



InfraStruktur Neuss

Machbarkeitsstudie

Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost Phase II

November 2013

gefördert durch:

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



Grontmij GmbH

Graeffstraße 5
50823 Köln

T +49 221 57402-0
F +49 221 57402-11
E koeln@grontmij.de
W www.grontmij.de

IUTA e.V.

Bliersheimerstraße 58 - 60
47229 Duisburg

+49 (0) 2065 418-0
+49 (0) 2065 418-211
info@iuta.de
www.iuta.de

Impressum

Auftraggeber: InfraStruktur Neuss AöR

Auftragnehmer: **Grontmij GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Dr.-Ing. Heinrich Herbst
Dipl.-Ing. (FH) Christian Maus, M.Sc.

Analytik und Laborversuche: **Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)**

Bliersheimerstraße 58-60
47229 Duisburg

Dr. rer. nat. Jochen Türk
Andrea Börgers, M. Sc.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III	
Abbildungsverzeichnis	IV	
Tabellenverzeichnis	V	
1	Veranlassung	1
2	Laborversuche zur Adsorption der Spurenstoffe	3
2.1	Konzentrationen der Ausgangsproben	3
2.2	Versuche mit pulverförmige Aktivkohle	4
2.2.1	Selektion geeigneter Kohlen	5
2.2.2	Ermittlung des Einflusses der Mehrschichtfiltration und Ermittlung der maximalen Eliminationsleistung	6
2.3	Versuche mit granuliert Aktivkohle (GAK)	10
3	Überarbeitung der Varianten	16
3.1	Allgemeines	16
3.2	Variante 3: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration	17
3.3	Variante 4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2)	20
3.4	Variante 4a: Ablauf der Nachklärung - Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in Reaktionsraum – Filtration (Straße 2)	23
3.5	Variante 5: Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter	26
4	Verfahrensempfehlung	28
4.1	Gegenüberstellung der Kostenabschätzungen der Varianten	28
4.2	Technische Verfahrensempfehlung	31
5	Literaturverzeichnis	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lösemittelgradienten	3
Abbildung 2-2: Darstellung der Eliminationsleistungen der fünf untersuchten Pulveraktivkohlen hinsichtlich des Summenparameters CSB und der Spurenstoffe Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol	5
Abbildung 2-3: Startkonzentration und Konzentration bei Versuchsende mit einer Dosierung von 10 mg/L PAK und 20 mg/L PAK (CSC HKP 1050) in Zulauf und Ablauf Mehrschichtfilter	7
Abbildung 2-4: Startkonzentration und Konzentration bei Versuchsende mit einer Dosierung von 10 mg/L PAK und 20 mg/L PAK (CSC HL 1050) in Zulauf und Ablauf Mehrschichtfilter	7
Abbildung 2-5: Eliminationsleistungen der Pulveraktivkohle CSC HKP 1050 bei einer Dosierung von 10 mg PAK/L (blau) und 20 mg PAK/L (grün) in Zulauf (ohne Schraffierung) und Ablauf (Schraffierung) Mehrschichtfilter.	9
Abbildung 2-6: Eliminationsleistungen der Pulveraktivkohle CSC PHC HL 1050 bei einer Dosierung von 10 mg PAK/L (blau) und 20 mg PAK/L (grün) in Zulauf (ohne Schraffierung) und Ablauf (Schraffierung) Mehrschichtfilter	9
Abbildung 2-7: Versuchsaufbau der GAK-Versuche im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost mit Vorlagebehältnis, Schlauchpumpen und Kleinfilterschnelltest GAK-Säulen	12
Abbildung 2-8: Durchbruchskurven der Säulen I und II des PD RSSCT für die betrachteten Spurenstoffe 1H-Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol (blau). Mittelwerte als durchgezogene Linie, Werte von Säule I (unausgefüllte Symbole), Säule II (ausgefüllte Symbole).	14
Abbildung 2-9: Durchbruchskurven der Säulen III und IV des CD RSSCT für die betrachteten Spurenstoffe 1H-Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol (blau).	15
Abbildung 3-1: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung vor dem Filter [1]	17
Abbildung 3-2: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung nach dem Filter	20
Abbildung 3-3: PAK-Dosierung nach dem Filter in neuem Reaktionsraum [1]	23
Abbildung 4-1: Spezifische Jahreskosten (Abwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerten [2]	30
Abbildung 4-2: Spezifische Jahreskosten (Frischwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerte [2]	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Ausgangskonzentrationen der Spurenstoffe und untersuchte Summenparameter in Zulauf Mehrschichtfilter und Ablauf Mehrschichtfilter des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Neuss Ost	4
Tabelle 2-2:	Kenngößen des Filters und der mittels RSSCT skalierten Versuchssäulen	11
Tabelle 2-3:	Konzentrationen der Basisparameter und Spurenstoffe im Zulauf zur Filteranlage als einmalige Einordnung der Werte in bekannte Konzentrationsbereiche	12
Tabelle 2-4:	Durchgelaufene Bettvolumina bis zur irreversiblen Verstopfung der einzelnen GAK Kleinfilterschnelltests im Zulauf zum Mehrschichtfilter der Kläranlage Neuss Ost	13
Tabelle 3-1:	Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung vor dem Filter	19
Tabelle 3-2:	Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung nach dem Filter	22
Tabelle 3-3:	Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung nach der 1. Filterstufe in einem neuen Reaktionsraum und Abscheidung in der 2. Filterstufe	25
Tabelle 3-4:	Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) mit granulierter Aktivkohle im Filter	27
Tabelle 4-1:	Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- Kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Schmutzwassermenge und Frischwassermenge der betrachteten Varianten (Variante 5 entspricht den Angaben der vorangegangenen Machbarkeitsstudie [1], Kosten basieren nicht auf Versuchsergebnissen)	28
Tabelle 4-2:	Kostenvergleich von Aktivkohleanlagen [2]	29
Tabelle 4-3:	Verbale Bewertung der technischen Aspekte und Punktevergabe	33
Tabelle 4-4:	Bewertung der Varianten	34

1 Veranlassung

In der ersten Phase der Machbarkeitsstudie „Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in der Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost“ [1] wurden von der Grontmij GmbH und dem Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) mögliche Ansätze zur langfristigen Reduktion von Spurenstoffen in den Vorfluter untersucht.

Die Ergebnisse der oben genannten Studie zeigten, dass vier der insgesamt sechs untersuchten Varianten als mögliche Lösungsansätze für die Spurenstoffelimination für die Kläranlage Neuss Ost in Betracht kommen:

- V3: Ablauf der Nachklärung – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB)- Filtration
- V4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2)
- V4a: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum – Filtration (Straße 2)
- V5: Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter

Die Variante 3 entspricht weitestgehend einer „klassischen Adsorptionsstufe“. Aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse wurde zum Rückhalt der PAK vor der nachgeschalteten Filtration eine platzsparende ACTIFLO-CARB-Anlage vorgesehen. Als negativ auf die Adsorptionskapazität der PAK für die Spurenstoffelimination der Variante 3 wurden jedoch die im Ablauf der Nachklärung der Kläranlage Neuss Ost noch vorhandene vergleichsweise hohe Hintergrundbelastung an abfiltrierbaren Stoffen und CSB angesehen.

Die Varianten V4 und V4a werden als vorteilhaft erachtet, da dort die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) und der partikuläre CSB durch den Mehrschichtfilter bereits reduziert wurden. Folglich ist eine größere Spurenstoffelimination zu erwarten, da konkurrierende Stoffe reduziert werden und somit mehr Adsorptionskapazität für die organischen Spurenstoffe verbleiben

In Variante 4 wird ebenfalls eine ACTIFLO-CARB-Anlage zum Rückhalt der PAK und zum Erzielen eines hohen Kohlealters und weitestgehender Ausnutzung der Adsorptionskapazität für die Spurenstoffelimination eingesetzt.

Die Variante 4a sieht statt einer ACTIFLO-CARB-Anlage einen Reaktionsraum mit Lamellenklärer zum Rückhalt der PAK vor. Der Investitionsumfang wird gegenüber der Variante 4 deutlich reduziert. Nachteilig ist der schlechtere Rückhalt der PAK durch den Lamellenklärer und die dadurch höhere Feststoffbelastung der nachgeschalteten Mehrschichtfilter im Vergleich zu Variante 4.

Als weiteres Verfahren kommt der Austausch des Mehrschichtfilters durch granuliert Aktivkohle in Betracht, da vermutet werden kann, dass dies mit geringem Investitionsaufwand realisierbar ist (Variante 5).

Eine ausführliche Beschreibung der Varianten und Annahmen kann den Bericht zur Machbarkeitsstudie [1] entnommen werden.

In diesem weiterführenden Projekt werden nun die Annahmen zur verfahrenstechnischen Lösung verifiziert. Dies betrifft insbesondere die erforderliche Reinigungsleistung der Nachklärung und der Einfluss der Mehrschichtfiltration, d. h. die zulässige Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen und damit eng verbunden die erforderliche Menge an Aktivkohle (ausgedrückt in der Konzentration an „g PAK je m³ behandeltem Abwasser“ bzw. mögliche „Bettvolumina“). Dazu werden verschiedene Pulveraktivkohlen und eine granulierten Aktivkohlen auf ihre Eignung zum Einsatz in der KA Neuss Ost untersucht. Die ausgewählten Aktivkohlen werden hinsichtlich der Eliminationsleistung und Eignung bei einem hohen Anteil der abfiltrierbaren Stoffe im zu behandelnden Abwasser beurteilt, damit eine Empfehlung für die Anlagendimensionierung der Spurenstoffelimination sowie der Ertüchtigung der Gesamtanlage an die Infrastruktur Neuss AöR gegeben werden kann.

2 Laborversuche zur Adsorption der Spurenstoffe

Für die Versuchsdurchführung wurde einmal aus dem Zulauf des Mehrschichtfilters (25.1.2013) und zweimal aus dem Ablauf des Mehrschichtfilters (5.12.2012 und 25.1.2013) Abwasser entnommen. Die Laborversuche und Analysen wurden vom Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA) in Duisburg durchgeführt. Betrachtet wurde die Eliminationsleistung für die Spurenstoffe Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol.

2.1 Konzentrationen der Ausgangsproben

Die Analyse der Proben erfolgte mittels LC-MS/MS (AB Sciex API 3000) nach Filtration und Festphasenextraktion bei pH 3 über Oasis HLB Kartuschen der Firma Waters. Die verwendeten Lösemittelgradienten sind in Abbildung 2-1 dargestellt.

Die HPLC Bedingungen waren:

- Trennsäule: Phenomenex Synergi 4u Polar-RP 80A (150 mm x 2 mm, 4 µm)
- Ofentemperatur: 35°C
- Injektionsvolumen: 50 µL
- Lösemittel A Millipore H₂O mit 0,1% Ameisensäure
- Lösemittel B Acetonitril mit 0,1% Ameisensäure
- Flussrate 350 µL/min

In der Ionenquelle wurden die Gaseinstellungen für Nebulizer 12 und Curtain Gas 10 gewählt. Die Temperatur der Ionenquelle betrug 450°C, die angelegte Ionisierungsspannung -4500 V. Zur Quantifizierung mittels interner Standardmethode wurden jeweils zwei Massenübergänge je Substanz ausgewählt.

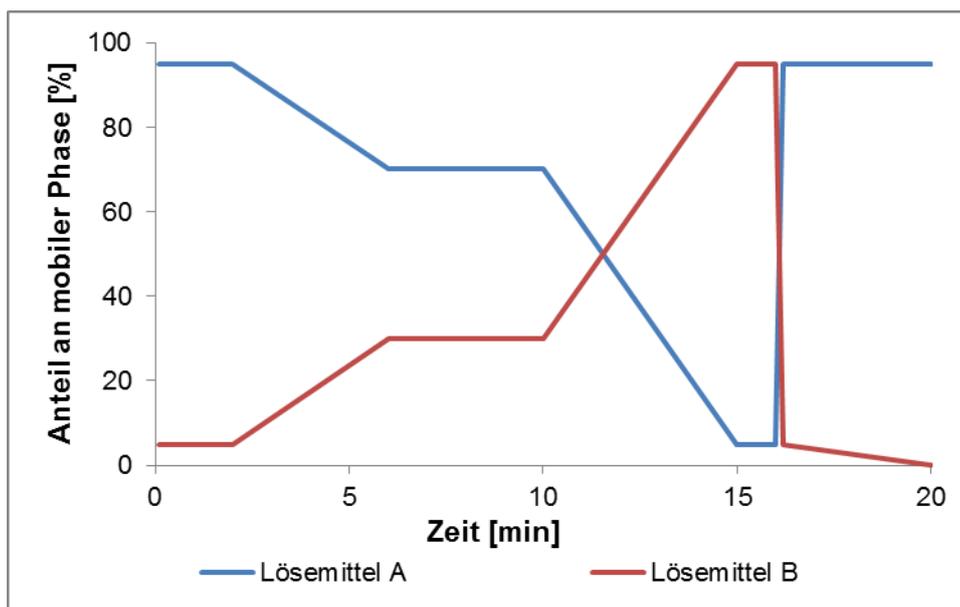


Abbildung 2-1: Lösemittelgradienten

Die Ausgangskonzentrationen der untersuchten Spurenstoffe und Basisparameter sind in Tabelle 2-1 angegeben. Der Spurenstoff Bisphenol A konnte nicht detektiert werden. Empfindlichere Messungen mittels GC-MS waren nicht Bestandteil des Auftrages, da Bisphenol A Konzentrationen unter 200 ng/L für die verfahrenstechnische Bewertung als nicht relevant erachtet werden. Deutlich wird der Einfluss der Mehrschichtfiltration auf die Hintergrundbelastung. Die Ablaufprobe vom 25.01.2013 weist im Vergleich zur Zulaufprobe einen geringeren AFS und CSB auf. Ebenfalls ist das Konzentrationsniveau der analysierten Spurenstoffe niedriger. Zudem sind vergleichend die Ergebnisse des ersten Screenings in Phase 1 für den Ablauf des Mehrschichtfilters aufgeführt. Die Konzentrationen der im Rahmen dieser Studie genommenen Proben liegen in der gleichen Größenordnung wie die Werte aus dem ersten Screening. Die hohe Bromidkonzentration im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost wurde mit den neueren Messungen abgesichert. Durch die hohen Bromidkonzentrationen könnte es bei der Anwendung einer Ozonung des Kläranlagenablaufs möglicherweise zur Bildung des Transformationsproduktes Bromat kommen. Daher bestätigt sich die bisherige Verfahrensempfehlung einer adsorptiven Behandlung mit Aktivkohle.

Tabelle 2-1: Ausgangskonzentrationen der Spurenstoffe und untersuchte Summenparameter in Zulauf Mehrschichtfilter und Ablauf Mehrschichtfilter des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Neuss Ost

Substanz	Einheit	Ablauf Filter Phase 1 [1] Mittelwert (n=3)	Zulauf Filter	Ablauf Filter	
			25.01.2013 n = 1	25.01.2013 n = 1	05.12.2012 n = 1
AFS	[mg/L]	n.b.	10	3	3
CSB	[mg/L]	50	69	46	46
Bromid	[µg/L]	227	650	650	650
DOC	[mg/L]	17	18	19	19
Bisphenol A	[ng/L]	274	< 200	< 200	< 200
Benzotriazol	[ng/L]	4.100	3.000	1.700	4.000
Carbamazepin	[ng/L]	1.400	840	450	610
Diclofenac	[ng/L]	1.100	3.000	1.800	2.000
Metoprolol	[ng/L]	160	500	250	900
Sulfamethoxazol	[ng/L]	700	400	400	330

n.b.: nicht bestimmt

Die in Tabelle 2-1 aufgeführten Konzentrationen stellen die Ursprungskonzentration der Proben bei Anlieferung im Labor dar. Für die späteren Versuche wurde, um die zeitliche Veränderung der Probe zu berücksichtigen, das Wasser immer direkt vor den Versuchen ein weiteres Mal analysiert. Die nachfolgenden Berechnungen der Eliminationsleistung beziehen sich jeweils auf die Startkonzentrationen des Wassers bei Versuchsbeginn.

2.2 Versuche mit pulverförmige Aktivkohle

Zur Selektion einer geeigneten Pulveraktivkohle und Absicherung der notwendigen Dosierrate für den großtechnischen Einsatz wurden in dieser Studie verschiedene Eigenschaften, wie z. B. die Eliminationsleistung von organischen Spurenstoffen, die Dosierrate und der Einfluss des Mehrschichtfilters der Kläranlage Neuss Ost im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Pulveraktivkohlen betrachtet.

