



**InfraStruktur Neuss**

Machbarkeitsstudie

# **Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost**

gefördert durch:

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



**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. Ralf Hilbig

## Inhaltsverzeichnis

|                              |                                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Inhaltsverzeichnis</b>    | <b>III</b>                                                                                                                                                           |           |
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> | <b>V</b>                                                                                                                                                             |           |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>   | <b>VI</b>                                                                                                                                                            |           |
| <b>Planverzeichnis</b>       | <b>VIII</b>                                                                                                                                                          |           |
| <b>1</b>                     | <b>Veranlassung</b>                                                                                                                                                  | <b>9</b>  |
| <b>2</b>                     | <b>Analyseergebnisse</b>                                                                                                                                             | <b>11</b> |
| <b>3</b>                     | <b>Mikroschadstoffentfernung mittels großtechnischer Anlagen (Stand der Technik)</b>                                                                                 | <b>14</b> |
| 3.1                          | Diskussion von Grenzwerten bei der Abwasserbehandlung                                                                                                                | 14        |
| 3.2                          | Überblick möglicher Verfahrenstechniken                                                                                                                              | 15        |
| 3.3                          | Aktivkohleadsorption mit pulverisierter Aktivkohle (PAK)                                                                                                             | 17        |
| 3.3.1                        | Pulveraktivkohledosierung im Ablauf der Nachklärung in separaten Kontaktbecken mit nachgeschalteter Filtration („klassische“ Adsorptionsstufe)                       | 17        |
| 3.3.1.1                      | „klassische“ Adsorptionsstufe                                                                                                                                        | 17        |
| 3.3.1.2                      | ACTIFLO® CARB Adsorptionsstufe                                                                                                                                       | 21        |
| 3.3.2                        | Pulveraktivkohledosierung in den Zulauf zur Filtration ohne separates Kontaktbecken                                                                                  | 22        |
| 3.3.3                        | Pulveraktivkohledosierung in den Zulauf zur Filtration mit separatem Kontaktbecken (Flockungsraum)                                                                   | 23        |
| 3.4                          | Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle                                                                                                                 | 24        |
| 3.5                          | Ozonierung                                                                                                                                                           | 26        |
| <b>4</b>                     | <b>Technische Bedingung der Filter</b>                                                                                                                               | <b>28</b> |
| 4.1                          | Kurzbeschreibung der Abwasserbehandlung der Kläranlage Neuss Ost                                                                                                     | 28        |
| 4.2                          | Nachklärung der Kläranlage Neuss Ost                                                                                                                                 | 28        |
| 4.3                          | Filtrationsanlage der Kläranlage Neuss Ost                                                                                                                           | 29        |
| <b>5</b>                     | <b>Varianten</b>                                                                                                                                                     | <b>35</b> |
| 5.1                          | Referenz: „Klassische“ Adsorptionsstufe                                                                                                                              | 36        |
| 5.2                          | Variante 1: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter                                                                                             | 38        |
| 5.3                          | Variante 2: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum – Filtration                                                                               | 49        |
| 5.4                          | Variante 3: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration                                     | 56        |
| 5.5                          | Variante 4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTIFLO-CARB) – Filtration (Straße 2) | 65        |

|          |                                                                                                                      |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.6      | Variante 4a: Ablauf der Nachklärung - Filtration (Straße 1) – PAK-Dosierung in Reaktionsraum – Filtration (Straße 2) | 72        |
| 5.7      | Variante 5: Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter                           | 79        |
| <b>6</b> | <b>Verfahrensempfehlung</b>                                                                                          | <b>83</b> |
| 6.1      | Gegenüberstellung der Kostenabschätzungen der Varianten                                                              | 83        |
| 6.2      | Technische Verfahrensempfehlung                                                                                      | 84        |
| 6.3      | Berücksichtigung der Landesförderung und der Reduzierung der Abwasserabgabe                                          | 87        |
| <b>7</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>                                                                                          | <b>91</b> |
| <b>8</b> | <b>Anhang</b>                                                                                                        | <b>95</b> |
| 8.1      | Untersuchungsergebnisse des Screenings                                                                               | 95        |

## Abbildungsverzeichnis

|                 |                                                                                                                                         |    |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 3-1:  | Verfahrensschritte zur Mikroschadstoffelimination [2]                                                                                   | 16 |
| Abbildung 3-2:  | Verfahrenstechnische Einbindung der Adsorptionsstufe in den Klärprozess [1]                                                             | 18 |
| Abbildung 3-3:  | Schematische Darstellung der Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung auf den Kläranlagen Ulm-Steinhäule und Mannheim (nach [25] und [26]) | 21 |
| Abbildung 3-4:  | Verfahrensschema Sedimentationseinheit ACTIFLO®                                                                                         | 22 |
| Abbildung 3-5:  | Dosierung von PAK und Flockungsmittel in den Flockungsraum des Sandfilters (Prinzip der Flockungsfiltration) aus [5]                    | 24 |
| Abbildung 3-6:  | Schematische Darstellung der Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung auf den Kläranlagen Schwerte (aus [2] verändert nach [11])           | 26 |
| Abbildung 5-1:  | Lageplan mit Erweiterungsflächen                                                                                                        | 37 |
| Abbildung 5-2:  | PAK Dosierung direkt auf den Filter                                                                                                     | 38 |
| Abbildung 5-3:  | AFS-Verlauf im Zu- und Ablauf der Pilotfiltration (zur KA Kloten) mit und Eisen <sup>3+</sup> zu PAK Verhältnissen [6]                  | 40 |
| Abbildung 5-4:  | Mittlere Werte des BSB <sub>5</sub> , CSB, N und P in abfiltrierbaren Stoffen aus [40]                                                  | 41 |
| Abbildung 5-5:  | Einflussgrößen und - faktoren auf die Filtrationsleistung einer Sandfiltration                                                          | 41 |
| Abbildung 5-6:  | Übersichtsplan PAK-Dosierung direkt auf den Filter                                                                                      | 45 |
| Abbildung 5-7:  | PAK Dosierung im Bypass vor dem Filter                                                                                                  | 50 |
| Abbildung 5-8:  | Übersichtslageplan PAK-Dosierung im Bypass vor dem Filter                                                                               | 51 |
| Abbildung 5-9:  | PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung vor dem Filter                                                                     | 57 |
| Abbildung 5-10: | Lageplan PAK Dosierung im Kontaktraum und ACTIFLO® CARB Abscheider vor dem Filter                                                       | 58 |
| Abbildung 5-11: | Schnitt durch die doppelstöckige Adsorptionsstufe                                                                                       | 61 |
| Abbildung 5-12: | Grundriss des Kontaktbeckens                                                                                                            | 62 |
| Abbildung 5-13: | Grundriss Sedimentationseinheit                                                                                                         | 62 |
| Abbildung 5-14: | PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung nach dem Filter                                                                    | 66 |
| Abbildung 5-15: | Grundriss Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter                                                                        | 68 |
| Abbildung 5-16: | Schnitt Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter                                                                          | 69 |
| Abbildung 5-17: | Lageplan Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter                                                                         | 69 |
| Abbildung 5-18: | PAK-Dosierung nach dem Filter in neuem Reaktionsraum                                                                                    | 72 |
| Abbildung 5-19: | Lageplan Filter – PAK Dosierung in neuem Kontaktbecken - Filter                                                                         | 74 |
| Abbildung 5-20: | Filteraufbau mit GAK-Filterschicht                                                                                                      | 79 |

## Tabellenverzeichnis

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1-1: | Zusammenstellung der Indirekteinleiter Klärwerk Neuss Ost                                                                                                                                                                                                                                                       | 10 |
| Tabelle 2-1: | Ermittelte Leitparameter für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Neuss Ost mit den dazugehörigen Mittelwerten aus drei Untersuchungstagen, sowie Mittelwerte dieser Leitparameter aus je sieben Untersuchungstagen für die Kläranlagen Schwerte, Bad Sassendorf und Duisburg-Vierlinden und HTK Neuss Süd | 12 |
| Tabelle 3-1: | Zusammenstellung unterschiedlicher Veröffentlichungen hinsichtlich des Energiebedarfs von Techniken zur Spurenstoffelimination (verändert nach [2])                                                                                                                                                             | 16 |
| Tabelle 3-2: | Zusammenstellung der technischen Daten der PAK-Anlage Klärwerk Ulm-Steinhäule                                                                                                                                                                                                                                   | 19 |
| Tabelle 3-3: | Großtechnische Anlagen mit einer Aktivkohleadsorptionsstufe ([2] angepasst und ergänzt)                                                                                                                                                                                                                         | 20 |
| Tabelle 4-1: | Kenndaten der Nachklärung Neuss Ost                                                                                                                                                                                                                                                                             | 29 |
| Tabelle 4-2: | Übersicht technische Ausführung der Abwasserfiltration Neuss Ost [39]                                                                                                                                                                                                                                           | 30 |
| Tabelle 4-3: | Aufbau der Filter - Schichten von oben nach unten (Stand 2010)                                                                                                                                                                                                                                                  | 31 |
| Tabelle 4-4: | Abwassermengen und Konzentrationen Filtration Neuss Ost- Auslegungsdaten[39]                                                                                                                                                                                                                                    | 31 |
| Tabelle 4-5: | PLS Parameter                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 32 |
| Tabelle 4-6: | Zusammenstellung der wichtigsten Pumpen und Gebläse                                                                                                                                                                                                                                                             | 34 |
| Tabelle 5-1: | Dosiermittel und –mengen am Beispiel der Adsorptionsstufe der KA Kressbronn aus [3] modifiziert <sup>1)</sup>                                                                                                                                                                                                   | 36 |
| Tabelle 5-2: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten bei PAK-Dosierung direkt auf den Filter                                                                                                                                                                                                                               | 47 |
| Tabelle 5-3: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung im Bypass vor dem Filter                                                                                                                                                                                                                    | 54 |
| Tabelle 5-4: | Erforderlicher Flächenbedarf der Sedimentationseinheit                                                                                                                                                                                                                                                          | 56 |
| Tabelle 5-5: | Oberflächenbeschickung und Flächenbedarf der Sedimentationseinheit ACTIFLO® CARB                                                                                                                                                                                                                                | 56 |
| Tabelle 5-6: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung vor dem Filter                                                                                                                                                                               | 63 |
| Tabelle 5-7: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung nach dem Filter                                                                                                                                                                              | 70 |
| Tabelle 5-8: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung nach der 1. Filterstufe in einem neuen Reaktionsraum und Abscheidung in der 2. Filterstufe                                                                                                                                                  | 77 |
| Tabelle 5-9: | Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten mit granulierter Aktivkohle im Filter                                                                                                                                                                                                                                 | 81 |

|              |                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 6-1: | Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Schmutzwassermenge und Frischwassermenge der betrachteten Varianten | 83 |
| Tabelle 6-2: | Kostenvergleich von Spurenstoffprojekten (verändert und Auszüge aus [33])                                                                                                                              | 84 |
| Tabelle 6-3: | Bewertung der Varianten                                                                                                                                                                                | 86 |
| Tabelle 6-4: | Darstellung der Auswirkungen der Reduzierung der Abwasserabgabe und Investitionsförderung des Landes NRW auf die Varianten                                                                             | 89 |
| Tabelle 6-5: | Bewertung der Varianten unter Berücksichtigung der Landesförderung                                                                                                                                     | 90 |

## **Planverzeichnis**

Grundriss Ebene I, II und III, Schnitt A-A

Lageplan



## 1 Veranlassung

Viele Stoffe des täglichen Gebrauchs sind geeignet, bei Kontakt mit Wasser dessen Eigenschaften nachhaltig und auch nachteilig zu verändern. Spurenstoffe lassen sich ubiquitär in der aquatischen Umwelt nachweisen. Neben Stoffen wie beispielsweise Industriechemikalien und Flammschutzmitteln, sind in den vergangenen Jahren die pharmazeutischen Wirkstoffe in den Fokus der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit gerückt. Humanpharmaka werden entweder unverändert oder nach Umbau im menschlichen Organismus als Konjugate bzw. Metaboliten ausgeschieden und gelangen so ins kommunale Abwasser. Die Spurenschadstoffproblematik liegt darin begründet, dass persistente Arzneimittel, organische Spurenstoffe und Industriechemikalien nur in begrenztem Maße während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungsprozess nach dem Stand der Technik eliminiert werden können und deshalb im Ablauf der Kläranlagen nach dem Stand der Technik noch nachweisbar sind. Eine gezielte Abtrennung dieser Stoffe ist mit kommunalen Kläranlagen nicht möglich. Daher werden Humanpharmaka und ihre Metaboliten über den Kläranlagenablauf in Oberflächengewässer eingeleitet.

Veterinärpharmaka werden mit der Gülle auf die Felder ausgebracht und gelangen überwiegend durch Abspülungen in die Oberflächengewässer. Bislang wurden weit über 100 Arzneimittelwirkstoffe teilweise in relevanten Konzentrationen oberhalb ökotoxikologischer Wirkschwellen im aquatischen Kreislauf nachgewiesen.

Humanpharmaka werden insbesondere vor dem Hintergrund des demographischen Wandels, der steigenden individuellen Lebenserwartung und des damit verknüpften steigenden Arzneimittelkonsums, in Zukunft in noch größerer Anzahl und Menge über die kommunalen Abwasserwege in die Umwelt eingebracht werden. In den letzten Jahren konnte die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroverunreinigungen in der Umwelt nachgewiesen werden. Aufgrund der Persistenz, des Bioakkumulationspotenzials und der Toxizität von Spurenstoffen sind zur langfristigen Sicherung einer hohen Wasserqualität breit gefächerte Maßnahmen unerlässlich, den Eintrag von Spurenstoffen in die Kanalisation bzw. in die Gewässer zu minimieren.

Im Infrastruktursystem der Wasserver- und Abwasserentsorgung kann die Entfernung der Mikroschadstoffe an unterschiedlichen Stellen und mittels verschiedenster Verfahren realisiert werden. Hierbei kann zwischen der dezentralen Mikroschadstoffelimination am Anfallort (z.B. Industriebetriebe, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen) und zentralen in der kommunalen Kläranlage oder bei der zentralen Trinkwasseraufbereitung unterschieden werden.

NRW setzt bei dem Thema der Spurenstoffelimination auf einen ganzheitlichen Ansatz auf unterschiedlichen Ebenen. Es sollen Spurenstoffe wenn möglich direkt an der Quelle eliminiert werden, aber auch die Kläranlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden (euwid Wa Nr. 45, 09.11.2010). Das Umweltministerium des Landes NRW fördert derzeit dazu durch das Investitionsprogramm Abwasser NRW u.a. großtechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination.

Derzeit wird sowohl die Erweiterung von Kläranlagen um eine weitere Reinigungsstufe, als auch die Ertüchtigung von Wasserwerken zur Mikroschadstoffentfernung verstärkt diskutiert (siehe z.B. Vorhaben „Reine Ruhr“ bzw. [4] und [37]). Für die Entfernung der Mikroschadstoffe stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung, deren Effizienz in zahlreichen nationalen wie internationalen Forschungsvorhaben untersucht wurde bzw. wird. Mögliche Verfahren basieren auf folgenden Ansätzen:

- die Nanofiltration,
- die Umkehrosmose,
- die Ozonierung einschließlich AOPs (Advanced Oxidation Processes) und
- die Aktivkohleadsorption.

Eine weitgehende Verbesserung der Ablaufqualität bzw. Elimination der Mikroschadstoffe in Abläufen von kommunalen Kläranlagen ist durch weitergehende (additive) Maßnahmen realisierbar. Hierzu haben sich bisher die Techniken der Ozonung und der Aktivkohleadsorption als derzeit am besten umsetzbare Techniken herauskristallisiert.

