässern Rechnung zu tragen, sollten die Adsorber an 5 von 7 Wochentagen betrieben werden.
- Die Adsorber sollten zeitversetzt gestartet werden, damit zu einem bestimmten Zeitpunkt eine deutlich unterschiedliche Beladung ihres Aktivkohlebetts vorliegt. Dieses ermöglicht das Auftreten einer weitestgehend konstanten mittleren Elimination zwischen Zulauf der Stufe und deren Sammelfiltrat.