2.2.1 Selektion geeigneter Kohlen

In der ersten Phase wurden fünf verschiedene Pulveraktivkohlen im Hinblick auf die Spurenstoffelimination untersucht. Die Versuche sollten zeigen, welche Kohle am wirtschaftlichsten für die Elimination der untersuchten Parameter geeignet ist. Folgende Pulveraktivkohlen wurden ausgewählt:

- AquaSorb 5000P PAC-S (Jacobi)
- Carbopal AP (Donau Carbon)
- PAK C 1000S (Carbo Tech)
- PHC HL 1050 (CSC Aktivkohle)
- PHC HKP 1050 (CSC Aktivkohle)

Für diese Versuche wurde das Filtrat (Ablauf) des Mehrschichtfilters mit einer Konzentration von 15 mg/L PAK-Suspension angereichert. Die Suspension der Pulveraktivkohle musste 24 Stunden vor Versuchsbeginn angesetzt werden, um eine vollständige Benetzung der Oberfläche der PAK zu gewährleisten. Zur Einstellung des Adsorptionsgleichgewichtes wurden die Proben nach Zugabe der PAK-Suspension für 24 Stunden auf einem Horizontalschüttler geschüttelt. Nach Ablauf der Versuchszeit wurde die PAK abfiltriert und die wässrige Phase wurde auf die ausgewählten Spurenstoffe analysiert. Die Versuche wurden als Doppelbestimmung durchgeführt. Abbildung 2-2 zeigt die Auswertung des Datensatzes. Die Schwankungsbreite aus der Doppelbestimmung wurde mit Fühlern im Balkendiagramm dargestellt. Die Balkenhöhe zeigt den Mittelwert der Analyseergebnisse an.

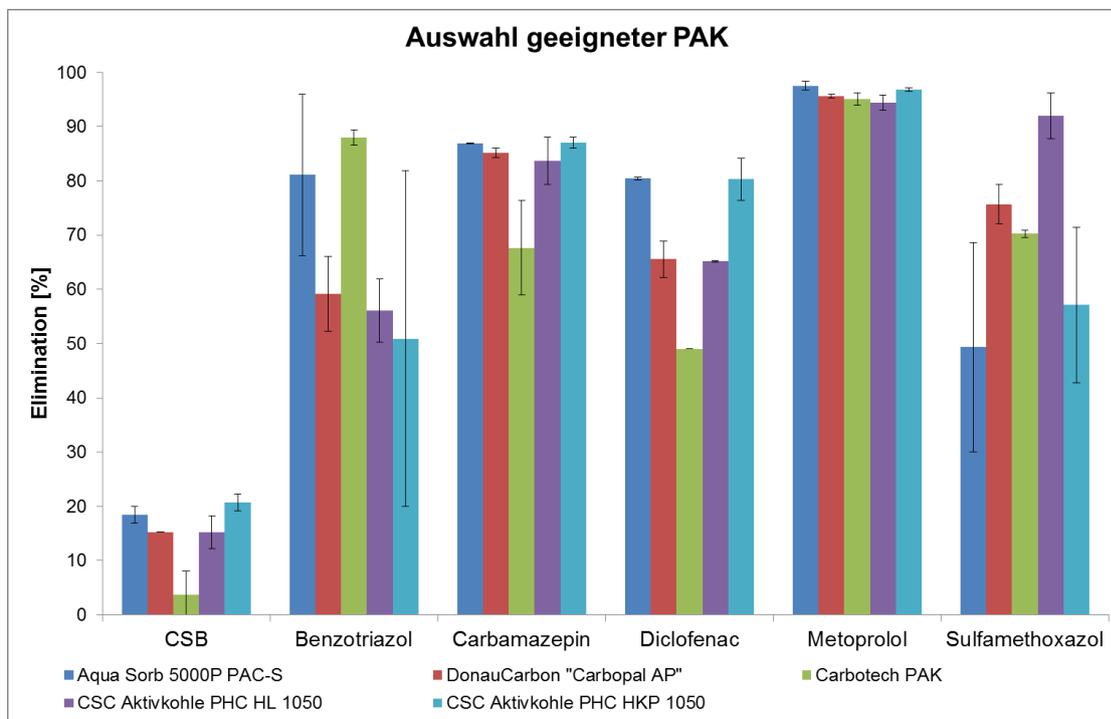


Abbildung 2-2: Darstellung der Eliminationsleistungen der fünf untersuchten Pulveraktivkohlen hinsichtlich des Summenparameters CSB und der Spurenstoffe Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol

Anhand der Eliminationsleistung der verschiedenen Pulveraktivkohlen wurde für die nachfolgenden Untersuchungen die Pulveraktivkohlen PHC HL 1050 und PHC HKP 1050 der Firma CSC Aktivkohle ausgewählt. Guten Eliminationsleistungen wurden zudem von der Kohle Aqua Sorb 5000P PAC-S erzielt. Der Spurenstoff Benzotriazol wurde aufgrund der hohen Schwankung bei der Eliminationsleistung nicht in die Auswahl einbezogen.

2.2.2 Ermittlung des Einflusses der Mehrschichtfiltration und Ermittlung der maximalen Eliminationsleistung

In der zweiten Versuchsphase wurde der Einfluss der Mehrschichtfiltration auf die Eliminationsleistung untersucht, um einen effizienten Einsatz der Pulveraktivkohle zu ermöglichen. In diesem Schritt wurden nur die beiden Pulveraktivkohlen PHC HL 1050 und PHC HKP 1050 der Firma CSC betrachtet, da diese beiden Kohlen im Gesamtbild gute Eliminationsleistungen aufgezeigt haben. In einer Vergleichsuntersuchung wurde sowohl eine Zulauf- als auch eine Ablaufprobe des Mehrschichtfilters mit einer Dosierung von 10 mg PAK/L versehen und analysiert. Ferner wurde die maximale Eliminationsleistung mit einer sehr hohen Dosierung von 20 mg PAK/L für beide Proben untersucht.

Die Ergebnisse der PAK CSC HKP 1050 sind in Abbildung 2-3 und die der PAK CSC HL 1050 in Abbildung 2-4 dargestellt. Angegeben sind die Konzentrationen vor dem Versuchsstart und die Konzentrationen nach Versuchsende. Die Startkonzentration wurde mit einer Einfachbestimmung ermittelt. Für die Endkonzentration wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. Im Diagramm sind die Mittelwerte der Doppelbestimmung durch die Balkenhöhe und die Messwertschwankung durch Fühler dargestellt.

Die Veränderung der Abwassermatrix durch die Mehrschichtfiltration wird aus dem Vergleich der Startkonzentration bei Versuchsbeginn deutlich. Der CSB in der verwendeten Zulaufprobe vom Mehrschichtfilter war mit 69 mg/L höher als mit 46 mg/L in der Ablaufprobe. Bei den Spurenstoffen Benzotriazol, Carbamazepin und Diclofenac ist ebenfalls eine niedrigere Konzentration im Ablauf der Mehrschichtfiltration zu erkennen. Metoprolol und Sulfamethoxazol zeigten keine Konzentrationsänderungen infolge der Mehrschichtfiltration auf.

Aus den Diagrammen wird der Einfluss der Mehrschichtfiltration auf die Spurenstoffelimination ersichtlich. Ausgehen von einer Dosierung von 10 mg/L PAK zeigte sich mit beiden Pulveraktivkohlen, dass in den Zulaufproben der Mehrschichtfiltration nach Versuchsende das Konzentrationsniveau der nicht adsorbierten Stoffe geringfügig höher war als in den Ablaufproben der Mehrschichtfiltration. Eine Ausnahme war der Parameter Sulfamethoxazol, der jedoch eine relativ hohe Messwertschwankung aufwies. Für Benzotriazol konnte für die Pulveraktivkohle PHC HKP 1050 keine plausible Konzentration nach Ende des Versuchs ermittelt werden. Im Umkehrschluss bedeutet dieses Ergebnis, dass bei einer PAK-Dosierung in den Zulauf zur Mehrschichtfiltration und infolgedessen einer höheren Hintergrundbelastung für die adsorptive Behandlung eine höhere Dosiermenge der PAK notwendig ist, um die gleiche Restkonzentrationen der Spurenstoffe wie bei einer Dosierung in den Ablauf der Mehrschichtfiltration reproduzierbar zu erzielen.

Der Einfluss der PAK-Dosiermenge ist ebenfalls aus der Abbildung 2-3 für die Pulveraktivkohle CSC PHC HL 1050 und aus der Abbildung 2-4 für die Pulveraktivkohle CSC PHC HL 1050 ersichtlich. Grundsätzlich erfolgte durch die höhere Dosierung von 20 mg/L eine weitere Reduzierung der Restkonzentration der Spurenstoffe und CSB. Deutlich wird dies z. B. bei den Stoffen Carbamazepin und Diclofenac. Metoprolol wurde bereits bei einer Dosierung von 10 mg/L PAK weitestgehend adsorbiert, sodass durch eine weitere Steigerung der PAK-Dosiermenge kaum noch ein Effekt zu verzeichnen war. Durch die sehr hohe Dosierung von 20 mg/L PAK und der dadurch hohen Adsorptionskapazität verringerten sich deutlich die Auswirkungen der Hintergrundbelastung der Zu- und Ablaufproben der Mehrschichtfiltration auf die Spurenstoffelimination. Die Restkonzentrationen nach Ende des Versuchs in den Proben vom Zu- und Ablauf der Mehrschichtfiltration waren vergleichbar.

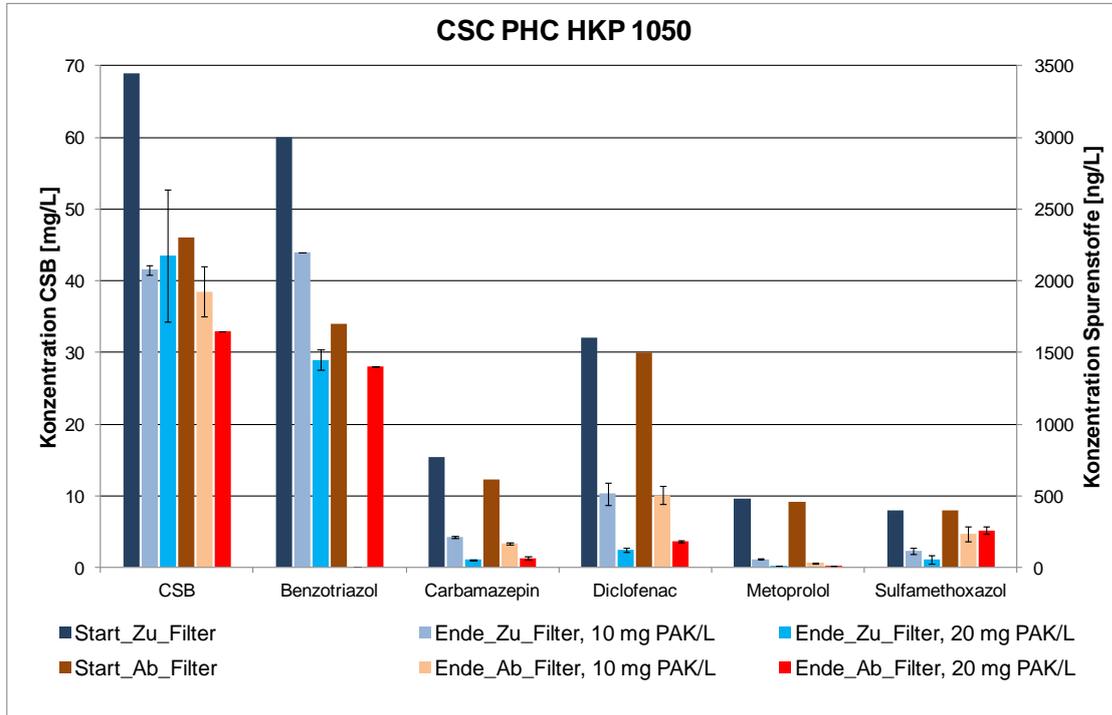


Abbildung 2-3: Startkonzentration und Konzentration bei Versuchsende mit einer Dosierung von 10 mg/L PAK und 20 mg/L PAK (CSC HKP 1050) in Zulauf und Ablauf Mehrschichtfilter

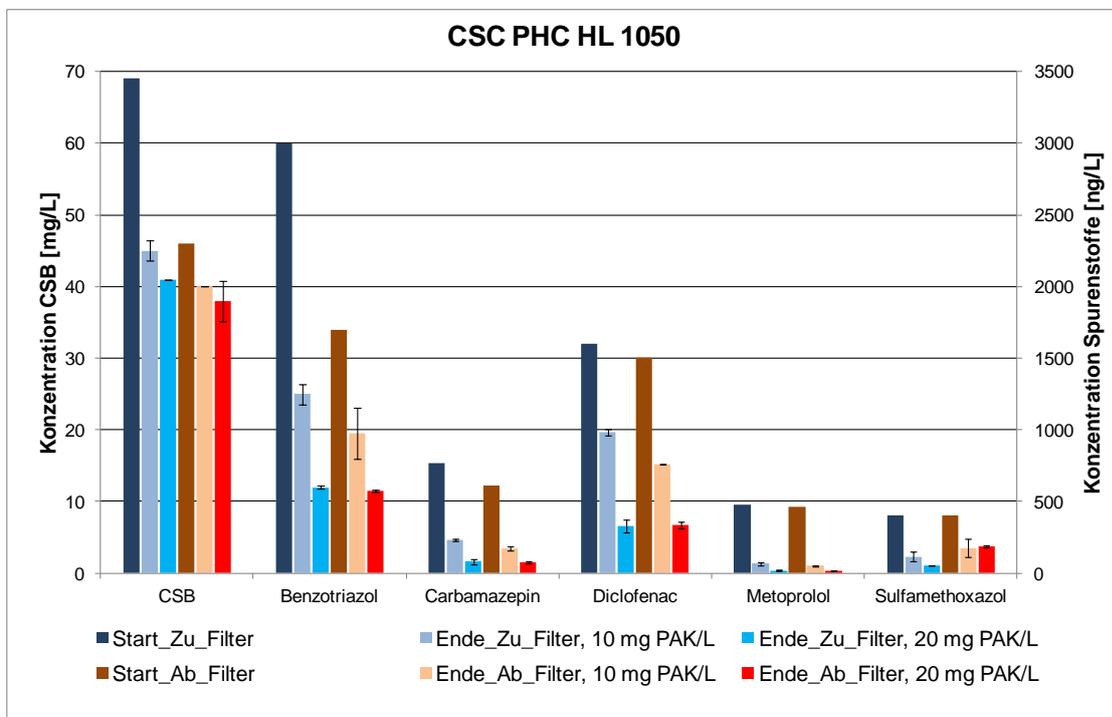


Abbildung 2-4: Startkonzentration und Konzentration bei Versuchsende mit einer Dosierung von 10 mg/L PAK und 20 mg/L PAK (CSC HL 1050) in Zulauf und Ablauf Mehrschichtfilter

Die Eliminationsgrade für die Spurenstoffe infolge der Behandlung mit der PAK CSC HKP 1050 sind in Abbildung 2-5 und mit der PAK CSC HL 1050 in Abbildung 2-6 dargestellt. Die Fühler im Diagramm geben dabei die Messwertschwankung der Doppelbestimmung an. Die Balkenhöhe zeigt den Mittelwert an.

Insgesamt ist bei der Interpretation der Daten zu beachten, dass die Versuchsergebnisse aus der Doppelbestimmung für Benzotriazol und Sulfamethoxazol deutlich streuen. Relativ stabile Versuchsergebnisse konnten für die Spurenstoffe Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol erzielt werden, sodass die Eliminationsgrade der PAK für diese drei Stoffe weiter betrachtet werden. Unter optimalen Bedingungen für eine weitestgehende Spurenstoffelimination im Hinblick auf die Hintergrundbelastung mit den Proben aus dem Ablauf der Mehrschichtfiltration konnten mit beiden Kohlen für Carbamazepin und Metoprolol hohe Eliminationsgrade zwischen 88 % bis 98 % erzielt werden. Für den Stoff Diclofenac fiel die Eliminationsleistung der Kohle HL 1050 auf 77 % geringfügig ab. Anhand der Versuchsergebnisse konnte gezeigt werden, dass mit beiden Kohlen eine deutliche Elimination der Spurenstoffe möglich ist.