Die Kläranlage Neuss Ost bietet aufgrund der vorhandenen Filtration die Möglichkeit diese für den Einsatz mit Aktivkohle (Pulveraktivkohle oder granuliert Aktivkohle) umzurüsten und somit einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der Gewässerbelastung mit Mikroschadstoffen zu leisten. Aufgrund der bestehenden Filtrationsanlage kann für die Elimination von Spurenstoffen mittels Aktivkohle weitestgehend die vorhandene Anlagentechnik genutzt werden, im Vergleich hierzu wären für eine Ozonung erhebliche höhere Investitionskosten aufgrund einer vollständig neu zu errichtenden Anlage notwendig. Daher wurde entschieden, sofern sich durch das Intensivmonitoring keine Erkenntnisse ergeben, die zu einem anderen Schluss führen, eine Machbarkeitsstudie für die Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle zu erstellen.

Ein weiterer Aspekt, der für die Erweiterung spricht, ist der hohe industrielle Anschlussgrad sowie die Belastung mit Klinikabwässern. Das Einzugsgebiet der Kläranlage Neuss Ost ist auf das Zentrum von Neuss und der Industrie im Gebiet des Neusser Hafens beschränkt. Die der Kläranlage zufließende Gesamtfracht bezogen auf den BSB<sub>5</sub> kann aufgeteilt werden in einen Industrieanteil von rd. 70 % und einem häuslich-kommunalen Anteil von rd. 30 %. Aufgrund des hohen industriellen Abwasseranteils ist hier mit einem bedeutenden Frachteintrag in den Rhein durch Industriechemikalien zu rechnen. Industriebetriebe im Einzugsgebiet der Kläranlage Neuss Ost sind in der Tabelle 1-1 dargestellt:

**Tabelle 1-1: Zusammenstellung der Indirekteinleiter Klärwerk Neuss Ost**

| Bereich / Sparte                                   | Indirekteinleiter                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| im Bereich der Lebensmittel-/Futtermittelindustrie | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ KOFU Tiernahrung Kottmann GmbH,</li> <li>▪ Leuchtenberg Sauerkrautfabrik GmbH</li> <li>▪ Plange Georg GmbH &amp; Co. KG,</li> <li>▪ Thomy-Nestlé</li> <li>▪ Edmund Münster GmbH &amp; Co. KG,</li> <li>▪ Lokman Keser Fleischverarbeitung</li> </ul>                                                                                                   |
| Ölmühlen                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ WALTER RAU Neusser Öl und Fett AG</li> <li>▪ O. &amp; L. Sels GmbH &amp; Co.</li> <li>▪ Protein- u. Ölwerk Neuss GmbH &amp; Co. KG</li> </ul>                                                                                                                                                                                                          |
| im Bereich der Metallindustrie                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schindler Aufzüge</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| im Bereich der Metallverarbeitung                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acument GmbH &amp; Co. OhG</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| im Bereich der Papierindustrie                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ FS-Karton GmbH,</li> <li>▪ Procter &amp; Gamble Deutschland (Tempo-Taschentücher)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| im Bereich medizinische Versorgung                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lukaskrankenhaus, allgemeines (518 Betten, 24.522 Fallzahlen),</li> <li>▪ Paracelsusklinik, ambulante Unfallchirurgie(18 Betten, 1.446 Fallzahlen),</li> <li>▪ Augustuskliniken, St. Josef und St. Alexius Psychiatrien (394 Betten, 5.576 Fallzahlen),</li> <li>▪ Johanna-Etienne-Krankenhaus, allgemeines (418 Betten, 15.685 Fallzahlen)</li> </ul> |
| Sonstiges                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rheinische Bio Ester GmbH &amp; Co. KG</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

Im Zuge der Machbarkeitsstudie werden die Ergebnisse eines Screenings des Abwassers der Kläranlage Neuss Ost vorgestellt.

## 2 Analyseergebnisse

An der Kläranlage Neuss Ost wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie ein Screening auf verschiedene Spurenstoffe der folgenden Gruppen durchgeführt.

- Arzneimittelwirkstoffe
- Röntgenkontrastmittel
- perfluorierten Tenside
- Hormone
- Phenole
- Moschusduftstoffe
- Flammschutzmittel
- Komplexbildner
- Kohlenwasserstoffe
- Lineare Alkylbenzolsulfonate
- Pestizide

Dazu konnten insgesamt 205 Substanzen und Summenparameter untersucht werden. Die unterschiedlichen Probenahmetage waren der 02.08.2011, der 22.09.2011 und der 25.09.2011. Anhand des Screenings konnten Leitparameter aus folgenden Stoffgruppen ermittelt werden: Arzneimittelwirkstoffe, Personal Care Produkte und Industriechemikalien.

In Tabelle 2-1 sind die Ergebnisse der Leitparameter in folgender Tabelle als Mittelwerte aus allen drei Messtagen zusammengefasst. Auch vergleichende Messwerte aus drei unterschiedlichen Kläranlagen sind in dieser Tabelle aufgeführt. Die Kläranlagen wurden bereits im Rahmen des Investitionsprogramms Abwasser NRW mit Ozonanlagen zur Untersuchung der besseren Eliminierung der Spurenstoffe ausgerüstet [23]. Bei den Kläranlagen handelt es sich um die Kläranlagen Schwerte (Ruhrverband), Bad Sassendorf (Lippeverband) sowie die Kläranlage Duisburg-Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Duisburg). Ergänzend wurden Ergebnisse von Untersuchungen der halbtechnischen Kläranlage (HTK<sup>1</sup>) Neuss beigefügt, die einen Teilstrom des Abwassers der Kläranlage Neuss Süd behandelt.

Während der Untersuchung der Nonylphenole konnten zwar zu der richtigen Retentionszeit Peaks detektiert werden, jedoch konnte kein Nonylphenol typisches Pattern beobachtet werden.

Im Bereich der Pharmaka konnten keine signifikanten Unterschiede zu anderen Kläranlagen aufgezeigt werden. Lediglich die Belastung des Abwassers mit Röntgenkontrastmitteln erscheint bei einem Anteil von ca. 70 % industriellen Abwässern im Zulauf zur Kläranlage etwas erhöht, kann jedoch durch die vier Kliniken mit insgesamt 1.348 Betten erklärt werden. Ein Vergleich der ermittelten Werte mit Literaturdaten zeigt eine normale Belastung des Kläranlagenablaufs mit Arzneimittelwirkstoffen auf. So wurden auch von Bergmann et al.[24] in einer aktuellen Zusammenstellung von Monitoringdaten Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol und die Röntgenkontrastmittel als Stoffe mit erwarteter hohen Konzentrationen im Kläranlagenablauf identifiziert.

---

<sup>1</sup> halbtechnische Kläranlage Neuss Süd: eine im Teilstrom aus dem Ablauf des Sandfangs der Kläranlage Neuss Süd betriebenen landeseigenen Versuchskläranlage des LANUV NRW, dessen Ablauf wieder der Großanlage Neuss Süd zugeführt wird. Das Abwasser im Zulauf der HTK entspricht dem Abwasser der Kläranlage Neuss Süd (Ablauf Sandfang).

**Tabelle 2-1: Ermittelte Leitparameter für weitere Untersuchungen auf der Kläranlage Neuss Ost mit den dazugehörigen Mittelwerten aus drei Untersuchungstagen, sowie Mittelwerte dieser Leitparameter aus je sieben Untersuchungstagen für die Kläranlagen Schwer- te, Bad Sassendorf und Duisburg-Vierlinden und HTK Neuss Süd**

|                                |                                       | KA<br>Neuss Ost* | HTK<br>KA Neuss Süd<br>***<br>(Teilstrom der For-<br>schungsanlage) | KA<br>Schwer-<br>te** | KA Bad<br>Sassen-<br>dorf** | KA Duisburg-<br>Vierlinden** |
|--------------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                |                                       | [ng/l]           | [ng/l]                                                              | [ng/l]                | [ng/l]                      | [ng/l]                       |
| Arzneimittelwirkstoffe         | Carbamazepin                          | <b>1.400</b>     | 455 – 1.368                                                         | 1.100                 | 1.300                       | 1.800                        |
|                                | Diclofenac                            | <b>1.100</b>     | 1.834 – 7.300                                                       | 3.000                 | 4.900                       | 1.271                        |
|                                | Oxcarbazepin                          | <b>410</b>       | --                                                                  | 463                   | 853                         | 424                          |
|                                | Sulfamethoxazol                       | <b>700</b>       | 314 – 1.313                                                         | 1.000                 | 710                         | 649                          |
|                                | Clozapin                              | <b>146</b>       | --                                                                  | 57                    | 66                          | 17                           |
|                                | Melperon                              | <b>47</b>        | --                                                                  | 156                   | 249                         | 26                           |
|                                | Amidotrizoesäure                      | <b>10.400</b>    | --                                                                  | 8.800                 | 450                         | 800                          |
|                                | Iopromid ****                         | <b>350</b>       | 431- 2.735                                                          | 450                   | 1.100                       | 200                          |
|                                | Iomeprol ****                         | <b>2.700</b>     | 378 – 3.125                                                         | 1.800                 | 380                         | 800                          |
| Iopamidol ****                 | <b>1300</b>                           | 175 – 3.643      | 200                                                                 | 1.500                 | < BG                        |                              |
| Personal<br>Care Pro-<br>dukte | Galaxolide                            | <b>243</b>       | --                                                                  | 900                   | 500                         | 1.100                        |
|                                | Tonalid                               | <b>122</b>       | --                                                                  | 200                   | 120                         | 200                          |
| Industrie-<br>chemikalien      | Benzotriazol                          | <b>4.100</b>     | --                                                                  | 2.600                 | 2.100                       | 1.400                        |
|                                | Bisphenol A                           | <b>274</b>       | --                                                                  | 97                    | 9.700                       | 29                           |
|                                | TCEP                                  | <b>1.900</b>     | --                                                                  | 340                   | 140                         | 100                          |
|                                | TCPP                                  | <b>1.400</b>     | --                                                                  | 1.400                 | 900                         | 800                          |
|                                | TDCPP                                 | <b>2.300</b>     | --                                                                  | 100                   | 240                         | 100                          |
| EDTA                           | <b>4.600</b>                          | --               | 22.000                                                              | 24.000                | 16.000                      |                              |
| Basis-parameter                | Gelöster organi-<br>scher Kohlenstoff | <b>17 mg/l</b>   | 6,4 mg/l                                                            | 6,4 mg/l              | 6,6 mg/l                    | 5,9 mg/l                     |
|                                | Chemischer Sau-<br>erstoffbedarf      | <b>50 mg/l</b>   | --                                                                  | 23 mg/l               | 25 mg/l                     | 24 mg/l                      |
|                                | P <sub>gesamt</sub> (Online-<br>wert) | <b>0,38 mg/l</b> | --                                                                  | 0,7 mg/l              | 1,1 mg/l                    | 0,7 mg/l                     |
|                                | NH <sub>4</sub> -N                    | <b>0,12 mg/l</b> | --                                                                  | 0,25 mg/l             | 0,44 mg/l                   | < 0,2 mg/l                   |
|                                | N <sub>gesamt</sub> (Online-<br>wert) | <b>1,32 mg/l</b> | --                                                                  | 1,0 mg/l              | 1,1 mg/l                    | 2,9 mg/l                     |

\* Darstellung von Mittelwerten (n = 3)

\*\* Darstellung von Mittelwerten (n = 7)

\*\*\* Schwankungsbereich aus unterschiedlichen FuE-Projekten durchgeführt auf der HTK Neuss des LANUV in dem Jahr 2011 **ohne** Röntgenkontrastmittel

\*\*\*\* Schwankungsbereich aus unterschiedlichen FuE-Projekten durchgeführt auf der HTK Neuss des LANUV in dem Jahr 11/2008 nur für Röntgenkontrastmittel

Auffällig sind auch die niedrigen Konzentrationen an Personal Care Produkten, wie z. B. den Moschusduftstoffen Galaxolide und Tonalid. Galaxolide konnte in deutlich geringeren Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost im Vergleich zu anderen kommunalen Kläranlagen nachgewiesen werden. Industriechemikalien sind jedoch in höheren Konzentrationen im Ablauf zu finden. Besonders sind in diesem Fall die Flammschutzmittel (Tris(2-chlorethyl)phosphat und Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat) zu nennen. Die Flammschutzmittel der Organophosphate stehen im Verdacht bioakkumulativ und kanzerogen zu wirken.

Auch standardmäßig erfasste Ablaufwerte der unterschiedlichen Kläranlagen konnten miteinander verglichen werden. So sind der Wert für den organischen Kohlenstoff, des chemischen Sauerstoffbedarfs und der Bromidgehalt im Ablauf der Kläranlage Neuss Ost deutlich höher gegenüber den drei Vergleichswerten.

Bei den hormonell aktiven Substanzen wurden keine Besonderheiten, sowohl bei der Quantifizierung, als auch bei der Gesamtbetrachtung der östrogenen Aktivität der Gesamtprobe mittels A-YES festgestellt.

Durch die hohen Bromidkonzentrationen könnte es bei der Anwendung einer Ozonung des Kläranlagenablaufs möglicherweise zur Bildung des Transformationsproduktes Bromat kommen. Ob dies zu Überschreitungen des Trinkwassergrenzwertes von 10 µg/l führt sollte in Laboruntersuchungen zur Charakterisierung der Ozonzehrung und des Bromatbildungspotentials untersucht werden. Diese waren nicht Gegenstand des Auftrages. Unter dem Gesichtspunkt der möglichen Bromatbildung ist eine adsorptive Behandlung wahrscheinlich zielführender. Ein Verfahrensvergleich kann allerdings nur durch Laboruntersuchungen mit realen Kläranlagenabläufen durchgeführt werden.

### 3 Mikroschadstoffentfernung mittels großtechnischer Anlagen (Stand der Technik)

#### 3.1 Diskussion von Grenzwerten bei der Abwasserbehandlung

Aufgrund einer fortschreitenden Leistungssteigerung der Wasseranalytik werden immer mehr Stoffe anthropogenen Ursprungs an verschiedenen Stellen des Wasserkreislaufs gefunden. Diese anorganischen und organischen Mikroschadstoffe liegen im Konzentrationsbereich unter 100 µg/l oft auch unter 1 µg/l vor.

Zur Gruppe der Mikroschadstoffe zählen z.B. Hormone, Arzneimittel, Personal-Care-Produkte, Pestizide und anderwärtig eingesetzte Substanzen. Für eine Vielzahl der Schadstoffe gibt es derzeit noch keine rechtliche Regelung in Form eines Grenzwerts für die Gewässereinleitung, obwohl einigen Stoffen schon heute eine hohe Umweltrelevanz nachgewiesen werden kann. [21]

*Auszug aus [4] Gutachten (s16 ff): „Wasserversorgungsunternehmen mit einer Rohwassergewinnung über Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung haben das Ziel, Trinkwasser möglichst mit natürlichen bzw. naturnahen Aufbereitungsverfahren bereitzustellen. Voraussetzung ist, dass die Wasserressourcen eine Qualität aufweisen, die die Zielerreichung ermöglicht. Vor diesem Hintergrund ergibt sich Handlungsbedarf für die Wasserversorgungswirtschaft, Zielvorstellungen für die Beschaffenheit von Oberflächenwasser als Ressource der Trinkwasserversorgung zu formulieren. Die Zielvorstellungen sollen geeignet sein, eine sichere Trinkwasserversorgung aus oberirdischen Gewässern dauerhaft zu gewährleisten.“*

*Die Verbände ARW (Arbeitsgemeinschaft der Rheinwasserwerke e. V.), ATT (Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V.), AWBR (Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein), AWWR (Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr), DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.) und DWA (DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) stellten im November 2007 einen Entwurf zu den „Forderungen zum Schutz von Oberflächenwasser zur Sicherung der Trinkwasserversorgung“ vor. In diesem Positionspapier sind Zielwerte formuliert, deren Einhaltung im Oberflächengewässer den sicheren Einsatz von einfachen, naturnahen Aufbereitungsverfahren erlaubt. Im Folgenden werden auszugsweise die Definition, Festlegung, Umsetzung und Anwendung der Zielwerte gemäß der Forderungen des Positionspapiers erläutert:*

##### *Definition*

- *Zielwerte sind Zahlenwerte für Parameter der Wasserbeschaffenheit. Sie sind als Konzentrationen zu verstehen, die nicht überschritten werden sollen und einem vorausschauenden Trinkwasserressourcenschutz entsprechen.*
- *Zielwerte gelten für Oberflächengewässer, die als Ressource zur Trinkwassergewinnung, einschließlich Uferfiltrat und künstlicher Grundwasseranreicherung, genutzt werden.*

##### *Festlegung der Zielwerte*

- *Zielwerte gelten an der Entnahmestelle.*
- *Mittelwertbildung aus Gründen der Nivellierung von Extremwerten sowie das Auffüllen der Oberflächengewässer bis zu den Zielwerten werden abgelehnt.*
- *Zielwertüberschreitungen stellen keine Ausschlusskriterien für die Verwendung eines Rohwassers für die Trinkwassergewinnung dar.*

##### *Umsetzung und Anwendung der Zielwerte*

- Erreichung und Überwachung der Zielwerte wird als Aufgabe der staatlichen Gewässerbewirtschaftung verstanden.
- Bei Überschreiten der Zielwerte sind die zuständigen staatlichen Stellen gefordert, die Situation ggf. gemeinsam mit den betroffenen Wasserversorgern und anderen Gewässernutzern zu bewerten und Maßnahmen zum Erreichen der Zielwerte in den Gewässern oder Gewässerabschnitten zu realisieren.

In der Tabelle 4.2 (des Gutachtens) sind die Zielwerte für ausgewählte anthropogene organische Wasserinhaltsstoffe aufgeführt, die von den Verbänden im Entwurf „Forderungen zum Schutz von Oberflächenwasser zur Sicherung der Trinkwasserversorgung – Stand: 16.11.2007“ vorgeschlagen werden.

**Tabelle 4.2 Zielwerte für ausgewählte organische Inhaltstoffe (Auszug aus dem Entwurf „Forderungen zum Schutz von Oberflächenwasser zur Sicherung der Trinkwasserversorgung – Stand: 16.11.2007“)**

| <b>C Organische Inhaltstoffe</b> | <b>Einheit</b>                             | <b>Zielwerte+</b> | <b>Leitsubstanzen</b> |                   |
|----------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>C.5</b>                       | Arzneimittelrückstände*                    | µg/l              | 0,1                   | Carbamazepin      |
| <b>C.6</b>                       | Röntgenkontrastmittel*                     | µg/l              | 1                     | Amidotrizoensäure |
| <b>C.7</b>                       | PFT und übrige organ. Halogenverbindungen* | µg/l              | 0,1                   | PFOA, PFOS, TCPP  |
| <b>C.8</b>                       | sonstige schwer abbaubare Stoffe*          | µg/l              | 1                     |                   |
| <b>C.9</b>                       | Synthetische Komplexbildner*               | µg/l              | 5                     | EDTA, DTPA        |

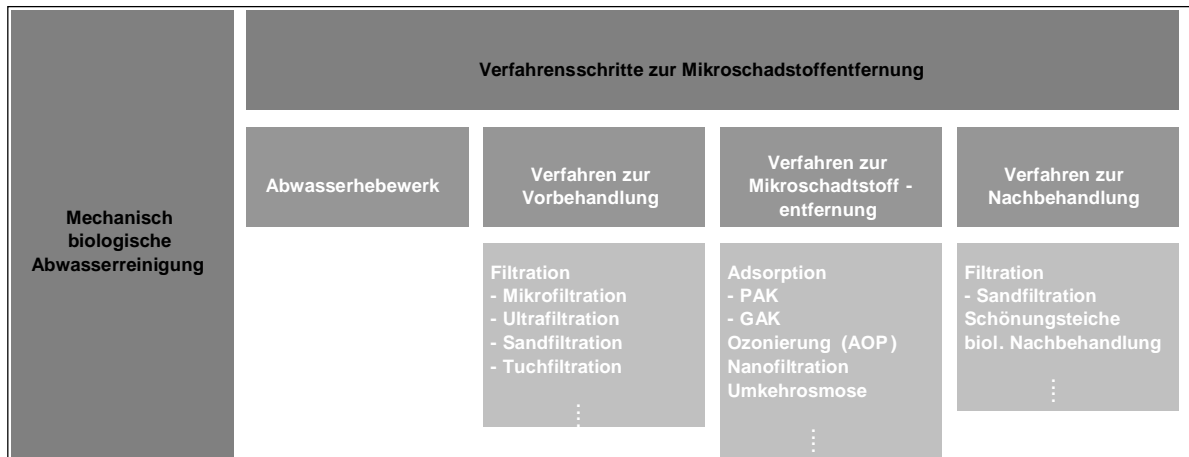
+ Es sei denn, dass toxikologische Erkenntnisse einen niedrigeren Wert erfordern.  
\* je Einzelstoff

(Zitat Ende)“ [4]

Das Umweltbundesamt hat für die Anwesenheit nicht oder nur teilbewertbarer Stoffe im Trinkwasser „einen pragmatischen gesundheitlichen Orientierungswert (GOW; Konzentrationsobergrenze)“ in Höhe von GOW = 0,1 µg/l im Rohwasser der Trinkwasseraufbereitung angesetzt [21]. Dieser Wert wird derzeit auch als Zielwert für die Anlagen zur Spurenstoffelimination herangezogen. Überwachungs- oder gar Grenzwerte für Kläranlagenabläufe existieren derzeit noch nicht, werden aber diskutiert.

### 3.2 Überblick möglicher Verfahrenstechniken

Der Einsatz der Techniken zur Mikroschadstoffentfernung führt dazu, dass der mechanisch biologischen Kläranlage, die in der Regel als letzte Stufe die Nachklärung oder eine Abwasserfiltration aufweist, noch weitere Verfahrensschritte zur eigentlichen Mikroschadstoffelimination nachgeschaltet werden müssen. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über diese Verfahrensschritte.


**Abbildung 3-1: Verfahrensschritte zur Mikroschadstoffelimination [2]**

Neben den spezifischen Dosiermengen z.B. an Ozon oder Pulveraktivkohle (PAK) sind die Energiebedarfe dieser Technologien von Bedeutung. Im Rahmen von Studien, Forschungsberichten und Veröffentlichungen sind für einzelne Verfahren der Mikroschadstoffelimination Energiebedarfe publiziert. Die nachfolgende Tabelle 3-1 soll hierzu einen Überblick geben. Dabei wurden zu den Energieverbräuchen auch die PAK- bzw. Ozonkonzentration der jeweiligen Anlagen angegeben, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen.

**Tabelle 3-1: Zusammenstellung unterschiedlicher Veröffentlichungen hinsichtlich des Energiebedarfs von Techniken zur Spurenstoffelimination (verändert nach [2])**

| Quelle                                                                                                  | [4]                                | [16]                             | [17]                     | [18]                                         | [19]                                 | [20]                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| Verfahren                                                                                               | [kWh/m <sup>3</sup> ]              | [kWh/m <sup>3</sup> ]            | [kWh/m <sup>3</sup> ]    | [kWh/m <sup>3</sup> ]                        | [kWh/m <sup>3</sup> ]                | [kWh/m <sup>3</sup> ]                      |
| <b>Vorbehandlung/ Nachbehandlung</b>                                                                    |                                    |                                  |                          |                                              |                                      |                                            |
| Mikrofiltration/<br>Ultrafiltration                                                                     | 0,6                                |                                  |                          |                                              |                                      |                                            |
| Sandfiltration                                                                                          | 0,04                               | 0,01***                          |                          |                                              |                                      | 0,05                                       |
| <b>Mikroschadstoffentfernung</b>                                                                        |                                    |                                  |                          |                                              |                                      |                                            |
| Aktivkohlefilter<br>(Granuliert)                                                                        | 0,02                               | 0,01                             |                          |                                              |                                      |                                            |
| Pulverisierte<br>Aktivkohle                                                                             | 0,004<br>(10 mg PAK/l)             |                                  | 0,05<br>(10–20 mg PAK/l) |                                              |                                      | <0,005<br>(10–20 mg PAK/l)                 |
| Ozon                                                                                                    | 0,1<br>(5-10 mg O <sub>3</sub> /l) | 0,15<br>(8 mg O <sub>3</sub> /l) | 0,1 - 0,2*               | 0,12 – 0,25**<br>(6-12 mg O <sub>3</sub> /l) | 0,24 **<br>(12 mg O <sub>3</sub> /l) | 0,05 – 0,15<br>(3-10 mg O <sub>3</sub> /l) |
| * inkl. Sandfiltration<br>** Sauerstofferzeugung mittels PSA<br>*** kontinuierlich gespülter Sandfilter |                                    |                                  |                          |                                              |                                      |                                            |

Dieser zusätzliche Energiebedarf der neuen Verfahrensstufe ist dem Energiebedarf der mechanisch biologischen Abwasserreinigung, der mit rd. 35 kWh/(E\*a) angegeben werden kann, hinzu zu rechnen [22].

Derzeit werden in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen großtechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen errichtet. Die eingesetzten Verfahrenstechniken sind die Ozonierung und nachgeschaltete Pulver-Aktivkohle(PAK)-Dosierung.



### 3.3 Aktivkohleadsorption mit pulverisierter Aktivkohle (PAK)

#### 3.3.1 Pulveraktivkohledosierung im Ablauf der Nachklärung in separaten Kontaktbecken mit nachgeschalteter Filtration („klassische“ Adsorptionsstufe)

##### 3.3.1.1 „klassische“ Adsorptionsstufe

Eine klassische Adsorptionsstufe zur Elimination von organischen Restverschmutzungen besteht grundsätzlich aus zwei Prozessstufen: einem Kontaktraum für die Adsorption der Pulveraktivkohle und einer Abscheideeinheit zur Abtrennung der beladenen Aktivkohle.

Metzger und Kapp haben die Adsorptionsstufe in [1] beschrieben. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem Kontaktreaktor und einem Sedimentationsbecken. Der Kontaktreaktor gliedert sich in mehrere Kaskaden. Um im nachgeschalteten Sedimentationsbecken die Pulveraktivkohle besser abtrennen zu können, wird vor dem Kontaktreaktor dem zufließenden Abwasser Fällmittel zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke zugegeben. Die frische PAK wird direkt in den Kontaktreaktor dosiert. Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Kohlenstaubes zu erreichen, wird dem Kohle-Schlamm-Gemisch nach dem Kontaktreaktor Flockungshilfsmittel zugegeben. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte Kohle-Schlamm wird zur Mehrfachbeladung als Rücklaufkohle wieder in die erste Kaskade des Kontaktreaktors zurückgeführt. Die Entnahme des Kohle-Schlamm-Gemisches aus der Adsorptionsstufe erfolgt als Überschussschle [1].

Die Adsorptionsstufe wird der biologischen Reinigung nachgeschaltet, um die Pulveraktivkohle primär mit biologisch nicht entfernbaren organischen Substanzen zu beladen. Die Überschussschle wird aus der Adsorptionsstufe abgezogen und zur besseren Ausnutzung in die Belebungsbecken zurückgeführt. Sie wird in den Belebtschlamm eingebaut und dient in gewisser Weise als Aufwuchskörper für die Nitrifikation.

Ohne die Eindickung des Sedimentationsbeckens, ist das Entnahmevolumen der Überschussschle größer als der wenn es aus der Rücklaufkohle entnommen würde, allerdings wirkt sich die geringere PAK-Konzentration positiv auf das Abrasionsverhalten des Fördermediums und damit auf die Standzeit der Rohrleitungen und Förderaggregate aus. Bei einem kompletten Neubau und beständig gegen Abrasion ausgelegten Überschussschleentnahmesystem, ist eine Entnahme aus der Rücklaufkohle möglich. Sollte die Überschussschle über die vorhandene Schlammwasserrückführung z.B. der Filteranlage, wie das auf der KA Neuss Ost möglich wäre, zurückgeführt werden, ist eine Entnahme aus der Adsorptionsstufe sinnvoll.

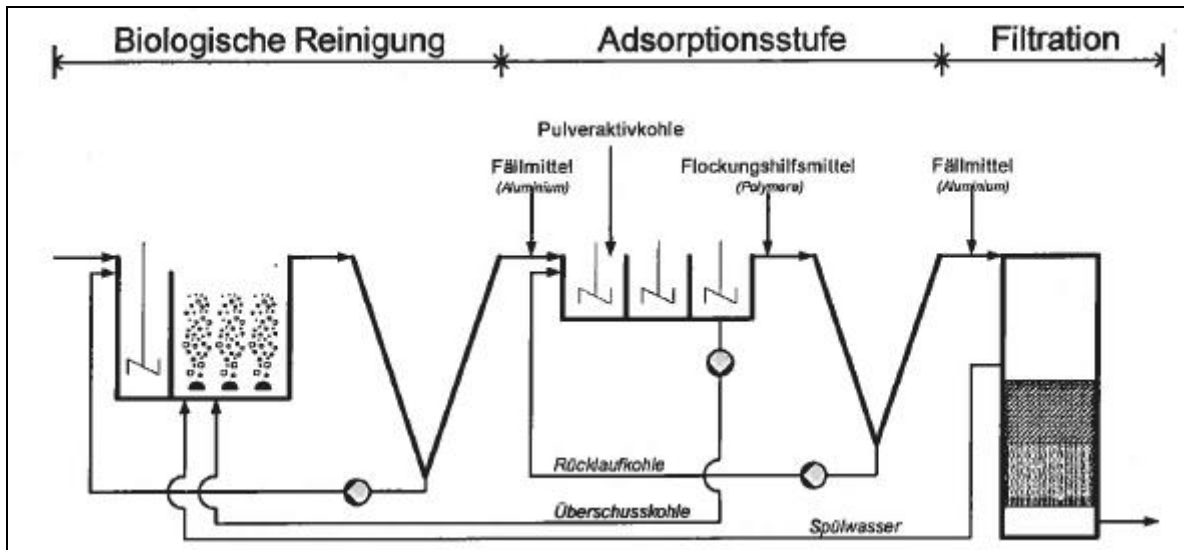
Mit dem Abzug des Überschussschlammes aus der Belebung erfolgt auch die Ausschleusung der mit Spurenstoffen beladenen Aktivkohle über den Klärschlamm.

Der Klärschlamm der Kläranlage Neuss Ost wird derzeit entsorgt. Der Heizwert des Klärschlammes erreicht bei einem Trockensubstanzgehalt von 27% ca. 3.000 kJ/kg. Um eine Verwertung durch Verbrennung zu ermöglichen muss der Heizwert des Klärschlammes 11.000 kJ/kg erreichen. Durch die Zugabe von Aktivkohle, die einen Heizwert von ca. 32.000 kJ/kg hat, erhöht sich der Heizwert des Klärschlammes. Bei einer Dosiertrate von 10 mg PAK/l wird der Feststoff im Klärschlamm um ca. 3 %<sup>2</sup> erhöht und damit der Heizwert, bei gleichem Entwässerungsgrad, um ca. 4,6% auf 4.830 kJ/kg<sup>3</sup>. Die Zu-

<sup>2</sup> Angenommen: Schlammmenge der AB-Anlage 70 g/EW\*d; Wassermenge 200 l/EW\*d; Dosiermenge 200 \* 10 = 2 g/EW\*d; Feststofferhöhung  $2 / 70 = 3\%$ .

<sup>3</sup> Der organische Trockenrückstand von Klärschlamm hat einen Heizwert von 21.000 kJ/kg. Bei einem oTR von 50% im Faulschlamm ist Heizwert  $0,5 * 21.000 = 10.500$  kJ/kg. Mit einem negativen Heizwert von Wasser von  $-2.440$  kJ/kg ergibt sich nach der Formel Heizwert  $TR * TR / 100 - [2.440 * (1-TR/100)]$  ein Mischheizwert von 4.616 kJ/kg. Durch die Aktivkohle wird der Heizwert TR auf  $(10.500*70 + 32.000*3)/73 = 11.383$  kJ/kg erhöht und damit des Klärschlammes um 4,6 % auf 4.830 kJ/kg

gabe von Aktivkohle ermöglicht allein keinen Wechsel von der Entsorgung zur Verwertung des Klärschlammes.