Die Eliminationsleistung der Kohlen bei einer Dosierrate von 20 mg/L PAK mit dem Zulauf zum Mehrschichtfilter ist auf dem ersten Blick teilweise höher als die bei optimalen Randbedingungen mit dem Ablauf vom Mehrschichtfilter erzielte Eliminationsleistung. Zu beachten sind jedoch die höheren Ausgangskonzentrationen der Spurenstoffe im Zulauf zum Mehrschichtfilter (vgl. Abbildung 2-3 und Abbildung 2-4), sodass die Restkonzentration der Spurenstoffe mit dem Ablauf insgesamt niedriger ausfallen. Das bedeutet, dass bei einer Beschickung der PAK-Stufe mit weitestgehend gereinigtem Abwasser aus dem Ablauf der Mehrschichtfilter der Kläranlage Neuss Ost eine insgesamt höhere Frachtreduktion bei gleicher PAK-Dosierung an Spurenstoffe für das Gewässer erzielt werden kann.

Durch die Reduzierung der Dosierrate von 20 auf 10 mg PAK/L zeigte sich für Metoprolol nur eine geringe Verschlechterung der Eliminationsleistung um 4 bzw. 7 Prozentpunkte für die Dosierung in den Ablauf des Mehrschichtfilters, für Diclofenac wurde hingegen eine Abnahme von bis zu 30 Prozentpunkte beobachtet.

Bei einer Verringerung der Dosierrate von 20 auf 10 mg/L PAK zeigte sich für Diclofenac mit Dosierung in den Zulauf des Mehrschichtfilters die größte Verringerung der Eliminationsleistung von bis zu 39 Prozentpunkten mit der Kohle CSC HL 1050. Insgesamt lässt sich feststellen, dass eine Verringerung der Dosierrate für den Zulauf zum Mehrschichtfilter mit einer höheren Abnahme der Eliminationsleistung als für den Ablauf der Mehrschichtfiltration verbunden ist.

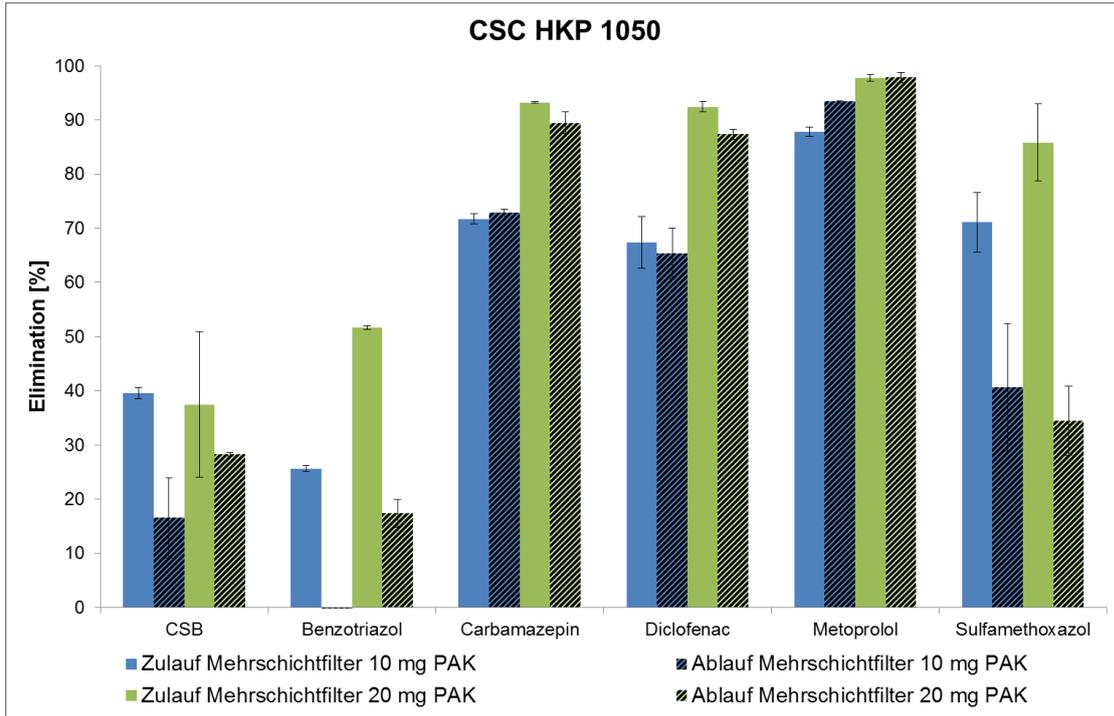


Abbildung 2-5: Eliminationsleistungen der Pulveraktivkohle CSC HKP 1050 bei einer Dosierung von 10 mg PAK/L (blau) und 20 mg PAK/L (grün) in Zulauf (ohne Schraffierung) und Ablauf (Schraffierung) Mehrschichtfilter.

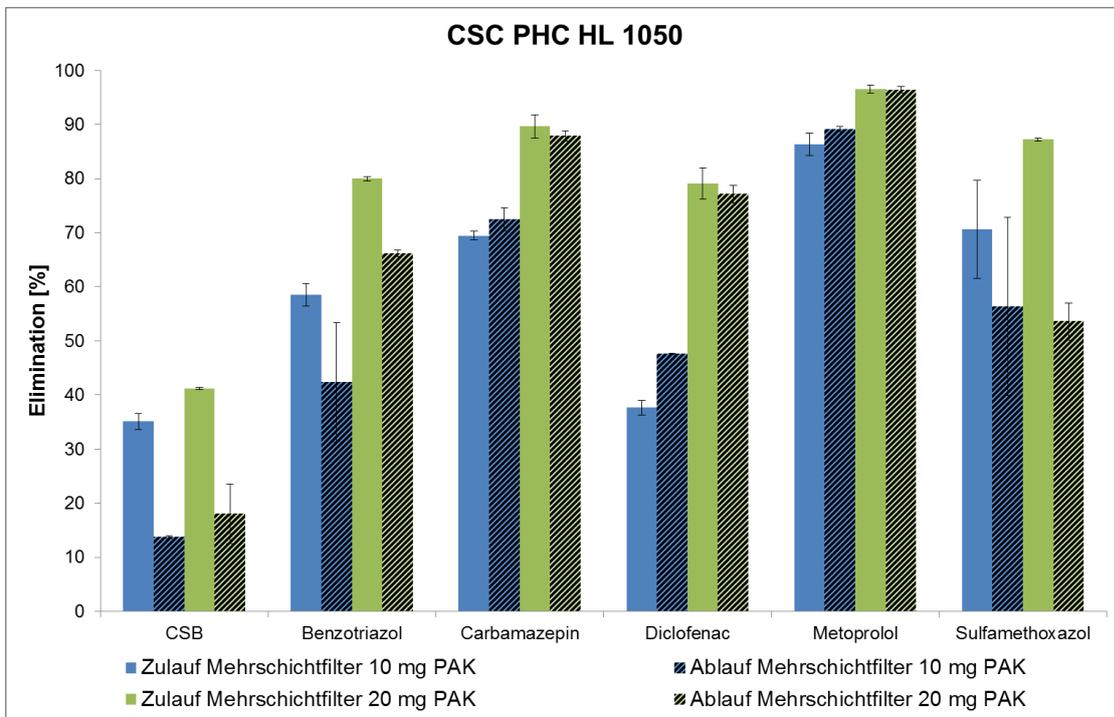


Abbildung 2-6: Eliminationsleistungen der Pulveraktivkohle CSC PHC HL 1050 bei einer Dosierung von 10 mg PAK/L (blau) und 20 mg PAK/L (grün) in Zulauf (ohne Schraffierung) und Ablauf (Schraffierung) Mehrschichtfilter

Durch die Batchversuche werden grundsätzlich die Annahmen zur PAK-Dosierung aus der ersten Phase der Machbarkeitsstudie bestätigt. Eine PAK-Adsorptionsstufe im Ablauf der Mehrschichtfilter auf der Kläranlage Neuss Ost benötigt demnach eine etwas niedrigere Dosierrate als eine Adsorptionsstufe im Zulauf zum Filter. Hohe PAK-Dosierraten wirken sich insgesamt positiv auf die Eliminationsleistung aus.

Die dargestellten Batch-Laborversuche berücksichtigen nicht die Wirkung der Rückführung der PAK in die Adsorptionsstufe. Durch die Rückführung der Kohle und damit einer deutlich verlängerten Aufenthaltszeit ist es möglich, die Pulveraktivkohle etwas höher zu beladen, sodass die Abnahme der Eliminationsleistung bei niedriger Dosierrate im großtechnischen Betrieb geringer ausfallen dürfte. Eine Optimierung der Kohlerückführung im Hinblick auf eine effiziente Beladung der eingesetzten PAK sollte im großtechnischen Betrieb in einer Einfahrphase durchgeführt werden.

Als Basisdosierung wird aufgrund der Erkenntnisse aus den Laborversuchen eine Dosierrate von 10 mg/L PAK empfohlen. Für die **Variante 4** „Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2)“ wird daher die ursprüngliche Dosierrate von 9 mg/L PAK auf 10 mg/L PAK geringfügig erhöht. Ebenso wird die angenommene Dosierrate der **Variante 3** „Ablauf der Nachklärung – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB)- Filtration“ auf 11 mg/L PAK und die der **Variante 4a** „Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum – Filtration (Straße 2)“ auf 13 mg/L PAK erhöht. Hierdurch ergibt sich eine Erhöhung der Betriebskosten.

2.3 Versuche mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Zur ersten orientierenden Beurteilung der granulierten Aktivkohle (GAK) wurden Säulenversuche im Labor durchgeführt. Dazu wurden zwei Glassäulen mit der GAK AquaSorb 5000 und eine Säule mit inertem Material (Blähton) befüllt. Der Blähton sowie eine Säule mit granulierter Aktivkohle wurden mit dem Ablauf des Mehrschichtfilters und die zweite mit GAK gepackte Säule wurde mit dem in IBC-Behältern gesammelten Zulauf des Mehrschichtfilters im Gleichstromverfahren beschickt. Bei einer Filtergeschwindigkeit von 1,5 m/h erfolgte im Ablauf der Säulen alle 500 Bettvolumina die Untersuchung des Durchbruchverhaltens. Diese ersten orientierenden Versuchsergebnisse zeigten keinen nennenswerten Unterschied zwischen den Durchbruchkurven der Spurenstoffe mit dem Zulauf und Ablauf des Mehrschichtfilters auf. Eine vollständige Beladung der GAK wurde durch eine Zunahme der Ablaufkonzentrationen der Spurenstoffe ermittelt. Eine maximale Filterlaufzeit von 3.000 Bettvolumina konnte für beide Systeme abgeschätzt werden. Während der Versuchsphase konnte keine Verstopfung des GAK-Bettes durch die restlichen im Zulauf des Mehrschichtfilters vorhandenen abfiltrierbaren Stoffe beobachtet werden. Ein Grund könnte jedoch sein, dass die Probe im IBC-Container nicht vollständig durchmischt werden konnte und über die Versuchszeit von drei Wochen eine Veränderung der Abwasserprobe stattfand.

Aktuelle Untersuchungen mit Abwasser anderer Kläranlagen zeigen im Hinblick auf die maximalen Bettvolumina deutliche Unterschiede bei der Filtergeschwindigkeit und dem Durchbruchverhalten. So konnte auf der KA Düren bei einer Beschickung von 7 m/h für die erste untersuchte GAK (Körnung 1,4 – 2,5 mm) nur ein Bettvolumen von 900 erreicht werden. Bei GAK 2 (Körnung 0,5 – 2,5 mm) konnten 4.200 Bettvolumina erreicht werden. Im Projekt „Obere Lutter“ wurden 9.000 Bettvolumina bis zum Abbruchkriterium (CSB-Elimination erschöpft) erreicht [3]. Spurenstoffe werden hier bereits bei deutlich geringeren Bettvolumina im Ablauf nachgewiesen.

Das Qualitätskriterium ≥ 60 % Elimination konnte in laufenden Untersuchungen der Eawag in der Schweiz für die meisten untersuchten Spurenstoffe nur für ca. 4.000 Bettvolumina eingehalten werden. Die kalkulierte spezifische GAK-Menge von ca. 100 mg Aktivkohle pro Liter Abwasser liegt etwa 5- bis 10-mal höher als die benötigte Menge an PAK im Rezirkulationsbetrieb [4].

Aufgrund der großen Diskrepanz zwischen den orientierenden Laboruntersuchungen und den Literaturdaten wurden ergänzende Kleinfilterschnelltests (RSSCT - Rapid Small Scale Column Test) entsprechend Crittenden et al. [5, 6] direkt auf der Kläranlage Neuss Ost mit dem Zulauf zum Mehrschichtfilter durchgeführt. Maßstabeffekte und die verbleibende Unsicherheit bei der abschließenden Bewertung der Variante sollten so minimiert werden. Die Durchführung der Versuche direkt auf der Kläranlage hatte den weiteren Vorteil, dass das anfallende Abwasser direkt auf die Säulen gegeben werden konnte und dieses nicht wie bei den ersten Experimenten über einen längeren Zeitraum im Labor gelagert werden musste.

Bei der Auslegung von Kleinfilterschnelltests werden mit Hilfe von dimensionslosen Kennzahlen der Partikeldurchmesser, die Abmessungen des Filterbettes sowie die Filtergeschwindigkeit und die sich daraus ergebene Leerbettkontaktzeit auf Grundlage der Dimensionierung des nachzubildenden großtechnischen Filters berechnet. Für die Kleinfilterschnelltests auf der Kläranlage Neuss Ost wurden zwei verschiedene Modellansätze gewählt, das PD-RSSCT-Modell (PD – Proportional Diffusivity) und das CD-RSSCT-Modell (CD - Constant Diffusivity). Beim PD-RSSCT-Modell wird die Kleinfiltersäule so ausgelegt, dass die Oberflächendiffusivität und der Partikeldurchmesser proportional zur Großausführung verringert werden. Beim CD-RSSCT-Modell wird in der Kleinfiltersäule die Oberflächendiffusivität konstant zum großtechnischen Filter gehalten. Aus diesen Modellannahmen resultieren grundsätzlich unterschiedliche Parameter der Kleinfiltersäulen. Weitergehende Erläuterung zur Modellannahme sind Crittenden et al. [5, 6] zu entnehmen.

Im Hinblick auf höhere Werte bei den abfiltrierbaren Stoffen soll laut Corwin und Summers [7] das PD-RSSCT-Modell (PD – Proportional Diffusivity) für die Übertragbarkeit des Durchbruches der Spurenstoffe auf die Großausführung besser geeignet sein. Im Vergleich zum CD-RSSCT-Modell (CD-Constant Diffusivity) ergeben sich hierbei bei gleicher Filtrationsleistung etwas längere Laufzeiten. Bei einem maximalen erzielbaren Bettvolumen von 16.000, das in der ersten Phase angenommen wurde, ist die Laufzeit der Versuche zuvor mit 42 (PD-RSSCT) bzw. 38 (CD-RSSCT) Tage abgeschätzt worden

In Tabelle 2-2 sind die Kenngrößen einer Filterzelle des Filters Neuss Ost den herunterskalierten Versuchsfilters (RSSCT) gegenübergestellt. Die Filtergeschwindigkeit des großtechnischen GAK-Filters als Basis für die Skalierung wurde mit 7,5 m/h angenommen.

Tabelle 2-2: Kenngrößen des Filters und der mittels RSSCT skalierten Versuchssäulen

Parameter	Einheit	größtechnischer GAK-Filter KA Neuss Ost (Variante 5)	Rapid Small Scale Column Test	
			Proportional Diffusivity (PD RSSCT)	Constant Diffusivity (CD RSSCT)
Filterhöhe	[m]	1,5	0,22	0,15
Filtergeschwindigkeit	[m/h]	7,5	4,0	2,3
Kontaktzeit	[h]	0,2	0,056	0,063
Partikeldurchmesser	[mm]	1,6	0,85	0,5

Die Durchführung der Kleinfilterschnelltests auf der Kläranlage Neuss Ost konnte erfolgreich in der Zeit vom 29.07.2013 bis zum 30.08.2013 umgesetzt werden. Zur Bestandsaufnahme der Hintergrundbelastung waren zuvor einmalig AFS, DOC und SAK₂₅₄ bestimmt worden. Die Werte sind in Tabelle 2-3 aufgelistet.