**Abbildung 3-2: Verfahrenstechnische Einbindung der Adsorptionsstufe in den Klärprozess [1]**

Für die Adsorptionsstufe sind folgende technischen Einrichtungen erforderlich. Die Vorrichtung für die Zudosierung von pulverisierter Aktivkohle (PAK) beinhaltet eine Dosierstation bestehend aus einem Silo zur Produktbevorratung, einem Zwischentrichter, der der Suspensionsbereitungsanlage vorgeschaltet ist, eine Suspensionseinrichtung und einer Dosiervorrichtung. Weiterhin werden entsprechende Rührwerke im Kontaktreaktor, um das Schlamm-Wasser-Gemisch mit einem hohen Anteil an Aktivkohle in Schwebelage zu halten sowie Pumpen zur Förderung der Rücklaufkohle benötigt. Zum Abzug der PAK sind Absetzbecken erforderlich mit entsprechenden Schlammräumer- und -abzugsvorrichtungen. Der Rückhalt der danach verbleibenden PAK-Feststoffe kann mittels einer Abwasserfiltration erfolgen.

Der Adsorptionsstufe soll weiterhin eine Sandfiltration nachgeschaltet werden, um die aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden feinsten und ungebundenen Kohlepartikel nicht in das Gewässer zu lassen. Zur besseren Abscheidung ist dem adsorptiv gereinigten Abwasser vor dem Filter noch Fällmittel nach dem Prinzip der Flockungsfiltration zuzugeben. Das Filterspülabwasser und damit auch die zurückgehaltene Aktivkohle werden ebenfalls der biologischen Reinigungsstufe zugeführt.

Eine der ersten Anlage war die Pilotanlage auf der Kläranlage Ulm-Steinhäule. Die Kenndaten dieser Pilotanlage sind in der Tabelle 3-2 zusammengestellt [15]. Die Anlage ist für die gesamt zu behandelnde Abwassermenge der Kläranlage, d.h. inkl. Regenwetterzufluss, ausgelegt. Das Sedimentationsbecken ist als Rundbecken konzipiert.

Der im Sedimentationsbecken abgesetzte Kohle-Schlamm wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle vergleichbar zum Rücklaufschlamm eines biologischen Reaktors zurück in das Kontaktbecken geführt. Hierdurch kann in der gesamten Adsorptionsstufe ein Kohlealter von ca. 10 d bzw. eine Kohleschlammkonzentration von ca. 5 g/l eingestellt werden.

Nach Metzger [27] ist der Kontaktreaktor bei maximalem Zufluss auf 30 Minuten Aufenthaltszeit auszuliegen. Im nachfolgenden Sedimentationsbecken sollte eine Aufenthaltszeit von 2 Stunden nicht unterschritten und eine Oberflächenbeschickung von 2 m/h nicht überschritten werden.

Für die Sedimentationseinheit stehen neben dem („klassisch“) horizontal oder vertikal durchströmten Absetzbecken auch Flotationsanlagen und Absetzbecken, die mit lamellen- und kastenförmigen Durch-

flussprofilen ausgerüstet werden, auch als Parallelplattenabscheider oder Lamellenseparatoren genannt, zur Verfügung [13][14].

**Tabelle 3-2: Zusammenstellung der technischen Daten der PAK-Anlage Klärwerk Ulm-Steinhäule**

|                             |                      |                                  |
|-----------------------------|----------------------|----------------------------------|
| <b>Abwassermenge</b>        |                      |                                  |
| Trockenwetter               | $Q_{TW}$             | 5.000 m <sup>3</sup> /h          |
| Regenwetter                 | $Q_{MW}$             | 9.400 m <sup>3</sup> /h          |
| <b>Kontaktreaktor</b>       |                      |                                  |
| Volumen                     | $V_{\text{Kontakt}}$ | 6540 m <sup>3</sup>              |
| Anzahl der Becken           | Stück                | 6                                |
| Abmessungen                 | L x B x H            | 16,5 m * 16,5 m * 4 m            |
| Aufenthaltszeit             | $t_{TW} / t_{MW}$    | 75 min. / 40 min.                |
| <b>Sedimentationsbecken</b> |                      |                                  |
| Durchmesser                 | D                    | 60 m                             |
| Oberfläche                  | $A_{o, \text{ges}}$  | 5.560 m <sup>2</sup>             |
| Volumen                     | $V_{\text{ges}}$     | 22.940 m <sup>3</sup>            |
| Oberflächenbeschickung      | $q_A$                | bei TW 0,92 m/h, bei RW 1,74 m/h |
| Aufenthaltszeit             | $t_{TW} / t_{MW}$    | 4,41 h / 2,34 h                  |

Für die nachgeschaltete Filtration geben Metzger und Kapp [1] folgende Empfehlungen:

- Filtergeschwindigkeit von maximal 12 m/h (nach DWA Arbeitsblatt A 203: 15 m/h)
- 1 Filterschicht 75 cm Sandschicht mit  $\varnothing$  0,71 – 1,25 mm
- 2 Filterschicht 75 cm Hydroanthrazitschicht mit  $\varnothing$

Bei einer Zugabe von ca. 10 mg/l PAK und DOC Konzentrationen in einer ähnlichen Größenordnung und damit vergleichbarem CSB von 35 mg/l kann der CSB Schwellenwert von 20 mg/l unterschritten werden [28]. Hinsichtlich der Elimination von Spurenstoffen ist mit der zuvor genannten Dosierung eine Elimination von Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol in einer Größenordnung von 80 % bis 90 % möglich [1]. Eine weitere Erhöhung der Dosierung, z.B. auf 20 mg/l PAK, erbrachte keine signifikante Steigerung der Eliminationsleistung [1].

Zur Umsetzung der Verfahrenstechnik in den technischen Maßstab wurden folgende Dimensionierungsparameter von Metzger und Kapp veröffentlicht [1]:

|                      |                            |                                                                                 |
|----------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Kontaktreaktor       | Aufenthaltszeit            | 30 min.                                                                         |
| Sedimentationsbecken | Oberflächenbeschickung     | 2,0 bis 2,5 m/h                                                                 |
|                      | Aufenthaltszeit            | 2,0 bis 2,5 h                                                                   |
| Sandfiltration       | max. Filtergeschwindigkeit | 12 m/h                                                                          |
|                      | Bewährter Filteraufbau     | 75 cm Sandschicht    0,71 – 1,25 mm und<br>75 cm Hydroanthrazit    1,4 – 2,5 mm |

Die Dosierstoffe und –mengen sind letztlich im Rahmen von Vorversuchen oder in der Inbetriebnahme und Betriebsoptimierungsphase in Abhängigkeit von den Spurenstoffen und der gewählten Kohle zu erproben.

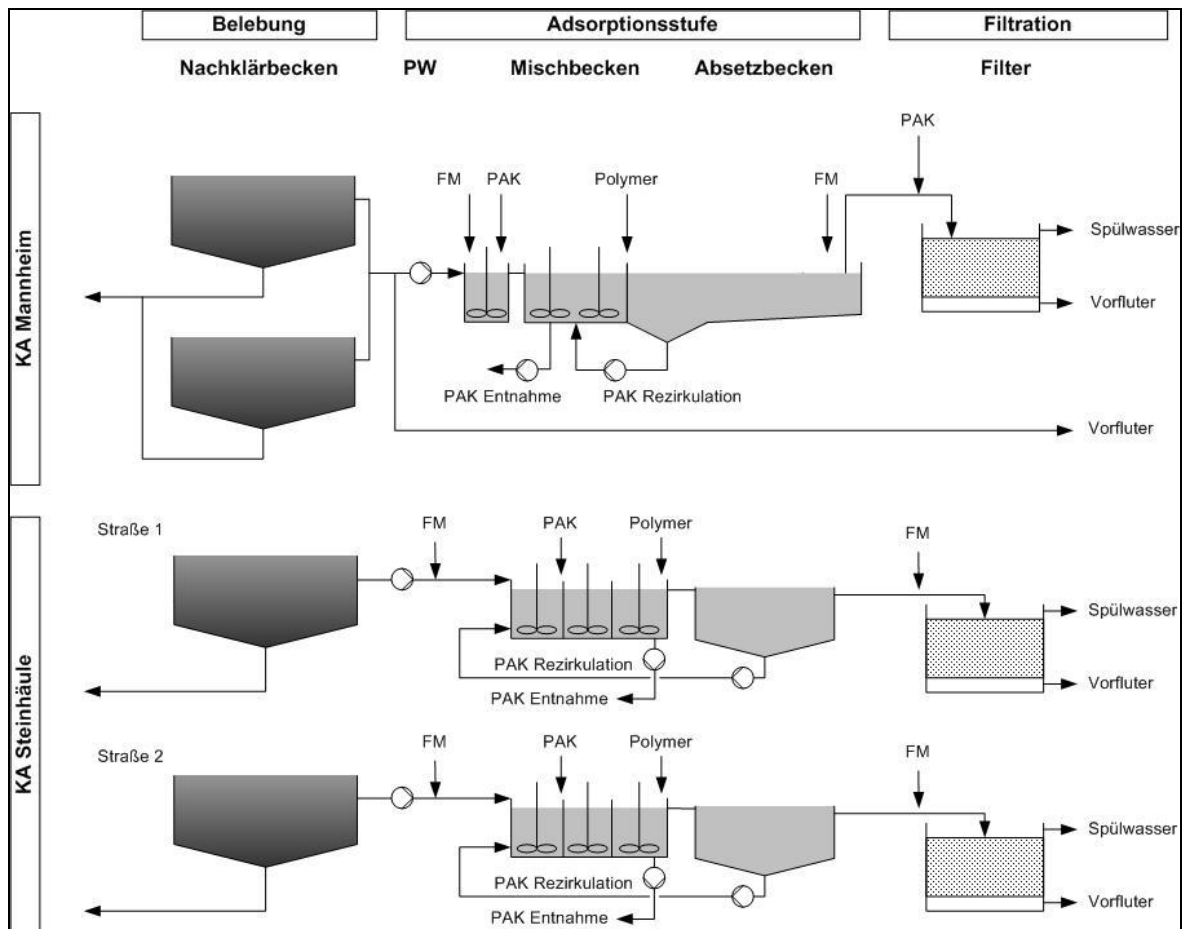
In unterschiedlichen Veröffentlichungen, in [2] zusammengestellt, wurden Dosiermengen von 10 - 20 mg PAK/l pulverisierter Aktivkohle aus Forschungsvorhaben angegeben. Die Dosiermengen bei großtechnischen Anlagen betragen 5 - 20 mg PAK/l [2]. Mit 10 mg PAK/l werden nach [4] Eliminationsraten von > 90 % erreicht. In [3] werden Dosiermengen für den Ersteinsatz der Adsorptionsstufe der KA Kressbronn für PAK 10 mg PAK/l (Kontaktbecken), Flockungshilfsmittel von 0,3 mg Fe/mg PAK und 5,6 mg Fe/l sowie Fällmittel (FM) als Fe[III]chloridsulfat von 0,25 mg WS/l im Ablauf des Kontaktbeckens und Fe[III]chloridsulfat von 0,25 mg WS/l im Ablauf des Sedimentationsbeckens vorgesehen.

Nachfolgend sind in der Tabelle 3-3 die derzeit bekannten großtechnischen Anlagen mit einer Adsorptionsstufe im Ablauf der Nachklärung und Informationen zu den Investitionskosten, Anlagengröße und spezifische Verbräuche an Aktivkohle bzw. Energie aufgeführt.

**Tabelle 3-3: Großtechnische Anlagen mit einer Aktivkohleadsorptionsstufe ([2] angepasst und ergänzt)**

| Bundesland | Kläranlage, Ausbaugröße                 | Investitionskosten       | Betreiber                                          | Verfahren                                | Inbetriebnahme   |
|------------|-----------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------|
| NRW        | Schwerte<br>50.000 E                    | 1,9 Mio. € [35]          | Ruhrverband                                        | Ozonierung/<br>Aktivkohle-<br>adsorption | Frühjahr<br>2010 |
| BWB        | Kressbronn-<br>Langenargen<br>30.000 E  | 2,85 Mio. € [38]         | Abwasserzweckverband<br>Kressbronn-<br>Langenargen | Aktivkohle-<br>adsorption                | Oktober<br>2011  |
| BWB        | Stockacher<br>Aach<br>48.000 E          | 3,2 Mio. € [38]          | Abwasserverband<br>Stockacher Aach                 | Aktivkohle-<br>adsorption                | Herbst<br>2011   |
| BWB        | Steinhäule<br>400.000 E                 | Keine Informa-<br>tionen | Zweckverband<br>Steinhäule Ulm                     | Aktivkohle-<br>adsorption                | 2015             |
| BWB        | Böblingen-<br>Sindelfingen<br>250.000 E | 3,7 Mio. € [34]          | Zweckverband Böblin-<br>gen-Sindelfingen           | Aktivkohle-<br>adsorption                | Ende<br>2011     |
| BWB        | Mannheim<br>750.000 E                   | 1,36 Mio. €<br>[33]      | Stadtentwässerung<br>Mannheim                      | Aktivkohle-<br>adsorption                | Frühjahr<br>2010 |

Beispielhaft sind hier die schematischen Fließbilder (Abbildung 3-3) der Adsorptionsstufen der Kläranlagen Mannheim und Ulm-Steinhäule dargestellt.



**Abbildung 3-3: Schematische Darstellung der Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung auf den Kläranlagen Ulm-Steinhäule und Mannheim (nach [25] und [26])**

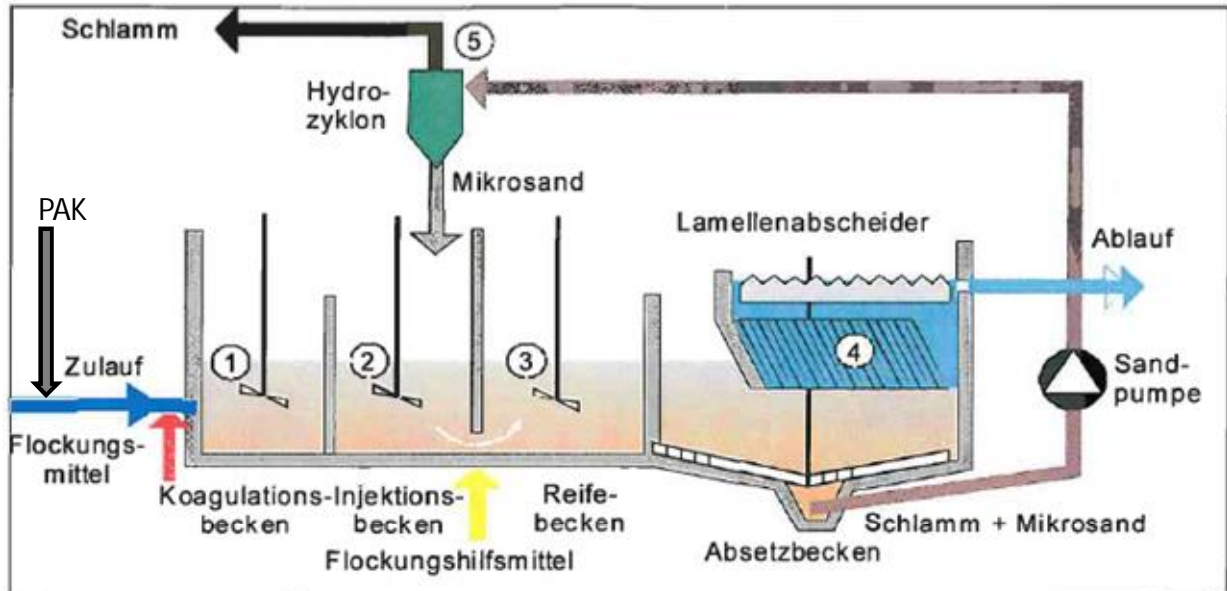
### 3.3.1.2 ACTIFLO® CARB Adsorptionsstufe

Eine Kombination der Flockung und Sedimentation bietet das Kompaktverfahren ACTIFLO® CARB (siehe Abbildung 3-4), das einen geringeren Platzbedarf aufweist. Dieses Verfahren, ein kombiniertes Flockungs- und Sedimentationsverfahren in einem Kompaktbauwerk, kommt schon lange in der Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz und ist auch für die Spurenstoffelimination einsetzbar. Lizenzträger von ACTIFLO® und ACTIFLO® CARB ist die Fa. Krüger WABAG in der Veolia Water Solutions Deutschland GmbH.