Tabelle 2-3: Konzentrationen der Basisparameter und Spurenstoffe im Zulauf zur Filteranlage als einmalige Einordnung der Werte in bekannte Konzentrationsbereiche

Substanz	Einheit	Zulauf Mehrschichtfilter
AFS	[mg/L]	< 1,0
CSB	[mg/L]	68
DOC	[mg/L]	24
Benzotriazol	[ng/L]	12
Carbamazepin	[ng/L]	1,1
Diclofenac	[ng/L]	1,7
Metoprolol	[ng/L]	0,80
Sulfamethoxazol	[ng/L]	0,26

Die RSSCT wurden im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost installiert. Es wurden jeweils für die beiden angewendeten Modelle (vgl. Tabelle 2-2) zwei identische Säulen (Säule I und II PD RSSCT; Säulen III und IV CD RSSCT) aufgebaut und mit der jeweils gleichen Zulaufmenge (PD RSSCT = 77 mL/min; CD RSSCT = 130 mL/min) mittels Schlauchpumpen beschickt. Die Beschickung der Kleinfilterschnelltests erfolgte aus einem Vorlagebehältnis mit Überlauf, das wiederum kontinuierlich mit dem Zulauf zum Mehrschichtfilter beschickt wurde. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 2-7 dargestellt.

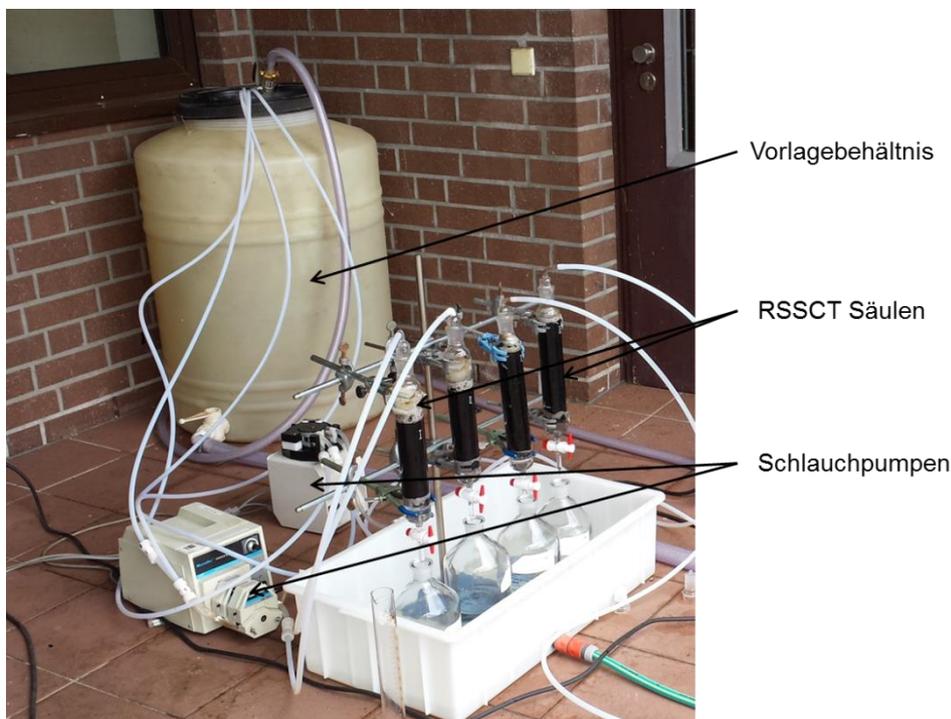


Abbildung 2-7: Versuchsaufbau der GAK-Versuche im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost mit Vorlagebehältnis, Schlauchpumpen und Kleinfilterschnelltest GAK-Säulen

Durch zeitweilige Verstopfungen der Säule IV war ein Parallelbetrieb der Säulen III und IV nur bis zu einem durchgelaufenen Bettvolumen von ca. 1.200 möglich. Nach einem Stillstand von 96 h konnte diese Säule nach intensiver Rückspülung jedoch wieder in Betrieb genommen werden. Die Standzeiten der Säulen wurden bei den Auswertungen berücksichtigt. Generell konnten irreversible Verstopfungen nach unterschiedlichen durchgelaufenen Bettvolumina beobachtet werden (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Durchgelaufene Bettvolumina bis zur irreversiblen Verstopfung der einzelnen GAK Kleinfilterschnelltests im Zulauf zum Mehrschichtfilter der Kläranlage Neuss Ost

Säule Nr.		Partikeldurchmesser [mm]	Beschickung [mL/min][durchgelaufene Bettvolumina bis zur irreversiblen Verstopfung
I	PD RSSCT	0,85	77	11.900
II				4.200
III	CD RSSCT	0,50	130	6.800
IV				7.200

In den meisten Fällen war bereits vor Verstopfung der Säulen ein Durchbruch für die verschiedenen Spurenstoffe deutlich erkennbar. Aufgrund den bei der Probenahme unterschiedlichen durchgelaufenen Bettvolumina ist eine Mittelwertbildung für die Ergebnisse der Säulen III und IV nicht möglich. Als Durchbruchskriterium bei der Ergebnisdiskussion wurde ein Durchbruch der Spurenstoffe von 30 % angenommen und wurde in Abbildung 2-8 und Abbildung 2-9 farblich hervorgehoben. Ein über gesetzlich festgelegte Werte zur Spurenstoffreduzierung abgeleitetes Kriterium existiert zurzeit nicht.

Bei den Versuchen nach dem PD RSSCT-Modell (vgl. Abbildung 2-8) zeigte sich, dass das Analgetikum Diclofenac im Mittel bereits nach 3.500 Bettvolumina zu 30 % durchgebrochen ist. Das Antibiotikum Sulfamethoxazol sogar bereits nach 1.300 Bettvolumina. Generell kann für keinen der betrachteten Leitparameter nach 5.500 durchgelaufenen Bettvolumina noch ein Rückhalt größer 70 % beobachtet werden.

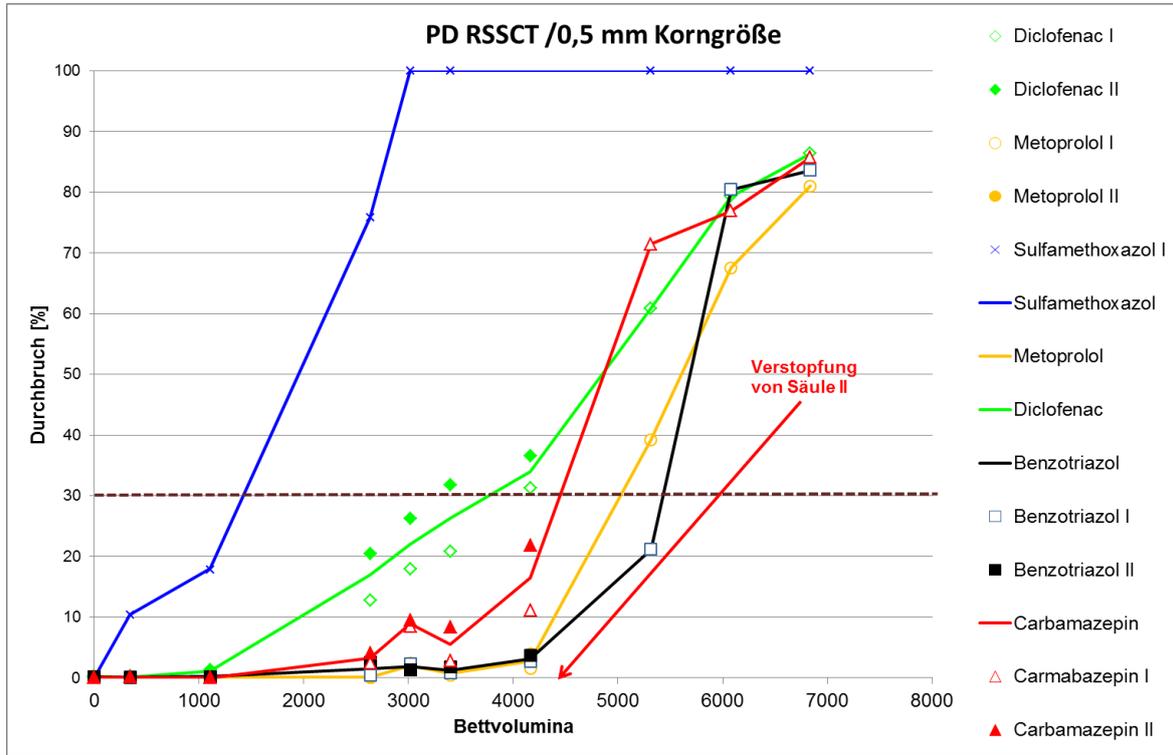


Abbildung 2-8: Durchbruchkurven der Säulen I und II des PD RSSCT für die betrachteten Spurenstoffe 1H-Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol (blau). Mittelwerte als durchgezogene Linie, Werte von Säule I (unausgefüllte Symbole), Säule II (ausgefüllte Symbole).

In Abbildung 2-9 sind die Durchbruchkurven für die Säulen III und IV dargestellt. Die beiden Säulen zeigen bis zur Verstopfung der Säule IV nach 96 Stunden ein vergleichbares Durchbruchsverhalten auf. Nach der Beschickungspause und Rückspülung der Säule IV lagen die Durchbruchkurven der Säule IV über denen der Säule III. Dieser für den Spurenstoffrückhalt ungünstigere Verlauf ist vermutlich auf die Beschickungspause und Rückspülung zurückzuführen. Die nach dem CD RSSCT-Modell skalierten Säulen (Säulen III und IV) zeigen jedoch grundsätzlich ein zum PD RSSCT-Modell vergleichbares Verhalten. Auch bei diesen Versuchen bricht das Antibiotikum Sulfamethoxazol als erstes bei einem durchgelaufenen Bettvolumen von ca. 1.000 bereits zu 30 % durch. Das Analgetikum Diclofenac bricht bei einem Bettvolumen von ca. 2.000 bis 2.500 durch. Lediglich für die Spurenstoffe Metoprolol und 1H-Benzotriazol konnte in Säule III ein Rückhalt > 30 % bei höheren Laufzeiten beobachtet werden.

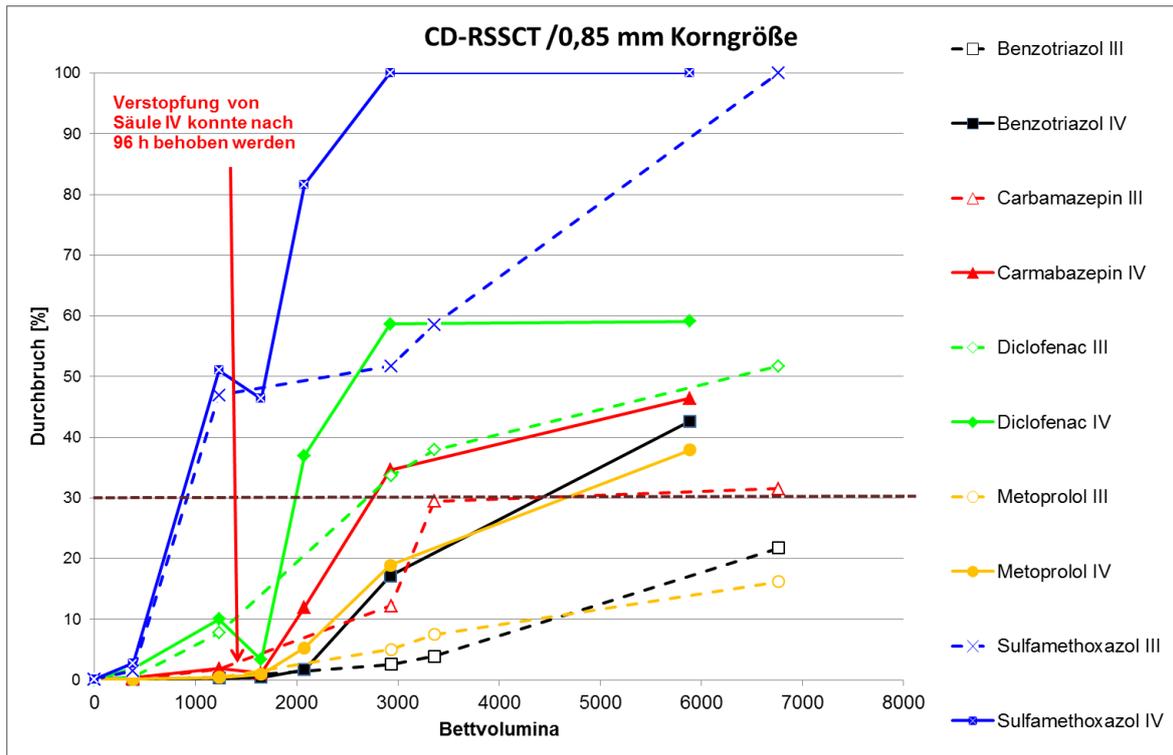


Abbildung 2-9: Durchbruchkurven der Säulen III und IV des CD RSSCT für die betrachteten Spurenstoffe 1H-Benzotriazol, Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol (blau).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse für jeden Spurenstoff unterschiedliche Rückhalteleistungen auf. In den Kleinfilterschnelltests auf der Kläranlage Neuss Ost wurden zwischen 2.000 bis 4.000 Bettvolumina für das auf der Beobachtungsliste der prioritären Stoffe stehende Analgetikum Diclofenac bis zum Erreichen des Durchbruchskriteriums erzielt. Das Durchbruchskriterium wurde für Sulfamethoxazol bereits nach ca. 1.000 bis 1.300 Bettvolumen erreicht. Für Metoprolol und 1H-Benzotriazol wurden mindestens 5.000 Bettvolumen bis zum Erreichen des Durchbruchskriteriums ermittelt. Für die weitere Betrachtung wird ein Austausch bzw. eine Regenerierung der granulierten Aktivkohle nach 3.000 Bettvolumen angenommen.

3 Überarbeitung der Varianten

3.1 Allgemeines

Auf Grundlage der Ergebnisse der Versuche in Kapitel 2 wird nachfolgend eine Überarbeitung einiger Varianten aus der ersten Phase der Machbarkeitsstudie [1] durchgeführt. Insbesondere konnten in der ersten Phase die notwendigen Dosierraten der PAK bzw. die erzielbaren Bettvolumina für die GAK-Filtration zum Erzielen einer weitestgehenden Spurenstoffelimination nur grob abgeschätzt werden. Dabei wurde z. B. in Abhängigkeit von dem Hintergrund-DOC bzw. den abfiltrierbaren Stoffen im Rohabwasser zur Adsorption die Dosierrate der PAK variiert.

Anhand der nun vorliegenden Versuchsergebnisse für die in Kapitel 2.2 ausgewählte Pulveraktivkohle bzw. der getesteten granulierten Aktivkohle (siehe Kapitel 2.3) wird ein Abgleich der Ergebnisse mit der bisherigen Anlagendimensionierung und falls notwendig eine Anpassung der Bemessungsannahmen sowie Kostenannahmen vorgenommen.

In der ersten Phase der Machbarkeitsstudien [1] wurden Adsorptionsverfahren vorgestellt, die auf der Kläranlage Neuss Ost verfahrenstechnisch und konstruktiv angepasst realisiert werden können. Die grundsätzlichen verfahrenstechnischen Lösungsansätze der Varianten, wie z. B. die maximale Beschickung der Adsorptionsstufe bis zum Trockenwetterzufluss, bleiben in dieser zweiten Phase weiterhin bestehen.

Die nachfolgenden Varianten wurden in der zitierten ersten Phase der Machbarkeitsstudie als mögliche Lösungen vorgeschlagen. Die Variantentitel beschreiben den Abwasserweg bei Trockenwetter bzw. das wesentliche Verfahrenstechnische Merkmal.

- V3: Ablauf der Nachklärung – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB)- Filtration
- V4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2)
- V4a: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in den Reaktionsraum – Filtration (Straße 2)
- V5: Filtermaterialaustausch gegen granulierten Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter (Kostenansatz aus der ersten Studie [1] nur zum Vergleich)

Im Rahmen der Überarbeitung der Varianten bleiben die bisherigen Ansätze zur Berechnung der Jahreskosten unverändert. Die Ermittlung der Jahreskosten erfolgte nach den Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen LAWA mit einem realen Zinssatz von $i = 3,0\%$ und Nutzungsdauern von 30 Jahren für Bautechnik und 15 Jahren für die eingesetzte Maschinen- und E-Technik über einen Nutzungszeitraum von $n = 30$ Jahren. Die Kostenansätze berücksichtigen bereits die Kosten für die Planung.

3.2 Variante 3: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration

Die in der ersten Phase der Machbarkeitsstudie erarbeitete Variante mit PAK Dosierung in einem Reaktionsraum und PAK-Abscheidung mit dem Verfahren ACTIFLO® zeichnet sich insbesondere durch den relativ geringen Flächenbedarf für die PAK-Abscheidung und der geringen zusätzlichen Filterbelastung aus.