Das ACTIFLO®-Verfahren ist im Grundsatz ein herkömmliches Wasseraufbereitungsverfahren mit Koagulation, Flockung und Sedimentation. Im Gegensatz zu herkömmlichen Aufbereitungsverfahren unterscheidet sich das ACTIFLO®-Verfahren jedoch durch die Zugabe von Mikrosand, der als „Keim“ und Ballast zur Bildung von sehr dichten Flocken dient. Die Mikrosand-Flocken weisen besondere Eigenschaften und Absetzfähigkeiten auf, die sich durch kurze Flockungszeiten und Oberflächenbeschickungen auszeichnen. Durch Kombination von beschwerendem Sand und Lamellenabscheidern sind Oberflächenbeschickungen von mehr als 50 m/h möglich.

Eine Weiterentwicklung zur Aktivkohle-Adsorptionsstufe ist mit dem ACTIFLO® CARB-Verfahren erfolgt. Hier wird der Sedimentationsstufe ein Reaktionsbecken vorgeschaltet. In den Zulauf des Reaktionsbeckens wird Aktivkohle zugegeben. Der in der Sedimentation abgeschiedene „Kohleschlamm“ wird nach

Trennung vom Mikrosand in einem Zyklon wieder dem Reaktionsbecken zurückgeführt. Die Pulveraktivkohle bleibt somit länger im Adsorptions-System und wird besser ausgenutzt. Der Mikrosand wird im Kreislauf gefahren



**Abbildung 3-4: Verfahrensschema Sedimentationseinheit ACTIFLO®**

Die wesentlichen Vorteile dieses Verfahrens können wie folgt zusammengefasst werden:

- geringer Flächenbedarf,
- Kombination von Adsorption und Sedimentation des A-Kohle-Schlammes in einem Bauwerk
- die Feststoffbelastung des Filters durch PAK-Schlamm wird nicht erhöht
- geringer PAK-Verbrauch aufgrund eines hohen „Schlammalters“ und damit einer große Ausnutzung der Adsorptionsleistung der Pulveraktivkohle

Die Nachteile dieses Verfahrens sind wie folgt zusammenzufassen:

- zusätzliche Hilfsstoffe Flockungshilfsmittel und Mikrosand
- höherer Energiebedarf für Umwälzung, Rückführung und Waschung

Diese Verfahrenskombination wird i.d.R. im Anschluss an die biologische Abwasserbehandlung installiert.

### 3.3.2 Pulveraktivkohledosierung in den Zulauf zur Filtration ohne separates Kontaktbecken

Wird die Pulveraktivkohle direkt in den Zulauf zur Filtration gegeben, so wird der Überstauraum bei abwärts durchströmten Filtern als Reaktionsraum genutzt, oder soweit vorhandene Belüftungsrippen, Koagulationsbecken, Kontaktbecken, etc.. Derartige Filtrationsanlagen sind in NRW zahlreich vorhanden [29]. Zur Realisierung gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen.

So kann im Überstauraum der Filter die Aktivkohle durch Rührwerke in Schwebelage gehalten werden. Dieses Verfahren wird derzeit auf der Kläranlage in Buchenhofen (Wupperverband) exemplarisch an einer Filterzelle erprobt. Für den Anlagenbetrieb sind verfahrenstechnische Anpassungen insbesondere in der Filtersteuerung erforderlich sowie die für Aktivkohle erforderlichen Anlagen (Einmischanlage, Silo und Rührwerke auf dem Filter) vorzusehen. Der Filter in Buchenhofen hat folgenden Aufbau [29]:

- Klappenspülung (ähnlich Neuss Ost)
- Filterfläche 60 m<sup>2</sup>
- 1 Filterschicht Quarzsand, 0,4 m Schichthöhe
- 2 Filterschicht Hydroanthrazit, 1,4 m Schichthöhe
- Zudosierung von Flockungsmittel und Flockungshilfsmittel auf die Filterfläche

Laborvorversuche haben eine Eliminationsleistung von ca. 80 % hinsichtlich der Parameter Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol bei einer Dosierung von 20 mg/l PAK ergeben. Die Versuchsanlage im technischen Maßstab wird zurzeit mit ca. 40 mg/l PAK betrieben (Bornemann 2011 in [29])

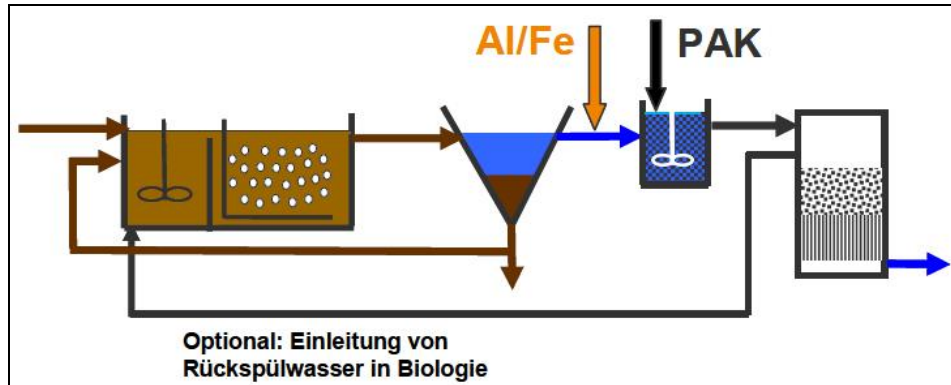
Für eine Kostenermittlung liegen nur sehr grobe Kostenschätzungen vor, bei denen zum Teil auch vorhandene Aggregate genutzt werden konnten, die ggf. für diesen Fall zu beschaffen wären. Aus Veröffentlichungen zum Projekt ist derzeit noch nicht erkennbar wie hoch die Betriebskosten sein und auch nicht wie der Betrieb mit einem Rührwerk oberhalb des Filtersandes sich auf das Filterbett auswirkt. Die Umwälzung des Wasserüberstandes auf dem Filter erscheint den Verfassern dieses Berichtes problematisch, da nicht nur die PAK in Schwebelage gehalten wird, sondern auch Feinstpartikel und Filtersand/Hydroanthrazit. Ggf. kann es auch zu Auskolkungen des Filterbettes während des Betriebes kommen. Bislang liegen keine Ergebnisse/Hinweise vor, aus denen konkrete Maßnahmen für einen Umbau von anderen Filtrationsanlagen abgeleitet werden können. Daher wird diese Verfahrenstechnik nicht weiter verfolgt.

### 3.3.3 Pulveraktivkohledosierung in den Zulauf zur Filtration mit separatem Kontaktbecken (Flockungsraum)

Eine weitere Möglichkeit der PAK-Dosierung auf einen Filter wurde in der Schweiz erprobt. Die verfahrenstechnisch einfachste Integration einer PulverkohleadSORPTION stellt die Zugabe von PAK und Flockungshilfsmittel in einem vorgeschalteten Flockungsraum mit anschließender Raumfiltration dar. Der Anlagenaufbau wird in [5] von der EAWAG beschrieben und wurde in einem großtechnischen Versuch auf der Schweizer Kläranlage Kloten/Opfikon 60.000 EW erforscht. Die zusätzliche Sedimentation nach einem Adsorptionsreaktor entfällt und der Kontaktreaktor (Flockungsraum) ist vergleichsweise klein mit einer hydraulischen Aufenthaltszeit von 15 – 30 min.

Erfahrungen aus der Wasseraufbereitung nach [7] zeigen, dass innerhalb von 10 – 15 min. das Adsorptionsgleichgewicht bei fein vermahlener Aktivkohle und den im Wasser vorliegenden Schadstoffkonzentration weitgehend erreicht ist. Eine geringe Überdosierung wird als wirtschaftlicher erachtet als eine Verlängerung der Kontaktzeit und damit vollständige Ausnutzung der Aktivkohle. Die auf der KA Kloten / Optikon auf Grund der vorhandenen baulichen Situation gewählte hydraulische Aufenthaltszeit, beinhaltet somit noch Reserven. Durch die Rückführung der Kohle über das Spülwasser des Filters in die Biologie erfolgt eine weitere Adsorption.

Dieses Verfahren bietet sich besonders bei Kläranlagen an, die bereits mit einer Flockungsfiltration ausgestattet sind, da so bis auf die Infrastruktur für die PAK- und Fällmitteldosierung und Lagerung keine weiteren Investitionen erforderlich wären. In Abbildung 3-5 ist das Prinzip aus [5] entnommen dargestellt



**Abbildung 3-5: Dosierung von PAK und Flockungsmittel in den Flockungsraum des Sandfilters (Prinzip der Flockungsfiltration) aus [5]**

Die Filtrationsstufen werden mit einer höheren Feststofffracht (Anteil der Aktivkohle) belastet, was einen Einfluss auf das Filterspülregime hat, d.h. die Filter werden häufiger zurückgespült. Im Vergleich zu den Anlagen mit zusätzlichem Sedimentationsbecken wird die Kontaktzeit des Aktivkohleschlammes von klassisch 2 bis 4 Tagen reduziert auf den Zeitraum zwischen 2 Filterspülungen [5] und damit ca. 24 Stunden bei Trockenwetter. Durch die Rückführung des Filterspülabwassers in die biologische Stufe, wird dieser Nachteil zum Teil ausgeglichen, da durch die weitere Beladung der A-Kohle in der Biologie die Spurenstofffracht zum Filter reduziert wird.

### 3.4 Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle

In der Trinkwasseraufbereitung wird bereits seit langem Kornkohle zur Anwendung gebracht. Die Filteranlagen sind nach ähnlichen Regeln wie Raumfiltrationen aufgebaut. Im Trinkwasserbereich werden diese Filter in vielen Fällen als geschlossene Systeme aus Stahl und bei größeren Einheiten auch aus Beton erstellt. Im (Druck-)Filtrationsbetrieb werden die Filter im Trinkwasserbereich mit 30 bis 50 m/h gefahren, wohingegen Schwerkraftfilter mit bis zu 15 m/h betrieben werden. Die Erfahrungen aus der Filtration bei der Trinkwasseraufbereitung können auf das Abwasser in weiten Teilen übertragen werden. Wesentliche Unterschiede sind in der Regel in der höheren biologischen Aktivität des zu filtrierenden Wasserstroms und ggf. einer höheren Feststoffbelastung zu sehen, was zu häufigeren Spülungen führt.

Somit kann neben der Zugabe von PAK in den Abwasserstrom und Abscheidung mittels einer Filtrationsstufe, die Filtrationsstufe direkt als „Aktivkohlefilter“ ausgeführt werden, d.h. in diesen Filtern werden durch den Filtrationsprozess Feststoffe zurückgehalten und Mikroschadstoffe sowie weitere gelöste Stoffe adsorbiert. Hier liegt gleichzeitig eine wesentliche Beschränkung des Einsatzes dieses Verfahrens. Liegt ein hoher adsorbierbarer gelöster CSB im Abwasser vor, wird dieser von der granulierten Aktivkohle zurückgehalten und somit können nur bedingt Spurenstoffe zurückgehalten werden.

Die Abwasserzusammensetzung hat damit einen maßgeblichen Einfluss auf die zu erwartenden Eliminationsleistung und damit auf die Standzeit des Adsorptionsbettes. Vor einer endgültigen Dimensionierung sind Versuche mit einer Filterkammer notwendig. Die weiteren Betrachtungen basieren auf Erfahrungen aus der Trinkwasseraufbereitung, die letztlich noch verifiziert werden müssen.

Der verfahrenstechnisch grundsätzliche Unterschied zur PAK-Adsorption ist, dass die Kornkohle oder granuliert Aktivkohle (GAK) recycelt werden kann. Dazu wird das beladene Filterbett aus dem Filter



ausgebaut und einer thermischen Aufbereitung unterzogen. Weiterhin kann die GAK neben der Adsorption auch als Filterkorn zur Feststoffabscheidung genutzt werden.

Bislang werden in NRW zwei Pilotanlagen mit granulierter A-Kohle betrieben. Dies sind jeweils eine Teilfilterfläche der Filter auf den Kläranlagen Düren-Merken (Wasserverband Eifel-Rur, (WVER)) und Obere Lutter (Abwasserverband Obere Lutter (AOL)). Bei der Kläranlage Obere Lutter lag der Zulauf-CSB zur Filtration zwischen 30 und 70 mg/l [30] bei der Kläranlage Düren Merken deutlich höher [31]. Erste Betriebsergebnisse zeigen eine Standzeit des Materials in der Filtration Obere Lutter von ca. 1 Jahr. Voraussetzung hierfür ist ein nahezu feststofffreier Filterzulauf und normal niedriger CSB (> 40 mg/l), da ansonsten die A-Kohle direkt beladen ist.

Eine Kammer des Filters der Kläranlage Obere Lutter wurde in einem großtechnischen Versuch mit einer Filtergeschwindigkeit von  $V = 2,0$  m/h betrieben. Parallel dazu wurden in einem kleintechnischen Adsorber/Filter ( $\varnothing = 190$  mm) Filtergeschwindigkeiten von bis zu 10 m/h gefahren. Die Beladungszeit des kleintechnischen Adsorbers bis zum Durchbruch betrug 66 Tage. In einer weiteren Versuchsphase ist der kleintechnische Adsorber nur an Werktagen (hohe Zulauffrachten an Mikroschadstoffen von den gewerblichen Einleitern) beaufschlagt. Beim diskontinuierlichen Betrieb konnte die Filterlaufzeit auf 117 Tage gesteigert werden, entsprechend 163 Kalendertage Betrieb.

Die Standzeiten des kleintechnischen Adsorbers sind dann auf den großtechnischen Versuch übertragen worden. Aus betriebstechnischen Gründen ist dies mit großer Vorsicht umzusetzen, da bei Filtergeschwindigkeiten von 10 m/h mit der eingesetzten granulierten Kohle, die ein spezifisches Gewicht von 300 g/l aufweist, hydraulische Durchbrüche im Filterbett naheliegend sind. Zumal der Filter der KA Obere Lutter von unten nach oben im Gleichstrom zur Spülung durchströmt wird. Wie weiter postuliert wird, sind Filtergeschwindigkeiten von 15 m/h nur schwierig zu realisieren, da gerade bei den Versuchen im Filter der Kläranlage Obere Lutter ein Austrag von Filtermaterial im Spülbetrieb erst bei Geschwindigkeiten von 27 m/h sicher ausgeschlossen werden konnten.

Die Kosten für den Austausch der granulierten Aktivkohlen können je nach Größe des Filterbettes zwischen 20.000 € bis zu 30.000 € betragen. Zugleich muss der Anlagenbetrieb umgestellt werden. Diese Umstellungen betreffen insbesondere die Filterspülungen und die Filtergeschwindigkeiten.

- Spülschritt 1 mit Luft über 90 s mit einer Geschwindigkeit von 56 m/h [29]
- Spülschritt 2 mit Wasser über 300 s mit einer Geschwindigkeit von 25 m/h [29]
- Spülschritt 3 mit Wasser über 180 s mit einer Geschwindigkeit von 50 m/h [29]
- Filtergeschwindigkeit Düren Merken 6,66 m/h angesetzt [29] Obere Lutter bis zu 10 m/h im Mittel 5 – 8 m/h [30]

Für die Anlage Düren-Merken wurden ca. 40 cm der alten Filterschicht belassen und der Filter bis auf eine Höhe von 1,3 m mit GAK (Körnung 1,4-2,5 mm) aufgefüllt [29],[32]. Die Filtergeschwindigkeit wurde mit 6,66 m/h angesetzt [29].