Die mögliche Einbindung des Verfahren ACTIFLO® CARB in die Kläranlage Neuss Ost ist in der schematischen Darstellung des Blockschaltbildes Abbildung 3-1 dargestellt.

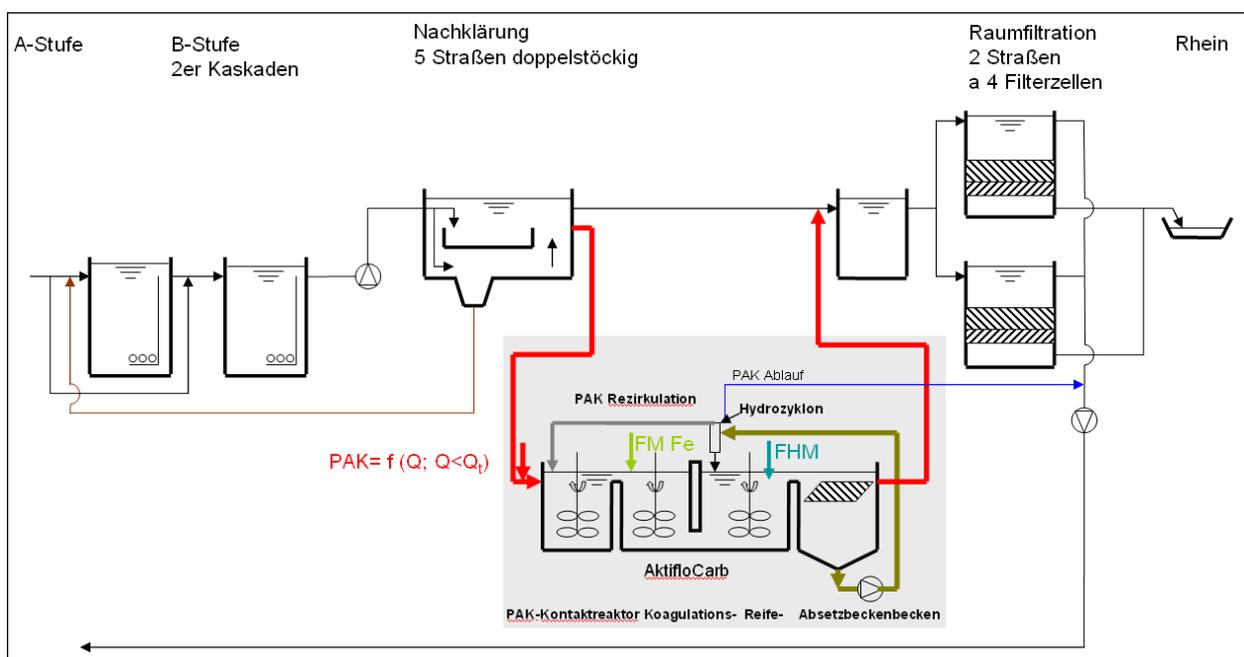


Abbildung 3-1: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung vor dem Filter [1]

Infolge der Versuchsergebnisse zur Eliminationsleistung mit den Pulveraktivkohlen HKP 1050 und HL 1050 der Firma CSC (vgl. Kapitel 2.2.2) wird die bisher angenommene Dosierrate von 10 mg/L PAK auf 11 mg/L PAK geringfügig erhöht, da die Ergebnisse eine nennenswerte Steigerung der Eliminationsleistung bei höheren Dosierraten zeigten. Positiv wird weiterhin das hohe Kohlealter infolge der PAK-Rückführung angesehen, deren Einfluss im Batchtest nicht untersucht wurde und daher nur abgeschätzt werden kann. Gegenüber der ersten Phase der Machbarkeitsstudie wird eine Anpassung der Dosierung der PAK und der davon abhängigen Fällmitteldosierung für die Kostenabschätzung durchgeführt. Dies führt zudem zu einer Steigerung des Schlamm-anfalls und der Entsorgungskosten. Aufgrund des vernachlässigbaren Einflusses der Änderungen auf die Maschinenteknik und den Investitionskosten bleiben alle weiteren Annahmen unverändert.

Für die PAK-Dosierung im Zulauf des Kontaktbeckens (Dosierrate 11 mg PAK/l) ergibt sich folgender Bedarf:

$$\blacksquare \quad 11 \text{ g PAK /m}^3 \cdot 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/d} \quad = \quad 646 \text{ kg PAK/d}$$

3 Überarbeitung der Varianten

Die Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid wird mit 0,2 g Fe/g PAK gewählt (der Lizenzträger gibt eine Flockungsmittelmenge als Fe von 1,0 bis 3,0 mg/l an). Dies entspricht einem Verhältnis von 0,1 bis 0,3 g Fe/g PAK bei einer Dosierung von 11 mg PAK/L

- $646 \text{ kg PAK/d} * 0,2 \text{ kg Fe/kg PAK} = 129 \text{ kg Fe/d}$
 - $129 \text{ kg Fe/d} * 2,5 \text{ kg TS /kg Fe} = \underline{323 \text{ kg TS/d}}$
- Schlammfall pro Tag insgesamt: 969 kg TS/d

Kostenannahme:

Die überarbeitete Kostenabschätzung kann Tabelle 3-1 entnommen werden. Die Änderungen wirken sich dabei nur auf die Betriebskosten aus.

Fazit

Mit der Variante 3 konnte gezeigt werden, dass eine „klassische“ Adsorptionsstufe auch unter den sehr beengten Platzverhältnissen der Kläranlage Neuss Ost umgesetzt werden könnte. Die Anordnung einer kombinierten doppelstöckigen Adsorptions- und Sedimentationseinheit könnte durch die Einbindung des ACTIFLO® CARB -Verfahrens realisiert werden.

Die Laborversuche zur Adsorptionsleistung von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffelimination bestätigen eine weitestgehende Elimination der Spurenstoffe von bis zu 90 % und mehr. Aufgrund der deutlichen Steigerung der Eliminationsleistung durch eine höhere Dosierung bei der Spurenstoffelimination im Zulauf zur Mehrschichtfiltration wird auf Grundlage der Laborversuche eine Erhöhung der Dosierate für diese Variante von 10 auf 11 mg/L PAK empfohlen.

Die Kosten für die Pulveraktivkohle, das zur PAK-Abscheidung erforderliche Fällmittel und die zusätzliche Schlammensorgung erhöhen sich dadurch um 10 %. Insgesamt betragen die Behandlungskosten 6,4 Cent pro m³ behandeltes Abwasser.

Die Berücksichtigung von Fördermitteln und auch die Verrechnung der Abwasserabgabe sind hierin nicht eingeflossen, haben aber auf die Erst-Investitionskosten und die zu erwartende CSB-Reduzierung einen erheblichen Einfluss.

Tabelle 3-1: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung vor dem Filter

Investitionskosten Variante 3:	Betrachtungszeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Jahreskosten	
								Jahre
Optimierung Nachklärung	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	10.204 €
Rohrpropellerpumpwerk	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	5.864 €
Baukonstruktion Adsorptionsstufe	2.400.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	122.446 €
Schlosserarbeiten	400.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	20.408 €
Maschinen-, E-MSR-Technik Adsorptionsstufe	670.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	56.124 €
Rohrleitung Kontaktbecken-Filter	100.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	8.377 €
PAK Lagersilo und -Dosiereinrichtung	240.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	20.104 €
Treibwasserleitung	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	838 €
Trinkwasser/Brauchwasser	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	838 €
Polymerstation	60.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	5.026 €
Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	5.864 €
Elektro- und MSR-Technik	40.000 €	30	ET	15	3,0%	0,083767	15	5.501 €
Summe								261.592 €

Betriebsmittelkosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei			spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Jahreskosten	
		Trockenwetter 2448 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor 50% pro Tag				Kosten pro Tag
PAK	11 mg/m³	26,9 kg/h	646,3 kg/d	50%	323,1	1,5 €/kg	485 €	176.917 €
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	1,3 m³/h	32,3 m³/d	50%	16,2	1 €/m³	16 €	5.897 €
Treibwasser (Filterablauf)	10 m³/h	10,0 m³/h	24,0 m³/d	100%	24,0	0,1 €/m³	2 €	876 €
Energie Pumpenförderung und Einmischung	6 kWh/h	6,0 kW	144,0 kW/d	50%	72,0	0,15 €/kWh	11 €	3.942 €
Energie Umwälzung Kontaktbecken	4 kWh/h	4,0 kW	96,0 kW/d	100%	96,0	0,15 €/kWh	14 €	5.256 €
Umwälzung Koagulations-, Injektionsbecken	20 kWh/h	20,0 kW	480,0 kW/d	100%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Umwälzung Reifebecken	20 kWh/h	20,0 kW	480,0 kW/d	100%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Krählwerk Absetzbecken	1 kWh/h	1,0 kW	24,0 kW/d	100%	24,0	0,15 €/kWh	4 €	1.314 €
Mikrosandrückführung	40 kWh/h	40,0 kW	960,0 kW/d	50%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Waschwasser	4 m³/h	4,0 m³/h	96,0 m³/d	50%	48,0	0,1 €/m³	5 €	1.752 €
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,2 kgFe/kgPAK	5,4 kg/h	129,3 kg/d	50%	64,6			
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM				468,3	0,15 €/kg	70 €	25.640 €
Polymerdosierung	0,6 gFHM/m³	1,5 kg/h	35,3 kg/d	50%	17,6	4 €/kg	71 €	25.733 €
Mikrosand	pauschal							2.000 €
Schlamm Entsorgung	27 %TS	0,1 m³/h	3,4 m³/d		1,7	80 €/m³	134 €	48.925 €
Pulveraktivkohle	90 % von PAK	24,2 kg/h	581,6 kg/d	50%	290,8			
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	13,5 kg/h	323,1 kg/d	50%	161,6			
Summe		37,7 kg/h	904,8 kg/d		452,4			
Personalkosten	20 h/Monat und Anlage	3 Dosieranlagen und Adsorptionsanlage				40 €/h	133 €	48.000 €
Summe							1.161 €	425.093 €

Jahreskosten Variante 3:	10.722.240 m³/a	0,064 € pro m³	686.685 €
-----------------------------	-----------------	----------------	-----------

3.3 Variante 4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2)

Die Variante 4 wurde entwickelt, um eine möglichst geringe Hintergrundbelastung an abfiltrierbaren Stoffen und CSB im Reaktionsraum zu erreichen. Die Dosierung der PAK und der Reaktionsraum wurden im Ablauf der Filtration angeordnet. Damit soll eine möglichst effiziente Beladung der Aktivkohle mit Spurenstoffe ermöglicht werden.

Die Filteranlage ist symmetrisch mit zwei Straßen à 4 Filterkammern aufgebaut. Variante 4 sieht vor, dass die beiden Straßen bei Trockenwetterzufluss nacheinander zweistufig durchflossen werden. Der Ablauf der Nachklärung wird zunächst auf eine Filterstufe geführt, die aus den vier südlichen Filterkammern besteht. Die Feststoffe und damit der partikuläre CSB werden aus dem Ablauf der Nachklärung entnommen. Nach dem Passieren dieser Filterstufe wird das dann nahezu feststofffreie Wasser der PAK-Adsorptionsstufe zugeführt. Anschließend wird das mit PAK behandelte Abwasser zur Entnahme der Rest-PAK auf die verbleibende 2. Filterstufe, bestehend aus den vier nördlichen Filterkammern, zur sicheren Abscheidung der Pulveraktivkohle geführt.

Bei Regenwetterzufluss ($Q > Q_t$) werden beide Filterstufen wieder parallel beschickt und für die Raumfiltration nach der bisherigen Betriebsweise eingesetzt. Die Förderung zur PAK-Adsorptionsstufe wird eingestellt. In Abbildung 3-2 ist das Prinzipschema der Anlage dargestellt.

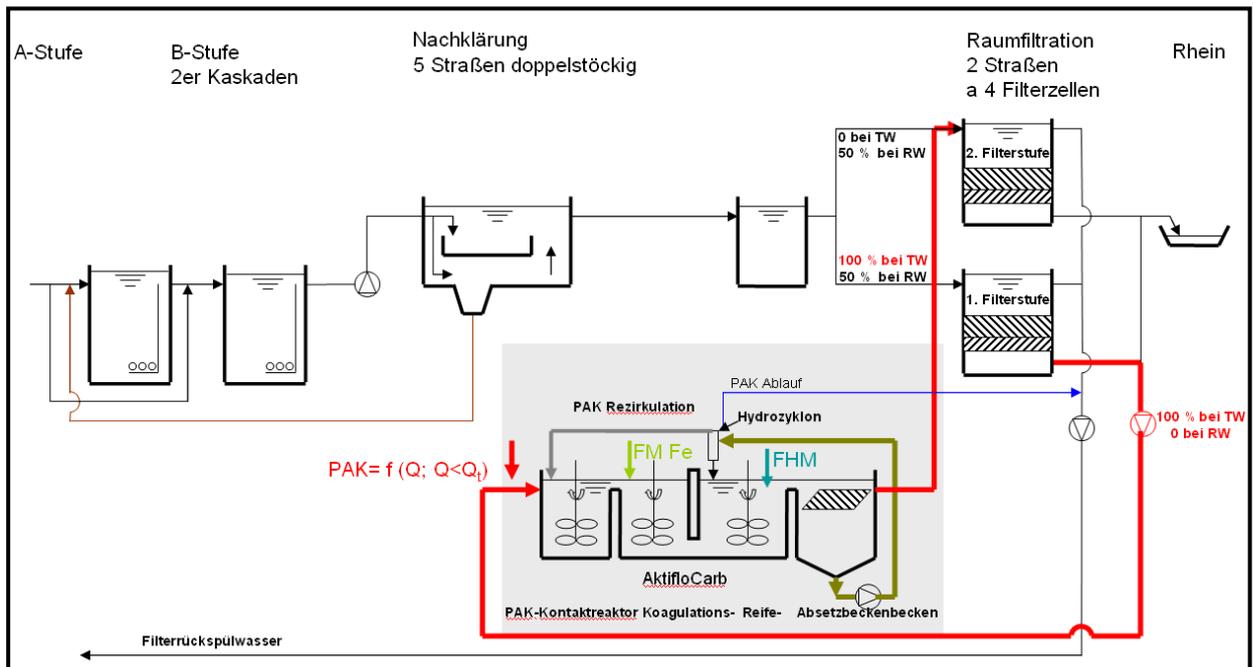


Abbildung 3-2: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung nach dem Filter

In der ersten Phase der Machbarkeitsstudie wurde aufgrund der angenommenen geringeren Hintergrundbelastung im Ablauf der Filteranlage, die sich negativ auf die Adsorptionskapazität der Aktivkohle für die Elimination der Spurenstoffe auswirkt, angenommen, dass die Dosiertrate um mindestens 1 mg PAK /l gegenüber der Variante 3 niedriger ausfallen kann. Die Versuchsergebnisse in Kapitel 2.2.2 bestätigen diese Annahme. Analog zu Variante 3 wird jedoch die in der ersten Phase angenommene Dosiertrate leicht erhöht, um eine höhere Elimination der Spurenstoffe zu erreichen. Daher wird im Folgenden eine Dosiertrate von 10 mg/L PAK statt den zuvor angenommenen 9 mg/L PAK angesetzt.

3 Überarbeitung der Varianten

Folgende Kenngrößen ändern sich gegenüber der ursprünglichen Variante aus Phase 1 der Machbarkeitsstudie.

PAK-Dosierung im Zulauf des Kontaktbeckens (Dosierrate 10 mg PAK/l)

$$\blacksquare \quad 10 \text{ g PAK /m}^3 * 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} \quad = \quad 588 \text{ kg PAK/d}$$

Die Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid wird mit 0,2 g Fe/gPAK gewählt. Der Lizenzträger gibt eine Flockungsmittelmenge als Fe von 1,0 bis 3,0 mg/l an. Dies entspricht einem Verhältnis von 0,1 bis 0,3 g Fe/g PAK bei einer Dosierung von 10 mg PAK/l.

$$\blacksquare \quad 588 \text{ kg PAK/d} * 0,2 \text{ kg Fe/kg PAK} = \quad 118 \text{ kg Fe/d}$$

$$\blacksquare \quad 118 \text{ kg Fe/d} * 2,5 \text{ kg TS/kg Fe} \quad = \quad \underline{295 \text{ kg TS/d}}$$

$$\text{Schlammanfall pro Tag insgesamt:} \quad \underline{883 \text{ kg TS/d}}$$

Kostenannahme:

Die Investitionskosten (Variante 4) z. B. für die Fällmittellager- und -dosierstation, die Dosierleitungen sowie ACTILO-CARB können der Tabelle 3-2 entnommen werden. In dieser Tabelle sind auch die angepassten Betriebskosten dargestellt.