Erste Versuchsergebnisse zeigen, dass für die Kläranlage Düren-Merken, die einen hohen Zulauf-CSB aufweist, der sich gut adsorbierbaren lässt, die Beladung der A-Kohle sehr schnell abläuft. Somit sind nur wenige Bettvolumina<sup>4</sup> zu erzielen, was zu einer häufigen Regeneration der Aktivkohle führt. Hier sollen noch weitere Untersuchungen gefahren werden, um die Anzahl der Bettvolumina zu erhöhen [31]. Die Aktivkohle wurde zwischenzeitlich gewechselt und die Anzahl der Bettvolumina konnte gesteigert werden, allerdings gestaltet sich der Rückhalt der granulierten Kohle als schwierig.

Demgegenüber stehen erste Betriebsergebnisse der Kläranlage Obere Lutter, die sehr gute Ergebnisse und sehr lange Filterstandzeiten (gemeint sind eine hohe Zahl an Bettvolumina) realisieren konnte [30].

<sup>4</sup> Das Bettvolumen gibt die Anzahl der ausgetauschten Wasservolumina, die das Filterbett durchflossen haben, bis zum Erreichen der maximalen Beladung an.

In dem oben bereits zitierten großtechnischen Versuch konnten bereits Bettvolumina von mehr als 5.000 erreicht werden, ohne dass das Versuchsende erreicht wurde. Allerdings wurde der Filter im großtechnischen Versuch nur mit einer Geschwindigkeit von 2,0 m/h gefahren.

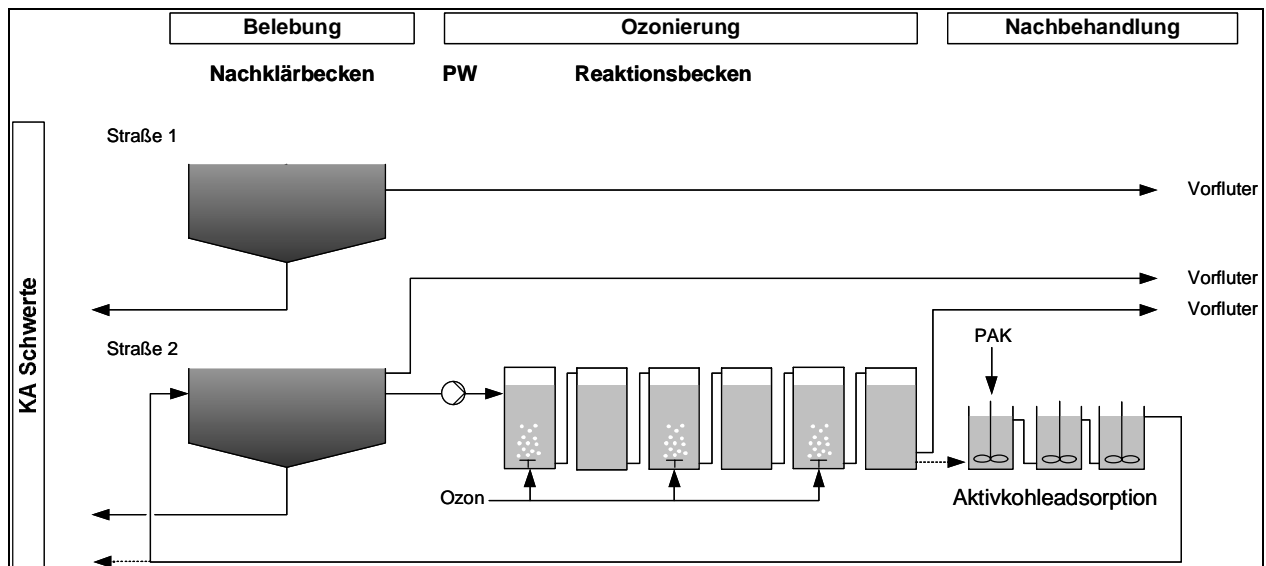
Für den Einsatz dieses Verfahrens ist daher eine mehrstufige Vorgehensweise für den Einsatz auf der Kläranlage Neuss Ost anzustreben:

- Schritt 1: Säulenversuche zur Charakterisierung des spezifischen CSB und der entsprechenden Beladung von unterschiedlichen granulierten Aktivkohlen
- Schritt 2: bei positivem Ergebnis (d.h. eine ausreichende Bettbeladung lässt sich realisieren) Durchführung eines großtechnischen Versuches an einer Filterzelle mit granulierter Aktivkohle auf Basis der Ergebnisse aus Schritt 1
- Schritt 3: großtechnische Umsetzung und anschließende Optimierung

### 3.5 Ozonierung

Der Vollständigkeit halber soll der Stand des Einsatzes der Ozonierung von Abwasser kurz erläutert werden. Zurzeit werden drei Anlagen in Bad Sassendorf (Lippeverband), Duisburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Duisburg AöR) und Schwerte (Ruhrverband) zur Mikroschadstoffentfernung mittels Ozon in NRW betrieben. Die Anlage in Schwerte nimmt hierbei eine Sonderstellung ein, da sowohl Ozon als auch Aktivkohle zugegeben wird.

Auf der 2straßigen Kläranlage Schwerte wird eine Straße zu den wissenschaftlichen Untersuchungen zur Spurenstoffelimination herangezogen, die zweite Straße wird als Referenz betrieben. Das Fließschema der Kläranlage Schwerte und insbesondere der Aufbau der Kombination Ozon und Aktivkohle ist in Abbildung 3-6 dargestellt.



**Abbildung 3-6: Schematische Darstellung der Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung auf den Kläranlagen Schwerte (aus [2] verändert nach [11])**

Auf dieser Anlage wird der Ablauf der Nachklärung der Straße 2 maximal in Höhe des Trockenwetterzuflusses auf die PAK Anlage gefördert. Dadurch kann bei Trockenwetter die Nachklärung mit ihrer maximal zulässigen Wassermenge beschickt werden. Bei einem einsetzenden Regenereignis wird die Ab-

wassermenge, die zur PAK Anlage gefördert wird, derart gedrosselt, dass die maximale Zulaufmenge zur Nachklärung (= Regenwettermenge) nicht überschritten wird. Im Regenwetterfall wird somit die Wassermenge zur PAK-Anlage reduziert. So wird das Nachklärbecken sowohl im Regenwetterfall wie auch im Trockenwetterfall mit konstanter maximal zulässiger Wassermenge beschickt. Dem zu behandelnden Wasser (maximal 1.152 m<sup>3</sup>/h) wird PAK in unterschiedlichen Mengen zwischen 5 bis 10 mg/l zudosiert. Das zu behandelnde Wasser durchfließt die Reaktoren mit jeweils einem Volumen von 6 \* 25 m<sup>3</sup> und einer mittleren Aufenthaltszeit von ca. 10 min. Die Anlage ermöglicht die Betriebsweisen:

- Nur PAK Dosierung
- PAK und Ozondosierung
- Nur Ozondosierung

Die Ozonierung ist ein energetisch aufwändiges Verfahren. So kann die Ozonerzeugung mit ca. 15 kWh/kg O<sub>3</sub> abgeschätzt werden. Für die Anlage in Duisburg Vierlinden kann ein Bedarf von ca. 0,15 kWh/m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser inkl. Abwasserhebewerk (bei einer spezifischen Dosierrate von  $Z_{\text{Spezifisch}}^5 = 1,25 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$ , DOC = 5,8 mg/l) für einen Hochlastbetrieb angesetzt werden [36].

---

<sup>5</sup>  $Z_{\text{Spezifisch}}$  gibt die auf den DOC bezogene Ozondosierung an. Der DOC stellt hierbei die Leitgröße dar.

## **4 Technische Bedingung der Filter**

### **4.1 Kurzbeschreibung der Abwasserbehandlung der Kläranlage Neuss Ost**

Die Kläranlage Neuss Ost wurde in den 1990er-Jahren als zweistufige Belebungsanlage nach dem AB-Verfahren ausgebaut. Die Anlage war eingebettet in ein vorhandenes Gewerbegebiet und wird durch eine Bahnlinie und den Rheindeich begrenzt. Die Platzverhältnisse haben eine äußerst kompakte Anlagenkonzeption erfordert. Flächen für Kapazitätserweiterungen sowie verfahrenstechnischen Anpassungen sind nur sehr limitiert vorhanden. Aufgrund Zusammensetzung des Abwassers und unmittelbaren Nähe zur Bebauung sind sämtliche Behandlungsstufen der Kläranlage Neuss Ost gekapselt. Die Abluft wird unter den Abdeckungen und aus den Einhausungen über eine zentrale Ventilatorstation abgesaugt und in chemischen Wäscher und nachgeschalteten Biofiltern behandelt.

Das Abwasser wird mit Schneckenpumpen gehoben. In einer 2straßigen Rechenanlage sowie in einem 2straßigen Sandfang wird das kommunal und industriell geprägte Abwasser mechanisch gereinigt bevor es der ersten biologischen Hochlaststufe zugeführt wird. Die Adsorptionsstufe ist in zwei Straßen aufgliedert, die mit feinblasiger Druckbelüftung ausgerüstet sind. In der 4straßigen Zwischenklärung, die mit Bandräumern ausgestattet ist, wird der A-Stufen-Schlamm abgetrennt.

Die zweite biologische Stufe ist als 2er-Kaskadendenitrifikation ausgeführt worden. Die erste Kaskade der Schwachlastbelebung ist in 6 Straßen à 2 Becken und die zweite Kaskade in 3 Straßen à 2 Becken aufgeteilt. Die Versorgung der feinblasigen Belüftung wird über eine Verdichterstation mit fünf Turbo-Verdichtern sichergestellt.

Von der Schwachlastbelebung wird das Abwasser-Schlamm-Gemisch mit einem Zwischenpumpwerk bestehend aus 3 + 1 Rohrpropellerpumpen in die Nachklärung und Filteranlage gefördert. Die 5straßige Nachklärung wurde aufgrund der Platzverhältnisse doppelstöckig mit Bandräumern ausgeführt. Der Zulauf zu dem oberen und dem unteren Becken ist hydraulisch entkoppelt und der Ablauf der beiden Becken gekoppelt konstruiert.

Die Filteranlage als abwärts durchströmter Raumfilter mit 2 Linien à 4 Filterzellen ausgelegt. Der Ablauf wird in der Regel im freien Gefälle dem Rhein über das Hochwasserpumpwerk Hammer Landstraße in den Rhein eingeleitet.

### **4.2 Nachklärung der Kläranlage Neuss Ost**

Auf der Kläranlage Neuss Ost werden 5 rechteckige Nachklärbecken in zweistöckiger Bauart betrieben. Die beiden Stockwerke der Becken sind zulaufseitig hydraulisch getrennt und der Ablauf ist hydraulisch gekoppelt.

Der Zulauf erfolgt über eine Verteilerrinne und Falleitungen zu den 4 Zulauföffnungen B/H = 80/60 cm im oberen Becken und zu 8 Öffnungen B/H = 50/60 cm im unteren Becken. Jedes Stockwerk verfügt über voneinander getrennte Bandräumer und Schlammtrichter. Der Räumebalken (Räumerhöhe 25 cm) läuft mit einer Geschwindigkeit von 1,4 m/min. Zur Optimierung der Nachklärbecken wird derzeit eine reduzierte Räumgeschwindigkeit getestet. Die Rücklaufverhältnis beträgt  $RV = 0,75$ .

Die betriebliche Bandbreite des Schlammindezes beträgt  $ISV = 40$  bis  $80$  ml/g und für den Feststoffgehalt  $TS_{BB} = 4,0$  bis  $8,0$  g/l. Im Ablauf der Nachklärung sind abfiltrierbare Stoffe in einer Bandbreite von 5 bis  $20$  mg AFS/l enthalten; der Durchschnitt ist etwa bei  $15$  mg AFS/l zu sehen.

Der Klarwasserabzug erfolgt beim unteren Becken über eine Öffnung am Ende des Beckens in der Zwischendecke der beiden Stockwerke unterhalb der Rinnen in der oberen Etage. Das Klarwasser aus beiden Stockwerken wird über je 16 Klarwasserabzugsrinnen mit beidseitigem Überlauf abgezogen

**Tabelle 4-1: Kenndaten der Nachklärung Neuss Ost**

| <b>Abmessungen:</b> | <b>oberes Becken</b>                                  | <b>unteres Becken</b>                                  |
|---------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Breite:             | 8,5 m                                                 | 8,5 m                                                  |
| Länge:              | 65,25 m                                               | 63,44 m                                                |
| Wassertiefe:        | 3,64 m                                                | 3,40 m                                                 |
| Oberfläche          | 450,1 m <sup>2</sup><br>(ohne Fläche Klarwasserabzug) | 493,2 m <sup>2</sup><br>(ohne Öffnung Klarwasserabzug) |
| Anzahl der Becken   | 5 doppelstöckig                                       |                                                        |
| Gesamtfläche:       | 4.716,5 m <sup>2</sup>                                |                                                        |

### 4.3 Filtrationsanlage der Kläranlage Neuss Ost

Aufgabe der Filtration ist es, das bereits in der biologischen A- und B-Stufe vorgereinigte Abwasser weitgehend von Schwebstoffen und auch von der Restkonzentration an Phosphor zu befreien. Die gewählte Verfahrenstechnik ist eine Mehrschichtfiltration, ausgeführt als 2-Schicht-Filtration.

Das vorgereinigte Abwasser aus der Nachklärung fließt dem Verteilerbauwerk in freiem Gefälle zu. Im Zulaufgerinne zur Filteranlage befindet sich eine Dosierstelle für die Phosphor-Nachfällung. Bei zu hohem Phosphatgehalt wird dort Eisen-III-Chlorid zugegeben, um einen Betriebswert von  $0,5$  mg/l  $P_{ges}$  einzuhalten. Der Abwasserstrom wird mittels Membranbelüftern durchmischt, um eine vollständige Vermischung des Fällungsmittels mit dem Abwasser zu erreichen.

Das Abwasser verteilt sich anschließend auf zwei Zulaufkanäle und wird in diesen mittels seitlich angebrachten Rohrbelüftern grobblasig belüftet. Hierdurch wird eine tangentielle Strömung mit einer Fließgeschwindigkeit von rd.  $0,6$  m/s erzeugt, so dass Ablagerungen im Gerinne vermieden werden. Anschließend wird das Abwasser gleichmäßig von den beiden Zulaufkanälen auf die Zulaufkammern der zugeordneten Filter verteilt.

Jede Filterkammer verfügt über eine eigene Zulaufkammer. Diese Kammern sind dem Zulaufschieber nachgeschaltet und mit Überfallkanten versehen.

Die Zulaufschieber im Einlaufbereich der Filter dienen zur Absperrung der Zulaufkammern der einzelnen Filter bei Rückspülung und Wartung. Die Überfallschwelle der jeweiligen Zulaufkammer verteilt das Abwasser über die gesamte Breite der jeweiligen Filterkammer.

Die Filterkammern und das Zulaufgerinne werden durch den entstehenden Wasserüberfall hydraulisch entkoppelt, so dass eine gleichmäßige Beschickung aller Filterflächen unabhängig von der Verschlämzung des Filterbetts und damit dem Druckverlust des Filterbettes gegeben ist. Während des Anlagenbetriebes kommt es durch die Feststoffrückhaltung zu einem Anstieg des Druckverlustes im Filter. Das

ablaufende Abwasser fließt über eine geregelte Reinwasserarmatur dem Spülwasserbecken (Reinwasserbecken) zu. Die Anzahl der Kammern, das Filtermaterial und die mögliche Druckhöhe wurden so dimensioniert, dass bei den im Zulauf erwarteten Schwebstoffgehalten und Phosphatkonzentrationen Filterstandzeiten von 24 bis 48 h erreicht werden können bevor eine Filterkammer gespült werden muss.

Im Einzelnen sind die Filterkammern wie folgt aufgebaut:

- Filterunterboden zur Luft- und Wasserverteilung
- Luftverteilsystem zur Verteilung der Luft im Luftpolsterraum der Düsen
- Filterboden mit Filterdüsen
- Filtermaterial
- Rohwasserzulaufeinrichtung
- Schlammwasserabzugseinrichtung nach dem Spülvorgang (Schlammwasserklappen)
- Stauraum über dem Filtermaterial
- Sprüheinrichtungen zur Reinigung der Wände beim Abziehen von Schlammwasser

Die technischen Daten der Filteranlage Tabelle 4-2), der Filteraufbau (Tabelle 4-3) und die Auslegungsdaten (Tabelle 4-4) sind aus der Betriebsbeschreibung [39] entnommen und in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

**Tabelle 4-2: Übersicht technische Ausführung der Abwasserfiltration Neuss Ost [39]**

| <b>Technik</b>           | <b>Ausführung</b>                                                     |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Filterverfahren          | Abwärts durchströmter Raumfiltern mit 8 Filterkammern                 |
| Filtertyp                | Mehrschichtfiltration / Zweischichtfilter in offener Betonbauweise    |
| Ausführung               | 2straßig mit je 4 Filterkammern je Straße                             |
| Gesamtfilterfläche       | 440,8 m <sup>2</sup>                                                  |
| <b>Filterzelle:</b>      | <b>Kenndaten</b>                                                      |
| Breite                   | 8,5 m                                                                 |
| Länge                    | 9,5 m                                                                 |
| Überstauraum             | 2,6 m (über dem Filterbett)                                           |
| Filterbetthöhe           | 2,2 m                                                                 |
| Fläche je Filter         | 55,1 m <sup>2</sup>                                                   |
| Anzahl der Filterkammern | 8                                                                     |
| Filterdüsenanzahl        | 54 Düsen/m <sup>2</sup> Filterboden                                   |
| Filterboden              | 9 Filterplatten (200 mm stark) auf Betonstützen mit eingebauten Düsen |
| Filtermaterial           | 2 abgestufte Stüttschichten und 2 Filterschichten                     |

**Tabelle 4-3: Aufbau der Filter - Schichten von oben nach unten (Stand 2010)**

| Bezeichnung      | Material  | Körnung        | Schichthöhe |
|------------------|-----------|----------------|-------------|
| 2. Filterschicht | Anthrazit | 1,4 – 2,5 mm   | 150 cm      |
| 1. Filterschicht | Quarzsand | 0,71 – 1,25 mm | 40 cm       |
| Verteilschicht   | Quarzsand | 5 – 8 mm       | ca. 15 cm   |
| Stützschicht     | Quarzsand | 2 – 5 mm       | ca. 15 cm   |

**Tabelle 4-4: Abwassermengen und Konzentrationen Filtration Neuss Ost- Auslegungsdaten[39]**

| Wassermengen                               | Kürzel               |   | in [l/s]  | in [m <sup>3</sup> /h]  |
|--------------------------------------------|----------------------|---|-----------|-------------------------|
| Trockenwetterzufluss                       | Q <sub>t</sub>       | = | 680 l/s   | 2.448 m <sup>3</sup> /h |
| Regenwetterzufluss                         | Q <sub>m</sub>       | = | 1.484 l/s | 5.342 m <sup>3</sup> /h |
| Min.. Nachtwetterzufluss                   | Q <sub>t,min</sub>   | = | 140 l/s   | 504 m <sup>3</sup> /h   |
| Rückspülwasser                             | Q <sub>s,min</sub>   | = | 124 l/s   | 446 m <sup>3</sup> /h   |
| <b>Zulaufkonzentrationen zum Filter</b>    |                      |   |           | in [mg/l]               |
| Abfiltrierbare Stoffe bei Trockenwetter    | AFSTW                | = | 15        | mg TS /l                |
| Abfiltrierbare Stoffe bei Regenwetter      | AFSRW                | < | <b>50</b> | mg TS /l                |
| Max. abfiltrierbare Stoffe bei Regenwetter | AFSRW, max           | = | 50        | mg TS /l                |
| Biologischer Sauerstoffbedarf              | BSB5                 | = | 10        | mg/l                    |
| Max biologischer Sauerstoffbedarf          | BSB5, max            | = | 25        | mg/l                    |
| Chemischer Sauerstoffbedarf                | CSB                  | = | 70        | mg/l                    |
| Max. chemischer Sauerstoffbedarf           | CSBmax               | = | 100       | mg/l                    |
| Phosphorkonzentration                      | P <sub>ges</sub>     | = | 1,5       | mg/l                    |
| Max. Phosphorkonzentration                 | P <sub>ges,max</sub> | = | 2,5       | mg/l                    |
| <b>Ablaufkonzentrationen Filter</b>        |                      |   |           |                         |
| Max. abfiltrierbare Stoffe                 | AFS <sub>max</sub>   | = | <b>10</b> | mg TS /l                |
| Max. biologischer Sauerstoffbedarf         | BSB <sub>5,max</sub> | = | 10        | mg/l                    |
| Max. chemischer Sauerstoffbedarf           | CSB <sub>max</sub>   | = | 65        | mg/l                    |
| Max. Phosphorkonzentration                 | P <sub>ges,max</sub> | = | 0,5       | mg/l                    |

Aus betrieblichen Gründen ist es günstig, die Filter mit einer möglichst gleichmäßigen Filtrationsgeschwindigkeit von 10-15 m/h zu betreiben. Um den vorgeschriebenen Filtergeschwindigkeitsbereich einzuhalten, stellt ein Filtermanagementprogramm sicher, dass immer die erforderliche Anzahl von Filtern in Betrieb ist. Über das PLS können folgende Parameter vorgegeben werden (Tabelle 4-5)

**Tabelle 4-5: PLS Parameter**

| Parameter                      | Bereich | Einheit | Voreinstellung | Einstellung 02/2004 |
|--------------------------------|---------|---------|----------------|---------------------|
| maximale Filtergeschwindigkeit | 5 – 15  | m/h     | 15             | 13                  |
| minimale Filtergeschwindigkeit | 5 – 15  | m/h     | 10             | 7                   |
| Mindestbetriebszeit            | 5 – 96  | h       | 18             | 18                  |
| Maximalbetriebszeit            | 5 – 96  | h       | 24             | 24                  |
| Abschaltzeit                   | 0 – 300 | min.    | 60             | 30                  |
| Zuschaltzeit                   | 0 - 300 | min.    | 5              | 1                   |
| Mindestanzahl Filter           | 1 – 8   |         | 3              | 4                   |

Wird der vorgegebene Wert der minimalen Filtergeschwindigkeit länger als die vorgegebene Abschaltzeit unterschritten, wird, soweit mehr Filter als im Parameter „Mindestanzahl Filter“ vorgegeben in Betrieb sind, ein Filter abgeschaltet. Eine Abschaltung erfolgt nach folgenden Kriterien:

1. Sind Filter in Betrieb, deren Mindestbetriebszeit bereits überschritten ist, wird der Filter mit der längsten Betriebszeit außer Betrieb genommen und rückgespült.
2. Ist kein Filter in Betrieb der seine Betriebszeit erreicht hat, so wird der Filter mit der kürzesten Betriebszeit außer Betrieb genommen.
3. Bei Erreichen der Maximalbetriebszeit wird der entsprechende Filter abgeschaltet und rückgespült. Es wird dann ein anderer Filter zugeschaltet, soweit noch einer in Bereitschaft steht.

Wird die maximale Filtergeschwindigkeit länger als die vorgegebene Zuschaltzeit überschritten, so erfolgt die Wiederinbetriebnahme eines Filters. Dafür gelten folgende Kriterien:

1. Waren bereits Filter in Betrieb, so wird der Filter mit der längsten Betriebszeit wieder in Betrieb genommen.
2. War noch kein Filter nach der Spülung in Betrieb, so wird der Filter mit der längsten Standzeit in Betrieb genommen.

Diese Zuschaltkriterien gelten auch, wenn ein Filter für die reguläre Spülung außer Betrieb genommen wird.

Das filtrierte Abwasser fließt in Stichleitungen aus jedem Unterboden eines Filters dem Filtratwasserkanal zu. Der Kanal ist zwischen den Filterkammern angeordnet. Die Stichleitungen enden im Spülwasserspeicher, welcher ein Volumen von rd. 420 m<sup>3</sup> aufweist. Dieser Spülwasserspeicher hält Filtrat zum Rückspülen der Filter vor. Es ist eine Ablaufschwelle eingebaut, die einen Einstau auf einem Niveau von NN+ 33,50 m gewährleistet. Das überlaufende Abwasser fließt über zwei Dreieckwehre zum Ablauf der Kläranlage. Mittels einer Höhenmessung an den Wehren wird die ablaufende Wassermenge erfasst und protokolliert.

Die Rückspülung eines Filters im automatisierten Betrieb wird durch die Außerbetriebnahme des überstauten Filters eingeleitet. Hierzu ist die Filteranlage so ausgelegt, dass der Normalbetrieb problemlos mit den verbleibenden Filtern fortgesetzt werden kann, wobei mindestens sechs Filter für die Aufrechterhaltung des Betriebes unter den Bedingungen eines eventuellen Mischwasserzuflusses betriebsbereit gehalten werden müssen.



Der Rückspülungsvorgang wird im Gegenstromverfahren durchgeführt und läuft z.B. bei der Normalspülung nach folgendem Muster ab:

1. Luftspülung
2. Luft-/Wasserspülung
3. Wasserspülung mit reduziertem Wasservolumenstrom
4. Wasserintensivspülung
5. Klarspülung

Das bei der Rückspülung anfallende Schlammwasser fließt nach jedem Spülschritt über den Schlammwasserkanal dem Schlammwasserspeicher zu, wobei die Menge mit Hilfe eines IDM ermittelt wird. Vom Speicher aus wird das Schlammwasser mittels zweier Schlammwasserpumpen (eine davon in Reserve) vergleichmäßig zum Einlaufbauwerk der Kläranlage gepumpt. Nach Beendigung der Rückspülung wird die Filterkammer wieder in Betrieb genommen.

Falls es im Betrieb der Filtrationsanlage zu Schaumbildungen kommen sollte, besteht die Möglichkeit jede einzelne Filterkammer mit Wasser zu berieseln. Auf diese Weise können sich die Schaumflocken auflösen.

Die Filtrerrückspülung kann entweder durch das Erreichen des maximal zulässigen Filterwiderstandes, das Erreichen der maximalen Filterstandzeit oder durch manuelle Einleitung durchgeführt werden. Je nach Vorwahl können unterschiedliche Spülprogramme eingeleitet werden. Hiernach sind folgende Varianten möglich:

- Normalspülen
- Kurzspülen
- Doppelspülen

Die einzelnen Schritte der „Normalspülung“ wurden bereits oben aufgeführt. In der Einstellung „Kurzspülen“ entfällt der Schritt der Luftspülung. Die „Kurzspülung“ dient hauptsächlich der Entfernung von Verschmutzungen, die sich auf der Oberfläche des Filterbettes absetzen. Bei der Programmeinstellung „Doppelspülen“ werden die oben beschriebenen Programmabfolgen der ersten bis dritten Phase doppelt ausgeführt. Die Auswahl der Spülprogramme ergibt sich aus der Art der Verschmutzung des Filters. Die Filtereinheiten können z.B. durch Wasserspülungen von aufliegendem Belebtschlamm befreit werden. Bei sehr festen Ablagerungen kann ein doppeltes Spülen erforderlich werden, um den Anfangsfilterwiderstand neu einzustellen.

Die im Hinblick auf die Filtrerrückspülung wichtigsten Aggregate sind in Tabelle 4-6 aufgeführt.

**Tabelle 4-6: Zusammenstellung der wichtigsten Pumpen und Gebläse**

| Klartext/ Bezeichnung | Q<br>[m <sup>3</sup> /h]              | H<br>[bar]               | <sup>1</sup> /min | E<br>[kW] | <sup>1</sup> /min | E<br>[kW] |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
|                       | <b>Pumpe</b>                          |                          |                   |           | <b>Motor</b>      |           |
| Spülwasserpumpe 1     | 1200                                  | 0,7                      | 549               | 32        | 722               | 37        |
| ( polumschaltbar )    | 2200                                  | 0,8                      | 664               | 65        | 933               | 75        |
| Spülwasserpumpe 2     | 1200                                  | 0,7                      | 549               | 32        | 722               | 37        |
| ( polumschaltbar )    | 2200                                  | 0,8                      | 664               | 65        | 933               | 75        |
| Spülwasserpumpe 3     | 600                                   | 0,8                      | 563               | 17,9      | 1450              | 22        |
| Schlammwasserpumpe 1  | 800                                   | 0,2                      | 580               | 8         | 1460              | 12,5      |
| Schlammwasserpumpe 2  | 800                                   | 0,2                      | 580               | 8         | 1460              | 12,5      |
|                       | Q <sub>1</sub><br>[m <sup>3</sup> /h] | P <sub>d</sub><br>[mbar] | <sup>1</sup> /min | E<br>[kW] | <sup>1</sup> /min | E<br>[kW] |
|                       | <b>Verdichter</b>                     |                          |                   |           | <b>Motor</b>      |           |
| Spülluftgebläse 1     | 2760 / 1200                           | 800                      | 2670              | 85,8      |                   |           |
| Spülluftgebläse 2     | 1470                                  |                          |                   |           |                   |           |
| Spülluftgebläse 3     | 1470                                  |                          |                   |           |                   |           |

Im Ablauf der Filteranlage wird der Überwachungswert von 75 mg CSB/l eingehalten. In der Regel wird ein CSB-Wert von ca. 60 mg CSB/l erreicht.

## 5 Varianten

In der nachfolgenden Variantenbetrachtung werden die in Kapitel 3 „Mikroschadstoffentfernung mittels großtechnischer Anlagen (Stand der Technik)“ dargestellten Verfahrenstechniken auf die Einsatzmöglichkeit auf der Kläranlage Neuss Ost hin untersucht. Schwerpunkt hierbei bilden die Verfahren mittels Aktivkohleadsorption.

Wie bereits beschrieben und wie in [4] hervorgehoben wird, ist eine Schwierigkeit bei der Pulveraktivkohle-Zugabe, dass sich die Aktivkohle bei den Stoffen, die sie adsorbiert, nicht selektiv verhält. Besonders beim Einsatz von Aktivkohle im Belebungsbecken können sich hieraus Leistungsminderungen bezogen auf die Spurenstoffelimination ergeben. Aus diesem Grund wurde der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) in einem dem Kläranlagenablauf nachgeschalteten Becken untersucht. Die Investitionskosten einer solchen Maßnahme sind zwar höher als bei der Pulveraktivkohledosierung in das Belebungsbecken, die zu erwartende Eliminationsleistung in einem nachgeschalteten Becken sollte aufgrund des nahezu feststofffreien Kläranlagenablaufs aber merklich höher sein. Über den Einfluss der abfiltrierbaren Stoffe auf die Spurenstoffeliminationsleistung besteht noch Forschungsbedarf.

Die hier untersuchten Varianten unterscheiden sich u. a. durch die Höhe des Hintergrund-DOC bzw. der abfiltrierbaren Stoffe im Rohwasser zur Adsorption. In Abhängigkeit dieser Größen wurde die Zugabemenge an Aktivkohle variiert.

Die Dosierstoffe und –mengen sind letztlich im Rahmen von Vorversuchen oder in der Inbetriebnahme und Betriebsoptimierungsphase in Abhängigkeit von den Spurenstoffen und der gewählten Kohle zu erproben.

Grundlage dieser hier betrachteten Verfahren ist die

1. Referenz: „klassische“ Adsorptionsstufe

wie sie z.B. auf der Kläranlage Mannheim als Teilstrombehandlung oder der Kläranlage Kressbronn realisiert wurde. Obwohl diese Technik aus diversen Gründen für Neuss Ost nicht in Frage kommt, wird insbesondere der Flächenbedarf einer solchen Anlage analysiert, um als Referenzgröße zu dienen.