Fazit

Die Laborversuche bestätigen, dass diese der Filtration nachgeschaltete Variante die höchsten Eliminationsgrade für Spurenstoffe der Kläranlage Neuss Ost ermöglicht. Die Dosierrate wurde für eine weitestgehende Spurenstoffelimination um 1 mg/L PAK gegenüber der Phase 1 der Machbarkeitsstudie angehoben.

Die Investitionskosten bleiben unverändert und liegen ca. 900.000 € höher als die der Variante 3. Die Behandlungskosten steigen aufgrund der höheren Dosierung der PAK und betragen nun 7,0 Cent pro m³ behandeltes Abwassers an.

Die Fördermitteln und auch die ggf. mögliche Verrechnung der Abwasserabgabe wurden nicht berücksichtigt.

Tabelle 3-2: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung nach dem Filter

Investitionskosten Variante 4:	Betrachtungszeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Jahreskosten	
								Jahre
Optimierung Nachklärung	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	10.204 €
Rohrpropellerpumpwerk	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	5.864 €
Baukonstruktion Adsorptionsstufe	2.400.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	122.446 €
Schlosserarbeiten	400.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	20.408 €
Maschinen-, E-MSR-Technik Adsorptionsstufe	670.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	56.124 €
Pumpwerk am Filter	450.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	37.695 €
Rohrleitung Filter-Adsorptionsstufe	200.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	16.753 €
Rohrleitung Adsorptionsstufe-Filter	150.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	12.565 €
Umbauten am Filter	200.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	16.753 €
PAK Lagersilo und -Dosiereinrichtung	240.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	20.104 €
Treibwasserleitung	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	838 €
Trinkwasser/Brauchwasser	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,083767	15	1.375 €
Polymerstation	60.000 €	30	MT	15	3,0%	0,083767	15	8.252 €
Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,083767	15	9.627 €
Elektro- und MSR-Technik	40.000 €	30	ET	15	3,0%	0,083767	15	5.501 €
Summe	5.170.000 €							344.509 €

Betriebsmittelkosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei			spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Jahreskosten	
		Trockenwetter 2448 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor 50% pro Tag				
PAK	10 mg/m³	24,5 kg/h	587,5 kg/d	50%	293,8	1,5 €/kg	441 €	160.834 €
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	1,2 m³/h	29,4 m³/d	50%	14,7	1 €/m³	15 €	5.361 €
Treibwasser (Filterablauf)	10 m³/h	10,0 m³/h	24,0 m³/d	100%	24,0	0,1 €/m³	2 €	876 €
Energie Pumpenförderung und Einmischung	20 kWh/h	20,0 kW	480,0 kW/d	50%	240,0	0,15 €/kWh	36 €	13.140 €
Energie Umwälzung Kontaktbecken	4 kWh/h	4,0 kW	96,0 kW/d	100%	96,0	0,15 €/kWh	14 €	5.256 €
Umwälzung Koagulations-, Injektionsbecken	20 kWh/h	20,0 kW	480,0 kW/d	100%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Umwälzung Reifebecken	20 kWh/h	20,0 kW	480,0 kW/d	100%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Krählwerk Absetzbecken	1 kWh/h	1,0 kW	24,0 kW/d	100%	24,0	0,15 €/kWh	4 €	1.314 €
Mikrosandrückführung	40 kWh/h	40,0 kW	960,0 kW/d	50%	480,0	0,15 €/kWh	72 €	26.280 €
Waschwasser	4 m³/h	4,0 m³/h	96,0 m³/d	50%	48,0	0,1 €/m³	5 €	1.752 €
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,2 kgFe/kgPAK	4,9 kg/h	117,5 kg/d	50%	58,8			
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM				425,7	0,15 €/kg	64 €	23.309 €
Polymerdosierung	0,5 gFHM/m³	1,2 kg/h	29,4 kg/d	50%	14,7	4 €/kg	59 €	21.444 €
Mikrosand	pauschal							2.000 €
Schlamm Entsorgung	27 %TS	0,1 m³/h	3,0 m³/d		1,5	80 €/m³	122 €	44.477 €
Pulveraktivkohle	90 % von PAK	22,0 kg/h	528,8 kg/d	50%	264,4			
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	12,2 kg/h	293,8 kg/d	50%	146,9			
Summe		34,3 kg/h	822,5 kg/d		411,3			
Personalkosten	20 h/Monat und Anlage	3 Dosieranlagen und Adsorptionsanlage				40 €/h	133 €	48.000 €
Summe							1.110 €	406.604 €

Jahreskosten Variante 4:	10.722.240 m³/a	0,070 € pro m³	751.113 €
---	-----------------	----------------	------------------

3.4 Variante 4a: Ablauf der Nachklärung - Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in Reaktionsraum – Filtration (Straße 2)

Wie in Variante 4 werden in Variante 4a zur optimalen Ausnutzung der Pulveraktivkohle für die Elimination von Spurenstoffen ein weitgehend vorgereinigtes Abwasser genutzt und eine ausreichende Kontaktzeit verfahrenstechnisch sichergestellt.

Durch Einbeziehung eines neuen, ausreichend dimensionierten Reaktionsraumes wird eine erforderliche lange Kontaktzeit ermöglicht und durch die Behandlung bereits einmal filtrierten Abwassers wird eine geringe Hintergrundbelastung erreicht, da im Filter ein Großteil der biologisch abbaubaren Substanzen mit der Suspensa zurückgehalten werden.

Wie bei der Variante 4 vorgestellt, wird der Ablauf der Nachklärung auf die 1. Filterstufe geleitet und filtriert. Bis zur Höhe des Trockenwetterzuflusses werden die im Ablauf der Nachklärung noch vorhandenen organischen Restverschmutzungen und damit auch CSB entnommen. Der PAK-Reaktionsraum wird somit mit weitgehend gereinigtem Wasser beschickt. In den Ablauf der Reaktionsbecken werden Lamellenabscheider eingesetzt, um einen möglichst hohen Rückhalt der Kohle vor der 2. Filterstufe zu erzielen und damit eine Reduzierung der Feststoffbelastung zu ermöglichen. Hierdurch kann eine höhere Konzentration der PAK im Reaktionsraum und bessere Beladung der Kohle durch eine Erhöhung des Kohlealters erreicht werden. Aus dem Reaktionsraum wird ein Teil der beladenen Kohle als Überschusskohle abgezogen.

Wird im Falle von Regenwetter die Trockenwetterzuflussmenge überschritten, wird die Fahrweise über die Spurenstoffelimination eingestellt und die Filtration wieder normal betrieben. Die verfahrenstechnische Einbindung zeigt Abbildung 3-3.

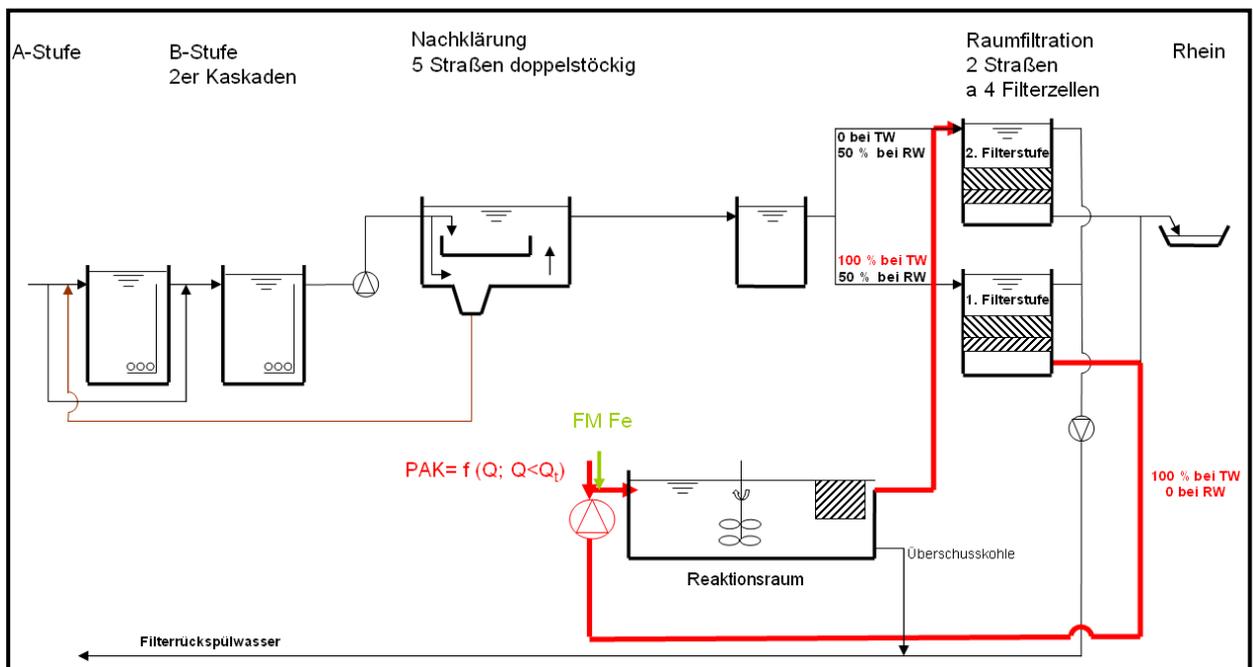


Abbildung 3-3: PAK-Dosierung nach dem Filter in neuem Reaktionsraum [1]

3 Überarbeitung der Varianten

Aufgrund der reduzierten Hintergrundbelastung und der Kontaktzeit wurde bei dieser Variante für den Wirtschaftlichkeitsvergleich im Rahmen der ersten Phase der Machbarkeitsstudie von einer Dosierate der „frischen“ Kohle für die Spurenstoffelimination von 12 mg/L PAK ausgegangen. Wie bei den Varianten 3 und 4 wird auch in dieser Variante die Dosierate um 1 mg/L PAK auf hier 13 mg/L PAK angehoben, um die Ergebnisse zur Adsorptionskapazität der ausgewählten Pulveraktivkohlen HKP 1050 und HL 1050 der Firma CSC zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Überarbeitung ergibt sich folgender Bedarf an PAK und Fällmittel:

- $13 \text{ g PAK /m}^3 * 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} = 764 \text{ kg PAK/d}$

Die Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid wird mit 0,15 g Fe/gPAK gewählt und ist gegenüber dem Actiflo-Verfahren mit Mikrosanddosierung in Variante 3 und 4 etwas geringer.

- $764 \text{ kg PAK/d} * 0,15 \text{ kg Fe/kg PAK} = 114 \text{ kg Fe/d}$

- $114 \text{ kg Fe/d} * 2,5 \text{ kg TS/kg Fe} = \underline{286 \text{ kg TS/d}}$

Schlammanfall pro Tag insgesamt: 1.051 kg TS/d

Annahme : Abzug von 30 % der Überschussskohle aus dem Reaktionsraum (Lamellenabscheider)

$$30\% * 1.051 \text{ kg TS/d} = -315 \text{ kg TS/d}$$

Feststoffbeladung der 2. Filterstufe bei Trockenwetter 736 kg TS/d

Raumbelastung der 2. Filterstufe (bei TW): $736 \text{ kg TS/d} / (220,4 * (0,4 + 1,5)) = 1,8 \text{ kg TS/m}^3\text{d}$

Die empfohlene Raumbelastung von 2,5 kg TS/m³*d wird trotz Erhöhung der Dosierate der PAK bei dieser Betriebsweise deutlich unterschritten.

Kostenannahme:

In der nachfolgenden Tabelle 3-3 sind die gesamten Investitionskosten aufgelistet sowie die geänderten Betriebskosten dargestellt.

Fazit

Die Variante 4a vereint die optimale Ausnutzung der vorhandenen Anlagenteile mit einer vom Investitionsumfang und –volumen kostengünstigen Spurenstoffelimination. Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle kann bis auf den gelösten CSB und die Reststoffe im Ablauf der 1. Filterstufe vollständig für die Mikroschadstoffentfernung genutzt werden. Aufgrund der noch deutlichen Steigerung der Eliminationsleistung mit höherer PAK-Dosierung wird auch für Variante 4a eine geringfügig höhere Dosierate empfohlen.

Die Betriebskosten sind trotz der höheren Dosierate geringer als bei der Variante 4, da keine Betriebsmittel für die Abscheidung vor der 2. Filterstufe eingesetzt werden

Die Behandlungskosten sind mit 4,3 Cent (netto) pro m³ behandeltes Abwasser sehr günstig.

Tabelle 3-3: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung nach der 1. Filterstufe in einem neuen Reaktionsraum und Abscheidung in der 2. Filterstufe

Investitionskosten Variante 4a:		Betrachtungszeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Jahreskosten	
			Jahre			Jahren			
Optimierung Nachklärung	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	10.204 €	
Neues Kontaktbecken	1.000.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	51.019 €	
Maschinentechnik Lamellenabscheider, Rührwerk	160.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	13.403 €
Pumpwerk, Verrohrung Kontaktbecken Filter	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	5.864 €
Umbauten am Filter, Trennwand, Zugang	200.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	10.204 €	
Pumpe für Überschussschleimabzug	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	838 €
PAK Lagersilo und -Dosiereinrichtung	240.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	20.104 €
Treibwasserleitung	10.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	838 €
Rinnenbelüftung	20.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	1.675 €
Fundament und Bautechnik	60.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	3.061 €	
Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung	70.000 €	30	MT	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	5.864 €
Fundament und Bautechnik	40.000 €	30	BT	30	3,0%	0,051019	0	2.041 €	
Elektro- und MSR-Technik	40.000 €	30	ET	15	3,0%	0,051019	15	0,641862	3.351 €
Summe								2.120.000 €	128.464 €

Betriebsmittelkosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei			spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Jahreskosten	
		Trockenwetter 2448 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor 50% pro Tag				
PAK	13 mg/m³	31,8 kg/h	763,8 kg/d	50%	381,9	1,5 €/kg	573 €	209.084 €
Lösewasser	0,05 m³/kg PAK	1,6 m³/h	38,2 m³/d	50%	19,1	1 €/m³	19 €	6.969 €
Treibwasser (Filterablauf)	10 m³/h	10,0 m³/h	24,0 m³/d	100%	24,0	0,1 €/m³	2 €	876 €
Energie Pumpenförderung und Einmischung	6 kWh/h	6,0 kW	144,0 kW/d	50%	72,0	0,15 €/kWh	11 €	3.942 €
Energie Umwälzung	3 kWh/h	3,0 kW	72,0 kW/d	100%	72,0	0,15 €/kWh	11 €	3.942 €
Belüftung der Rinnen	0,5 kWh/h	0,5 kW	12,0 kW/d	100%	12,0	0,15 €/kWh	2 €	657 €
Fällmittel (Wirksubstanz)	0,15 kgFe/kgPAK	4,8 kg/h	114,6 kg/d	50%	57,3			
(Fällmittelmenge)	0,138 kgFe/kgFM				415,1	0,15 €/kg	62 €	22.726 €
Schlammabfuhr	27 %TS	0,2 m³/h	3,6 m³/d		1,8	80 €/m³	144 €	52.658 €
Pulveraktivkohle	90 % von PAK	28,6 kg/h	687,4 kg/d	50%	343,7			
Fällschlamm	2,5 kgTS/kgFe	11,9 kg/h	286,4 kg/d	50%	143,2			
Summe		40,6 kg/h	973,8 kg/d		486,9			
Energiekosten für zusätzliche Filterspülungen	25 kWh/Zelle * Spülung	4,0 Zellen	100,0 kW/d	50%	50,0	0,15 €/kWh	8 €	2.738 €
Personalkosten	20 h/Monat und Anlage	2 Dosieranlagen und 1 Kontaktbecken				40 €/h	80 €	28.800 €
Summe						912 €	332.392 €	

Jahreskosten Variante 4a:	10.722.240 m³/a	0,043 € pro m³	460.856 €
-------------------------------------	-----------------	----------------	------------------

3.5 Variante 5: Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter

Der Austausch des Filtermaterials gegen Aktivkohle hat im Wesentlichen den Vorteil, dass nur geringe Umbauarbeiten erforderlich wären. Die wenigen bisher vorliegenden großtechnischen Erfahrungen im Abwasserbereich deuten darauf hin, dass die zu erzielenden Filterbettvolumina bis zum Austausch der granulierten Aktivkohle maßgebend für die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sind. Insbesondere scheint die Hintergrundmatrix des Abwassers von großer Bedeutung zu sein, damit die Adsorptionskapazität der A-Kohle für die Spurenstoffentnahme genutzt werden kann. Vorteilhaft wird daher ein möglichst feststofffreier Zulauf mit einer niedrigen CSB-Belastung angesehen.

Die Versuchsergebnisse für die granuliert Aktivkohle in Kapitel 2.3 zeigen ein rasches Erschöpfen der Adsorptionskapazität auf. Die Elimination von Diclofenac, das in die Beobachtungsliste der Prioritären Stoffe aufgenommen wurde, sank nach max. 3.000 Bettvolumina in allen Versuchssäulen auf unter 80 %. Ab 5.000 Bettvolumina konnte keiner der betrachteten Stoffe mehr zuverlässig zurückgehalten werden.

Für die weitere Kostenannahme wird angenommen, dass nach einer Filterlaufzeit von 3.000 Bettvolumina die Adsorptionskapazität für Spurenstoffe weitestgehend ausgeschöpft ist, so dass ein Austausch des Filtermaterials erforderlich wird. In der ersten Phase der Machbarkeitsstudie wurde die Annahme getroffen, dass 20.000 Bettvolumina bis zum Austausch der GAK erzielt werden können. Mit dieser Annahme von 20.000 Filterbettvolumina und einer Jahreswassermenge von 10,5 Mio. m³ ergab sich eine Laufzeit/Nutzungsdauer der granulierten Aktivkohle von

$$\blacksquare \quad 440,8 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} * 20.000\text{-fach} / 10.500.000 \text{ m}^3/\text{a} \quad = \quad 1,25 \text{ Jahre.}$$

Aufgrund der relativ hohen CSB-Hintergrundbelastung im Ablauf der Nachklärung der Kläranlage Neuss Ost wurde die Laufzeit und Nutzungsdauer der GAK für die Bemessung und Kostenabschätzung jedoch etwas niedriger mit einem Jahr angenommen. Dies entspricht 16.000 Filterbettvolumina.

Unter Heranziehung der im Laborversuch ermittelten maximal zu erzielenden 3.000 Filterbettvolumina für den Rückhalt von Diclofenac ergibt sich eine deutlich geringere Laufzeit von

$$\bullet \quad 440,8 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} * 3.000\text{-fach} / 10.500.000 \text{ m}^3/\text{a} \quad = \quad 0,19 \text{ Jahre.}$$

Nach dieser Zeit ist die verbrauchte Aktivkohle zu reaktivieren oder gegen neue auszutauschen.

Kostenannahme:

Die gegenüber der ersten Phase der Machbarkeitsstudie überarbeiteten Betriebskosten der Variante 5 können der Tabelle 3-4 entnommen werden. Die Investitionskosten wurden unverändert aus der ersten Phase der Machbarkeitsstudie übernommen.

Tabelle 3-4: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) mit granulierter Aktivkohle im Filter

Investitionskosten		Betrachtungszeitraum	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Re-invest nach	DFAKE (i;n)	Jahreskosten
Variante 5:								
			Jahre			Jahren		
Optimierung Nachklärung	200.000 €	30	BT	30	3,0% 0,051019	0		10.204 €
Ausbau vorhandene Filterschichten	35.000 €	30	BT	30	3,0% 0,051019	0		1.786 €
Anpassung des Filterspülprogrammes	25.000 €	30	MT	15	3,0% 0,051019	15	0,641862	2.094 €
Einbau der GAK-Erstbefüllung	600.000 €	30	BT	30	3,0% 0,051019	0		30.612 €
Anpassung Bautechnik Filtermaterialwechsel	50.000 €	30	BT	30	3,0% 0,051019	0		2.551 €
DOC Messung Filterbelastung	60.000 €	30	ET	15	3,0% 0,051019	15	0,641862	5.026 €
Elektro- und MSR-Technik	20.000 €	30	ET	15	3,0% 0,051019	15	0,641862	1.675 €
Summe		990.000 €						53.948 €

Betriebsmittelkosten	Kennwerte	Betriebsmittelbedarf bei			spezifische Kosten	Kosten pro Tag	Jahreskosten
		Trockenwetter 2448 m³/h pro Stunde	pro TW-Tag 24 h/d	mit Lastfaktor 50% pro Tag			
GAK	Standzeit spezifisches Gewicht GAK-Volumen je Filterzelle Aufwand Austausch	0,2 Jahre 0,5 t/m³ 83 m³/Zelle 40 Zellen pro Jahr			1500 €/t	6.822 €	2.490.000 €
Energiekosten für längere Filterspülungen	5 kWh/Zelle + Spülung	8,0 Zellen	40,0 kW/d	100% 40,0	5000 €/Austausch 0,15 €/kWh	6 €	200.000 € 2.190 €
Personalkosten	16 h/pro Filterzelle	40 Zellen werden pro Jahr gewechselt			40 €/h	71 €	25.600 €
Summe						6.899 €	2.717.790 €

Jahreskosten	10.722.240 m³/a	0,259 € pro m³	2.771.738 €
Variante 5:			

Fazit

Die Variante 5: „Filtermaterialaustausch gegen granulierte Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter“ ist eine bautechnisch einfach umsetzbare Lösung bei der die vorhandenen Bauwerke weitestgehend genutzt werden können.

Die Ergebnisse der Laborversuche mit der granulierten Aktivkohle AquaSorb 5000 ermöglichen jedoch keinen wirtschaftlich und verfahrenstechnisch sinnvollen Betrieb. Bei einer abgeschätzten Filterlaufzeit von 0,2 Jahren ergeben sich sehr hohe spezifische Jahreskosten von 25,9 Cent pro m³ behandeltes Abwasser. Eine an dieser Stelle nicht weiter vertiefte Grenzwertbetrachtung zeigt, dass bereits ab einer Unterschreitung der Filterlaufzeit von 0,75 Jahren bzw. 12.000 Bettvolumina diese Variante die teuerste ist.

4 Verfahrensempfehlung

4.1 Gegenüberstellung der Kostenabschätzungen der Varianten

In der nachfolgenden Tabelle sind die gegenüber der ersten Phase überarbeiteten Kosten für die einzelnen im Vorfeld beschriebenen Varianten gegenübergestellt. Dabei wurden keine Fördermittel für den Anlagenumbau/-erweiterung und Reduzierungen aus der Abwasserabgabe berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- Kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Schmutzwassermenge und Frischwassermenge der betrachteten Varianten (Variante 5 entspricht den Angaben der vorangegangenen Machbarkeitsstudie [1], Kosten basieren nicht auf Versuchsergebnissen)

Variante	V 3	V 4	V 4a	V 5
	Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration	Ablauf der Nachklärung – Filtration 1. Filterstufe - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration 2. Filterstufe	Ablauf der Nachklärung - Filtration 1. Filterstufe - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum – Filtration 2. Filterstufe	Filtermaterial-austausch gegen granulierten Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter
Investitionskosten (netto)	4.270.000 € 431%	5.170.000 € 522%	2.120.000 € 214%	990.000 € 100%
Kapitalkosten	261.592 € 38%	344.509 € 46%	128.464 € 28%	53.948 € 2%
Betriebskosten	425.093 € 62%	406.604 € 54%	332.392 € 72%	2.717.790 € 98%
Jahreskosten (netto)	686.685 € 100%	751.113 € 109%	460.856 € 67%	2.771.738 € 404%
Spezifische Jahreskosten 10.722.240	0,064 €/m ³	0,070 €/m ³	0,043 €/m ³	0,259 €/m ³
Anpassung der Abwassergebühren 8.684.533 <small>(Bezug: Wasserverbrauch Stadt Neuss 2009)</small>	0,079 €/m ³	0,086 €/m ³	0,053 €/m ³	0,319 €/m ³

Bei der Ermittlung der spezifischen Kosten wurde zum einen als Bezugsgröße die zu behandelnde Abwassermenge in Höhe von ca. 10,7 Mio. m³/a und zum anderen die Frischwassermenge (8,7 Mio. m³/a, Stand 2009) angesetzt, die einen Rückschluss auf eine Anpassung der Abwassergebühren ermöglicht.

Es ergeben sich für die Varianten 3, 4 und 4a, die eine PAK-Adsorption beinhalten, Mehrkosten der zusätzlichen Verfahrensstufe in Höhe von 0,043 bis 0,070 € je m³ behandelten Abwasser bzw. 0,053 bis 0,086 € je m³ Frischwasser. Durch die um 1 mg/L PAK erhöhte Dosierung gegenüber der ersten Phase der Machbarkeitsstudie [1] sind die spezifischen Kosten um ca. 0,003 € je m³ Frischwasser gestiegen.

Aufgrund der kurzen Filterstandzeit des GAK-Filters ergeben sich für Variante 5 die höchsten spezifischen Kosten von 0,259 € je m³ behandelten Abwasser.

Zum Vergleich dazu sind in Tabelle 4-2 aus [2] veröffentlichte Kosten für derartige Anlagen zusammengestellt. In Abbildung 4-1 sind zudem die spezifischen Jahreskosten in Abhängigkeit von der behandelten Abwassermenge und in Abbildung 4-2 in Abhängigkeit von der Frischwassermenge dargestellt.

4 Verfahrensempfehlung

Die Bandbreite dieser Literaturzusammenstellung (ohne KA Schwerte) von 0,03 bis 0,09 €/m³ Schmutzwasser bzw. 0,24 €/m³ Frischwasser zeigt, dass die Kostenansätze der Machbarkeitsstudie für die PAK-Adsorption sich im Rahmen der Literaturwerte bewegen. Dagegen liegen die bisher abgeschätzten Kosten für Variante 5 nun deutlich über den Literaturangaben. Die Kosten der Kläranlage Schwerte sind nicht vergleichbar, da hier die Kosten für den Kombinationsbetrieb „Aktivkohle“ und „Ozon“ enthalten sind.

Tabelle 4-2: Kostenvergleich von Aktivkohleanlagen [2]

Kläranlage	EW	Spez. Jahreskosten bezogen auf		Status quo (Stand 06/2012)
		Schmutzwasser [€/m ³] ¹	Frischwasser [€/m ³] ¹	
KA Mannheim	145.000	0,05	0,07	In Betrieb
KW Steinhäule (Ulm)	400.000	0,08 (0,02) ^{2,3}	0,19 (0,13) ^{2,3}	Baubeginn
KA Böblingen-Sindelfingen	250.000	0,03 (0,03) ²	0,07 (0,06) ²	In Betrieb
KA Stockacher Aach	48.000	0,07	0,14	In Betrieb
KA Kressbronn- Langenargen	30.000	0,08-0,09	0,16	In Betrieb
KA Schwerte (PAK)	50.000	0,13	0,34	In Betrieb
KA Obere Lutter	380.000	0,06	0,11	Teilbetrieb+ Bau
KA Dülmen (PAK)	55.000	0,06 ⁵	0,37 ⁵	Planung
KA Lage (GAK)	80.000	0,09 (0,08) ²	0,24 (0,22) ²	Vorplanung
KA Neuss Ost (Variante 4)	280.000	0,04 - 0,07 (0,02 - 0,04) ^{3,4}	0,05 - 0,09 (0,03 - 0,05) ^{3,4}	Studie

¹ Ohne Berücksichtigung der Förderung der Investitionskosten und Reduzierung der Abwasserabgabe

² Werte in Klammern unter Berücksichtigung der Reduzierung der Abwasserabgabe

³ Unter Berücksichtigung der Förderung der Investitionskosten

⁴ Nach HILBIG und HERBST (2012)

⁵ NAHRSTEDT et al., (2012)

4 Verfahrensempfehlung

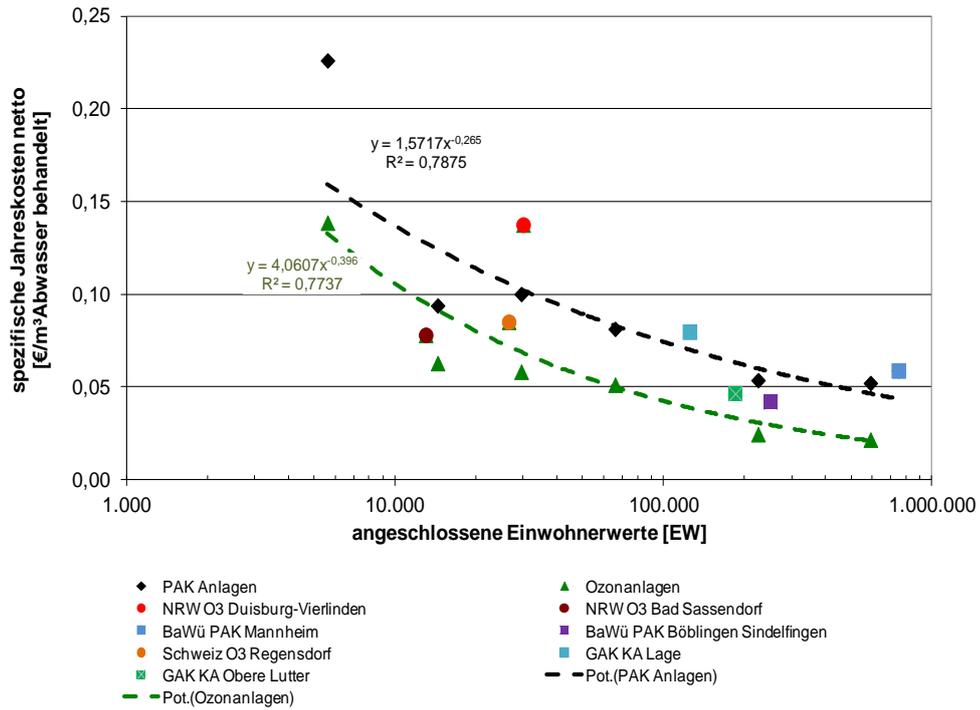


Abbildung 4-1: Spezifische Jahreskosten (Abwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerten [2]

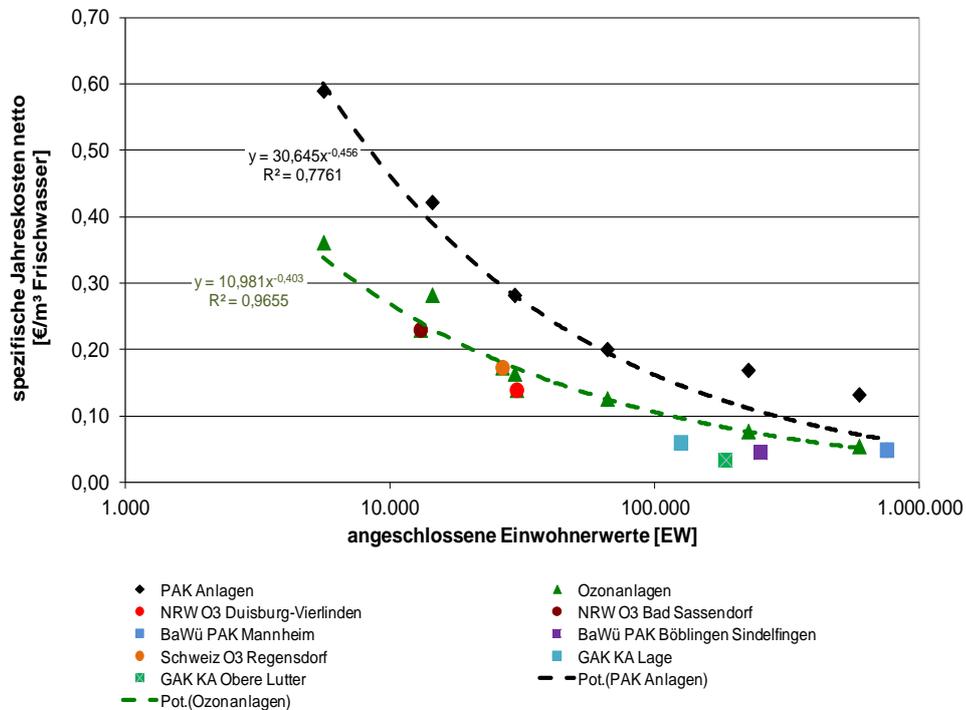


Abbildung 4-2: Spezifische Jahreskosten (Frischwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerten [2]

Durch die finanzielle Förderung der Investitionen des Landes NRW in Höhe von derzeit 70 % bis zum 31.12.2013 und danach 60 % der Herstellungskosten für die Erstinvestition können, je nach Umfang der Investitionsmaßnahmen der einzelnen Varianten, die Jahreskosten gegenüber einer alleinigen Kostenübernahme durch den Anlagenbetreiber reduziert werden. Außerdem kann von einer Reduzierung der Abwasserabgabe aufgrund einer Absenkung des CSB-Ablaufwertes sowie der Ablaufwerte der Nährstoffparameter ausgegangen werden. In der ersten Phase der Machbarkeitsstudie wurde unter Berücksichtigung der Förderung und der reduzierten Abwasserabgabe eine Senkung der spezifischen Behandlungskosten für die Varianten 3, 4 und 4a von 0,028 bis 0,042 € je m³ Frischwasser ermittelt. Diese Kostenreduzierung kann grundsätzlich weiterhin angenommen werden, wobei die Absenkung des CSB-Ablaufwertes um 20 mg/L unter Berücksichtigung der durchgeführten Versuche, bei denen eine Reduzierung um ca. 10 mg/L CSB festgestellt wurde, als optimistisch angesehen werden muss. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass durch den stichprobenartigen Laborversuch die Schwankungen der Ablaufwerte der Kläranlage nicht abgebildet werden.

4.2 Technische Verfahrensempfehlung

Die technische Verfahrensempfehlung für die Verfahren mit Einsatz von Pulveraktivkohle wurde durch die Ergebnisse der Laboruntersuchungen bestätigt. Als wesentliche Erkenntnis aus den Versuchen wird die Erfordernis einer möglichst geringen Belastung der PAK-Anlage mit der konkurrierenden Hintergrundbelastung angesehen. Die Ertüchtigung der Nachklärung ist somit Grundvoraussetzung für eine sparsame Aktivkohle Nutzung.

Im Vergleich zur ersten Phase der Machbarkeitsstudie wird eine um jeweils 1 mg/L PAK höhere Dosierate zur weitgehenden Spurenstoffelimination empfohlen. Die Pulveraktivkohlen PHC HL 1050 und PHC HKP 1050 der Firma CSC Aktivkohle und ggf. die Kohle Aqua Sorb 5000P PAC-S bieten sich aufgrund ihrer im Laborversuch gezeigten hohen Eliminationsleistung für Spurenstoffe für den großtechnischen Einsatz an.

Eine Verfahrensempfehlung für Variante 5 „Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter“ kann nicht gegeben werden. Die Kleinfiltertestes ergaben eine zu kurze Filterlaufzeit für einen sinnvollen Anlagenbetrieb.

In der nachfolgenden Tabelle 4-4 wurde eine Überarbeitung der Bewertung aus der ersten Phase der Machbarkeitsstudie vorgenommen. Die höchste Punktzahl bedeutet dabei die beste Bewertung. Die Bewertung berücksichtigt die Kostenabschätzung sowie betriebliche und bauliche Aspekte.

Zunächst sind einige Grundvoraussetzungen zur Anlagenerrichtung darzustellen, die unabhängig von den Varianten zu sehen sind und in Anlehnung an die erste Phase der Machbarkeitsstudie übernommen werden:

1. Die Anlagen werden auf den maximalen Trockenwetterzufluss ausgelegt, d. h. bei Regenwetter wird die Wassermenge, die den Bemessungsfluss übersteigt, im Bypass abgeleitet.
2. Der Einsatz von Ozon zur Spurenstoffelimination scheint aufgrund der hohen Bromat-Werte nicht zielführend zu sein.
3. Aufgrund steigender Preise für Pulveraktivkohle sind die Randbedingungen der Adsorptionsstufe derart zu gestalten, dass möglichst wenige Konkurrenzstoffe, wie z. B. CSB und AFS die Adsorption der Spurenstoffe behindern.
4. Die Ertüchtigung der Nachklärung ist eine Grundvoraussetzung für eine sparsame Aktivkohlenutzung und daher zwingend erforderlich.
5. Aufgrund einer bereits heute hohen Belastung der Filtration sind die Belastungen der Filteranlage durch zusätzliche Feststoffe gering zu halten.

4 Verfahrensempfehlung

6. Für die mit der Herstellung einer Spurenstoffeliminationsanlage anfallenden Kosten inkl. der Aufwendungen einer erforderlichen Anlagenoptimierung nach Bauabschluss sind derzeit Fördermittel von bis zu 70 % bis zum 31.12.2013 und danach 60 % beim Land NRW zu erhalten.
7. Durch die Zugabe von Aktivkohle kann der CSB im Ablauf der Kläranlage deutlich reduziert werden, ebenso die Konzentrationen an Phosphat-Phosphor ($\text{PO}_4\text{-P}$) und Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$).

Auf Basis der Kostenermittlungen sowie betrieblicher und baulicher Aspekte wurde die Variantenauswahl auf Basis von Laborversuchen weiter verfeinert und die unterschiedlichen Verfahren bewertet. Bei der Ermittlung der Investitionskosten wurden keine Förderungen des Landes eingerechnet. Ebenso wurden Kostenreduzierungen der Abwasserabgabe z. B. durch eine weitergehende Reduzierung der CSB- und Phosphor-Konzentration im Kläranlagenablauf nicht berücksichtigt. An betrieblichen und baulichen Aspekten wurden bewertet:

- Eliminationsleistung Spurenstoffe
- Verbesserung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges})
- Beeinflussung des Filtrationsbetriebs (Belastung der Filterflächen mit zusätzlichen Feststoffen)
- Betriebs- und Wartungsaufwand (insbesondere bei zusätzlichen Aggregaten aber auch Einfluss der Aktivkohle durch Anhaftungen und Reinigungsaufwand)
- Stand der Technik – Wissenschaft (Umsetzung vergleichbarer Referenzlage bzw. Erfahrungen in unterschiedlichen Pilotprojekten oder Forschungsanlagen mit den vorgestellten Techniken)
- Integration in die KA Neuss Ost (Berücksichtigung der beengten Platzverhältnisse in Neuss Ost, Größe der zu errichtenden Bauwerke).

Von großer Bedeutung sind:

- die Kosten (hier in Form von Kapital- und Betriebskosten, die in Summe die Jahreskosten ausmachen)
- die zu erwartenden Eliminationsleistungen der Spurenstoffe wie auch der CSB-Reduzierung
- die Beeinflussung des Filterbetriebs durch zusätzliche Feststofffrachten aus der Aktivkohle

Daher wurde festgelegt, dass die Gewichtungen monetärer und technischer Aspekte gleichwertig sind (50 % der Gewichtung).

Hinsichtlich der Investitionskosten und Betriebskosten sind die Betriebskosten von größerer Bedeutung für die Jahreskosten, da in der Technik der Abwasserbehandlung lange Nutzungszeiträume und Abschreibungszeiträume die Regel sind und somit die kapitalisierten Investitionskosten oft geringer sind. Daher wurde eine Gewichtung von 30 % Kapitalkosten und 70 % Betriebskosten gewählt. Dies ergibt bei einer Gewichtung von 50 % für monetäre Aspekte die prozentuale Gewichtung in Tabelle 4-4. Dabei wurden 15 Punkte jeweils für die niedrigsten Kapitalkosten und Betriebskosten vergeben. Die Punkte der anderen Varianten wurden durch Multiplikation der maximal möglichen Punktzahl mit dem Anteil der niedrigsten Kosten an den Kosten der zu bewertenden Variante abgemindert.

Bei allen betrachteten Verfahrensvarianten ist es erforderlich, die Nachklärung zu ertüchtigen, um die Konkurrenz von partikulärem und gelöstem CSB gegenüber den Spurenstoffen bei der Adsorption zu entschärfen. D. h. je weniger CSB partikulär oder gelöst der Adsorptionsanlage zufließt, umso mehr können organische Spurenstoffen adsorbiert bzw. weniger Aktivkohle muss eingesetzt werden. Im Rahmen der Betriebskostenermittlung wurde dies durch die unterschiedlichen Dosiermengen berücksichtigt.

Für die Bewertungsparameter der technischen Aspekte wurde ein Bewertungssystem in Anlehnung an Schulnoten vergeben und dieses mit Punkten belegt. Die Note 1 entspricht 15 Punkten, die Note 2 ent-

sprechend 10 Punkten und die Note 3 entspricht 5 Punkten. Die kleinste Teilung sind Halbnotenschritte (2,5 Punkte). Die einzelnen Bewertungskriterien wurden gewichtet. Dabei entsprechen die Schulnoten folgenden verbalen Bewertungen:

Tabelle 4-3: Verbale Bewertung der technischen Aspekte und Punktevergabe

Note	Punkte	Verbale Bewertung			
		Eliminationsleistung Spurenstoffe / Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, P _{ges} ,	Beeinflussung des Filtrationsbetriebs / Betriebs- und Wartungsaufwand	Stand der Wissenschaft – Technik, Referenzanlagen	Integration in die KA Neuss Ost
1	15	sehr hoch		größentechnisch erprobt	sehr einfach
	12,5	hoch		teilweise größentechnisch erprobt	einfach
2	10	gut	gering		mittel
	7,5	noch gut	mittel bis hoch	(teilw.) in Versuchen erprobt	schwierig
3	5	mittel	hoch		

Für die technischen Aspekte (Wichtung in 5%-Schritten) hat die Elimination der Spurenstoffe die größte Bedeutung, daher eine Wichtung von 15 %. Direkt im Ranking dahinter wird eine mit der PAK-Dosierung gesehene Verbesserung der sonstigen Überwachungsparameter gesehen (Wichtung 10 %). Gleichrangig gewichtet wurde die Beeinflussung des Filtrationsbetriebes. Da die verbleibenden Aspekte (Betriebs- / Wartungsaufwand, Stand der Technik - Wissenschaft, Integration in die vorhandene Anlage) nicht eindeutig gerankt werden konnten, werden diese Aspekte alle gleich mit 5 % gewichtet. Die einzelne Wertung eines Aspektes ergibt sich aus der Multiplikation von Wichtung [%] * Punkte [Zahl].

Tabelle 4-4: Bewertung der Varianten

Variante	Wichtung [%]	V 3			V 4			V 4a			V 5		
		Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) - Filtration			Ablauf der Nachklärung - Filtration 1. Filterstufe - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) - Filtration 2. Filterstufe			Ablauf der Nachklärung - Filtration 1. Filterstufe - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum - Filtration 2. Filterstufe			Filtermaterialaustausch gegen granulierten Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter		
		Wertung	Punkte	Wertung	Wertung	Punkte	Wertung	Wertung	Punkte	Wertung	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten		4.270.000 €			5.170.000 €			2.120.000 €			990.000 €		
Rest-Investitionskosten bei 70% Förderung		1.281.000 €			1.551.000 €			636.000 €			297.000 €		
Kapitalkosten	15%	261.592 €	3,1	0,5	344.509 €	2,3	0,4	128.464 €	6,3	0,9	53.948 €	15,0	2,3
Betriebskosten	35%	425.093 €	11,7	4,1	406.604 €	12,3	4,3	332.392 €	15,0	5,3	2.717.790 €	1,8	0,6
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		4,6			4,6			6,2			2,9	
Eliminationsleistung Spurenstoffe (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 Pkt))	15%	hoch	12,5	1,9	sehr hoch	15,0	2,3	gut	10,0	1,5	gut	10,0	1,5
Verbesserung der Reinigungsleistung CSB, AFS, Pges (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 Pkt))	10%	hoch	12,5	1,3	sehr hoch	15,0	1,5	hoch	7,5	0,8	noch gut	7,5	0,8
Beeinflussung des Filtrationsbetriebs (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 Pkt))	10%	gering	10,0	1,0	gering	10,0	1,0	hoch	5,0	0,5	hoch	5,0	0,5
Betriebs- und Wartungsaufwand (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))	5%	mittel bis hoch	7,5	0,4	mittel bis hoch	7,5	0,4	hoch	5,0	0,3	hoch	5,0	0,3
Stand der Technik - Wissenschaft Referenzlage (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 PKT))	5%	größtenteils erprobt	15,0	0,8	größtenteils erprobt	15,0	0,8	teilw. in Versuchen erprobt	7,5	0,4	in Versuchen erprobt	7,5	0,4
Integration in die KA Neuss Ost (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 PKT))	5%	einfach	12,5	0,6	einfach	12,5	0,6	schwierig	7,5	0,4	sehr einfach	15,0	0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,9			6,5			3,8			4,1	
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		10,4			11,1			9,9			7,0	

In Hinblick auf die erste Phase der Machbarkeitsstudie war bei den Kapitalkosten keine Anpassung der Bewertung erforderlich. Die Betriebskosten sind aufgrund der höher angesetzten PAK-Dosierung geringfügig gestiegen. Im Vergleich zur ersten Phase wurden nun nur die Verfahren bewertet, die auch in die weitere Auswahl genommen werden. Für die technische Bewertung werden auch neuere Erkenntnisse zu Verfahren in die Bewertung mit einbezogen.

Die Varianten 3 und 4 führen zu keiner zusätzlichen und wenn überhaupt nur sehr geringen Mehrbelastung des Filters, da die PAK in einer separaten Sedimentationsstufe zurückgehalten werden. Bedingt durch diese zusätzliche Verfahrensstufe zum Feststoffrückhalt sind die Investitionskosten bei diesen Varianten deutlich höher.

Bei der Variante 4 und 4a ist von niedrigeren PAK-Dosiermengen auszugehen, da hier vor der Adsorption bereits alle Konkurrenzstoffe weitestgehend durch eine Filtration entnommen werden können und so die Adsorptionskapazität den Spurenstoffen zur Verfügung steht. Die Variante 4a führt durch eine geringere Rückhalteleistung der PAK aber zu einer höheren Feststoffbelastung des Filters und zu einer etwas geringeren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der PAK, so dass etwas höhere Dosiermengen als in Variante 4 angenommen wurden.

Die Variante 5 ist aufgrund der geringen zu erzielenden Bettvolumina und den damit verbundenen häufigen GAK-Austausch bzw. GAK-Regeneration nicht zu empfehlen. Um mit den Varianten 3, 4 und 4a unter wirtschaftlichen Aspekten gleichwertig zu sein, müssten ca. 12.000 Bettvolumina erreicht werden, was eine 4-fache Steigerung des bisher ermittelten Wertes entspricht.

4 Verfahrensempfehlung

Als abschließende Empfehlung kann gegeben werden, eine Anlage entsprechend der Variante V3, V4a oder V4 zu errichten.

Die Variante 4 hat weiterhin wie in der ersten Phase der Machbarkeitsstudie die höchste Bewertung bekommen. Unter Berücksichtigung der Aspekte

1. Zuverlässigkeit
2. Reinigungsleistung (erhöhte Spurenstoff- und weitergehende CSB-Entfernung)
3. Ausnutzung der Aktivkohle (verminderte Betriebskosten)
4. Beeinflussung des Betriebs der Filteranlage (Betriebsstabilität)
5. Betriebserfahrung

stellt die Variante 4 die Vorzugsvariante dar.

Werden bei der Kostenbetrachtung außerdem die Fördermittel des Landes NRW in Höhe von 70 % (60 % ab 2014) bezogen auf die Investitionskosten sowie eine bei dieser Variante zu erwartende größtmögliche CSB-Reduzierung mit der Folge einer reduzierten Abwasserabgabe in Ansatz gebracht, so fällt das Votum für die Variante 4 noch deutlicher aus.

Köln, den 21.11.2013

Dr.-Ing. Heinrich Herbst

Christian Maus, M.Sc.

5 Literaturverzeichnis

[1]	Herbst, H.; Hilbig, R. (2012): Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost, Machbarkeitsstudie – Phase I
[2]	Mertsch, V.; Herbst, H.; Alt, K. (2013): Kosten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen, In: Pinnekamp, J. (Hrsg.) 46. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 13.3 – 15.3.2013, Aachen
[3]	Nahrstedt, A., Benstöm, F., Alt, K., Burbaum, H., (2012): GAK zur Mikroschadstoffelimination in vorhandenen Abwasserfiltrationsanlagen: Kläranlagen Obere Lutter und Düren-Merken, Symposium Mikroschadstoffe, 21.06.2013, Düsseldorf
[4]	Böhler, M., Wittmer, A., Heisele, A., Wohlhausser, A., Salhi, L., von Gunten, U., Siegrist, H., Mc Ardell, Ch., Longrée, P., Beck, B., (2013): Berichterstattung: Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der Ara Neugut, Bafu, Bern
[5]	Crittenden, J.C., Berrigan, J.K., Hand, D.W. (1986): Design of rapid small-scale adsorption tests for a constant diffusivity. J. Water Pollution. Control Fed, 58(4): 312–319.
[6]	Crittenden J. C., Berrigan, J.K., Hand, D.W. (1987): Design of rapid fixed-bed adsorption tests for non constant diffusivities. J. Environ. Eng, 113(2): 243–259.
[7]	Corwin, C.J. and Summers, R.S. (2011): Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular activated carbon adsorbents after intermittent loading and throughout backwash cycles. Water Research, 45: 417-426.