Danach werden Adsorptionsverfahren vorgestellt, die auf der Kläranlage Neuss Ost verfahrenstechnisch und konstruktiv angepasst realisiert werden können. Alle Varianten beinhalten eine maximale Beschickung der Adsorptionsstufe bis zum Trockenwetterzufluss. Bei überschreiten dieser Wassermenge wird diese über einen Bypass abgeführt bzw. die Adsorption von Mikroschadstoffen mit Aktivkohle eingestellt. Im Regenwetterfall ist die Mikroschadstoffverunreinigung durch Verdünnung reduziert.

Die Variantentitel beschreiben den Abwasserweg bei Trockenwetter bzw. das wesentliche Verfahrenstechnische Merkmal

2. Variante 1: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter
3. Variante 2: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum – Filtration
4. Variante 3: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration
5. Variante 4: Ablauf der Nachklärung – Filtration (Straße 1) - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) – Filtration (Straße 2)
6. Variante 5: Filtermaterialaustausch gegen granuliert Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter

Die Investitionskosten und Betriebskosten werden für jede Variante tabellarisch zusammengestellt. Die Ermittlung der Jahreskosten erfolgt nach den Leitlinien zu 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.

## 5.1 Referenz: „Klassische“ Adsorptionsstufe

Wie in Kapitel 3.3.1 ausgeführt besteht eine klassische Adsorptionsstufe zur Elimination von organischen Restverschmutzungen grundsätzlich aus zwei Prozessstufen: einem Kontaktraum für die Adsorption der Pulveraktivkohle und einer Abscheideeinheit zur Abtrennung der beladenen Aktivkohle.

In den unterschiedlichen Veröffentlichungen [2], [3] werden Dosiermengen von 10 -20 mg PAK/l Abwasser angegeben. In großtechnischen Anlagen werden Dosiermengen in Versuchen zwischen 5 -20 mg PAK/l [2] eingesetzt. Erste Ergebnisse zeigen, dass mit 10 mg PAK/l nach [4] Eliminationsraten von  $> 90\%$  erreicht. In der Tabelle 5-1 (nach [3]) sind die Dosiermengen für den Ersteinsatz von PAK, Flockungshilfsmittel und Eisen-Fällmittel für die Kläranlage Kressbronn aufgeführt. Diese werden bei den weiteren Berechnungen für die Kläranlage Neuss Ost angesetzt.

**Tabelle 5-1: Dosiermittel und –mengen am Beispiel der Adsorptionsstufe der KA Kressbronn aus [3] modifiziert <sup>1)</sup>**

| Dosierstelle              | Dosiermittel                            | ca. Dosiermenge [Ersteinsatz]                   |
|---------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Vor Kontaktbecken         | PAK                                     | 10 mg PAK/l                                     |
| Nach Kontaktbecken        | Flockungshilfsmittel (FHM)              | 0,25 mg WS/l <sup>1)</sup>                      |
| Nach Kontaktbecken        | Fällmittel (FM)<br>Fe[III]chloridsulfat | 0,3 mg Fe / mg PAK<br>5,6 mg Fe/l <sup>1)</sup> |
| Nach Sedimentationsbecken | Fällmittel (FM)<br>Fe(III)chloridsulfat | 0,5 – 1,5 mg Fe/l                               |

Nach diesen Bemessungsempfehlungen und Hinweisen aus Kapitel 3.3.1 ergeben sich für den Kontaktreaktor und das Sedimentationsbecken bei einer hydraulischen Beaufschlagung von maximal dem Trockenwetterzufluss von  $Q_t = 2.448 \text{ m}^3/\text{h}$  folgenden Hauptabmessungen:

### Kontaktreaktor:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} \quad V &= 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 0,5 \text{ h} = 1.224 \text{ m}^3 \\ \text{Grundfläche} \quad A &= 1.224 / 3,4 = 360 \text{ m}^2 \quad (\text{gewählte Wassertiefe } 3,4 \text{ m}) \end{aligned}$$

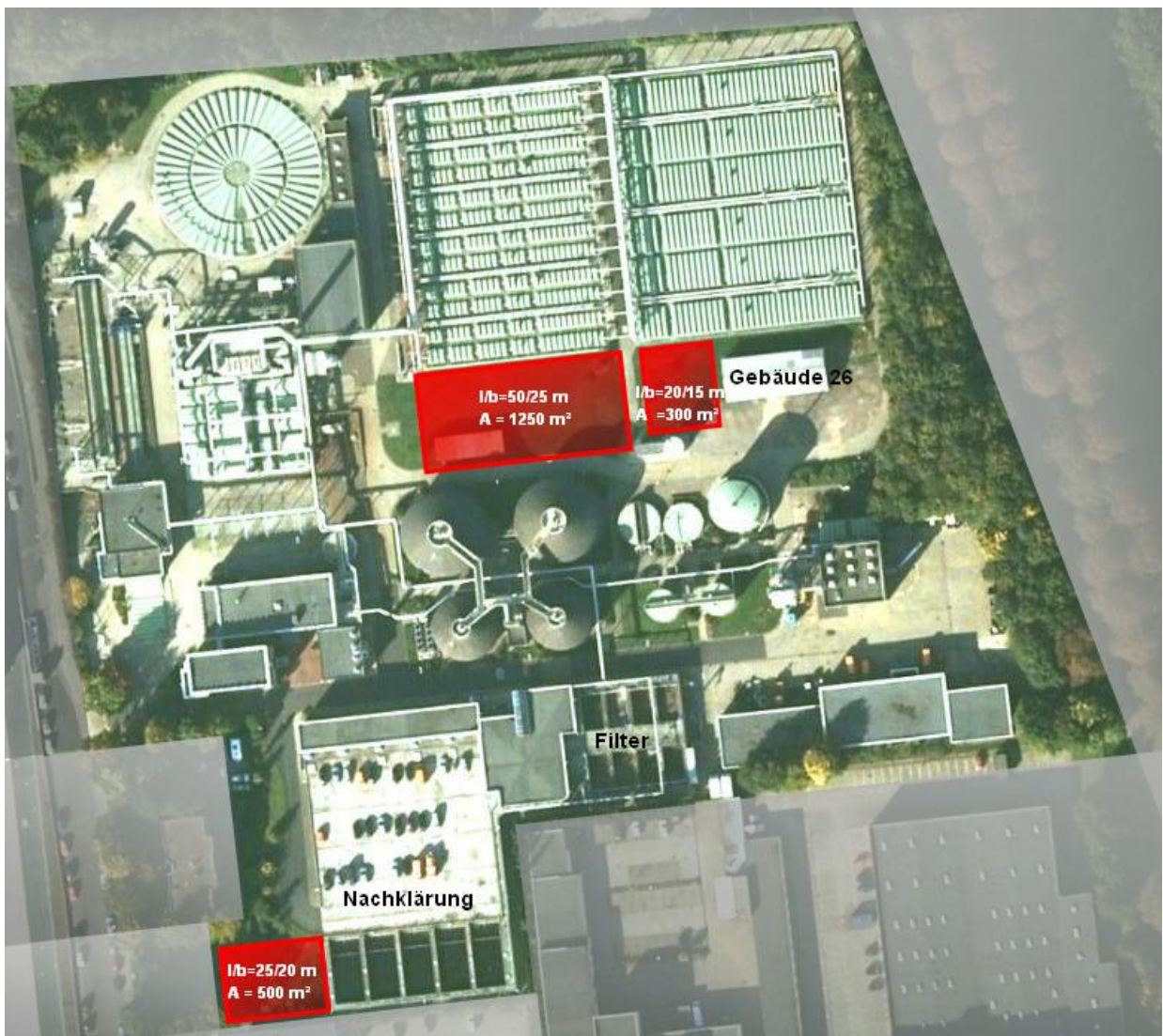
### Sedimentationsbecken:

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} \quad A &= 2.448 \text{ m}^3/\text{h} / 2,0 \text{ m/h} = 1.224 \text{ m}^2 \\ \text{Wassertiefe} \quad h &= 4,0 \text{ m (gewählt)} \\ \text{Volumen} \quad V &= 1.224 \text{ m}^2 * 4,0 \text{ m} = 4.896 \text{ m}^3 \\ \text{Aufenthaltszeit} \quad t &= 4.896 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} = 2,0 \text{ h} \end{aligned}$$

**Raumfiltration**

Die vorhandene Raumfiltration erfüllt die Dimensionierungsempfehlungen hinsichtlich der Filtergeschwindigkeit von < 12 m/h und des Filteraufbaus wobei die Anthrazitschicht zu Lasten der Sandschicht höher ist.

Auf der Kläranlage Neuss Ost stehen noch zwei Freiflächen zur Verfügung, die für klärtechnische Einrichtungen genutzt werden können. Die eine Fläche steht südlich der Kaskadendenitrifikation zur Verfügung und ist langfristig auch für eine mögliche Erweiterung der zweiten biologischen Stufe vorgesehen. Auf dieser Fläche wurde in den letzten Jahren bereits ein Gebäude (Nr. 26) errichtet, das als Lagerhalle und Schulungsraum genutzt wird. Um bei einer möglichen Erweiterung auch diese Überbauung mit einbeziehen zu können, wurde das Gebäude demontierbar ausgeführt.



**Abbildung 5-1: Lageplan mit Erweiterungsflächen**

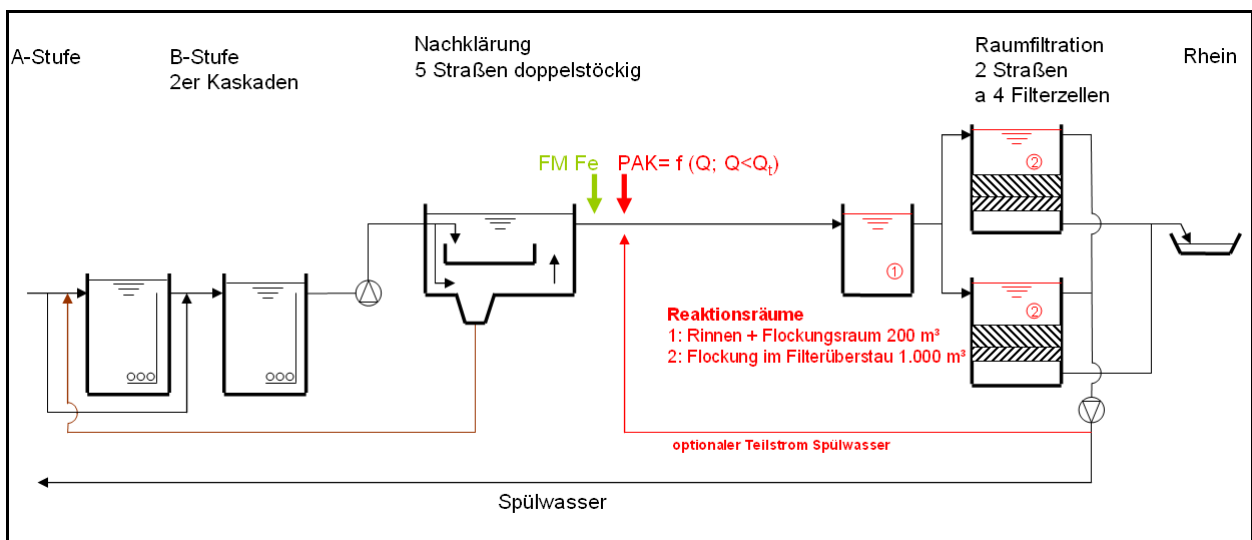
Neben der der ersten Kaskade steht eine Bruttofläche von 1.250 m² (L/B = ca. 50/25 m) zur Verfügung und zwischen der zweiten Kaskade und dem Gebäude „26“ zusätzlich 300 m². Ein Vergleich mit der oben dargestellten Dimensionierung zeigt, dass eine „klassische“ Adsorptionsstufe auf dieser Bruttofläche nicht realisiert werden kann.

Eine zweite kleinere Fläche von 500 m<sup>2</sup> (L/B = ca. 25/20 m) steht direkt neben der Nachklärung zur Verfügung und ist für die Errichtung einer klassischen Adsorptionseinheit ebenfalls zu klein. Eine gemeinsame Nutzung der beiden Flächen erfordert umfangreiche Verrohrungen, die auf der Kläranlage nur mit größten bautechnischen Schwierigkeiten und Kosten realisiert werden kann.

Die Realisierung einer "klassischen" Adsorptionsstufe auf der Kläranlage Neuss Ost für die Elimination von Spurenstoffen nach den Dimensionierungsempfehlungen von Metzger und Kapp [1] scheidet auf Grund der vorhandenen räumlichen Verhältnisse aus.

## 5.2 Variante 1: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter

Die verfahrenstechnisch einfachste Integration in einer Pulverkohleadsorption stellt die Zugabe von PAK und Flockungshilfsmittel in einem vorgeschalteten Flockungsraum mit anschließender Raumfiltration dar. Die Verfahrenstechnik und der Stand der Forschung und Technik hierzu wurde in Kapitel 3.3.2 erläutert. In Anlehnung an Abbildung 3-5 ist das Verfahren in das Blockschaltbild der Kläranlage Neuss Ost (Abbildung 5-2) integriert.



**Abbildung 5-2: PAK Dosierung direkt auf den Filter**

Die auf und im Sandfilter zurückgehaltene PAK adsorbiert die Spurenstoffe aus dem „vorbeifließenden“ Abwasser. Die hohe Beladung des Filters mit Feststoffen resultiert in einer zunehmenden Erhöhung des Filtrationswiderstandes, so dass der Filter in häufigeren Intervallen von 1 bis 0,5 mal pro Tag rückgespült werden muss. Das Rückspülwasser führt die beladene PAK von der Filtereinrichtung weg. Da eine Sedimentationsstufe zur Abtrennung und Rückführung der PAK in dem Flockungsraum fehlt, ist das Schlammalter der PAK abhängig vom zeitlichen Rückspülintervall der Filtrationseinrichtung. Die mittlere Verweilzeit der PAK im Filter entspricht folglich der Hälfte des zeitlichen Rückspülintervalls und übersteigt daher kaum 24 h und ist damit deutlich geringer als in anderen verfahrenstechnischen Varianten.

Mit der Einleitung des Spülwassers in die Biologie wird eine bessere Ausnutzung der PAK erzielt, da das Schlammalter der PAK im Gesamtsystem um das des Biologieschlammes erhöht wird. Denkbar ist auch eine teilweise und optionale Rückführung des Spülwassers zurück auf den Filter zur Erhöhung des PAK-Schlammalters, wenn die Hintergrundbelastung aus den abfiltrierbaren Stoffen gering ist.

Das erfordert jedoch eine sehr gute Rückhaltung der Feststoffpartikel in der vorhandenen Nachklärung, die zurzeit nicht gegeben ist. Hierfür muss die Nachklärung durch eine bessere Ausnutzung des Sedimentationsraumes optimiert werden. Durch bereits durchgeführte Strömungssimulation [8] an den Nachklärbecken konnte gezeigt werden, wie eine Verbesserung der Abscheidung durch Optimierung der Einläufe in die doppelstöckige Nachklärung erreicht werden kann. Eine Nachrüstung der Einlaufbleche ist nicht nur für die Spurenstoffelimination empfehlenswert. In [8] wird eine Optimierung der Einströmung in das obere und das untere Nachklärbecken durch den Einbau von Leitblechen vorgeschlagen mit denen ein Flockungsraum erzeugt wird, der das Absetzverhalten steigert. Die Investitionskosten einer entsprechenden Edelstahlkonstruktion wurden zu rd. 200.000 € abgeschätzt. Weitergehend wäre der Einbau von Plattenabscheidern im Zulauf zur Wirkungsgradsteigerung zu untersuchen.

### **Beispielanlage Klärwerk Kloten/Opfikon, Schweiz für diese Verfahrenswahl**

Die Verfahrensvariante mit Rückführung des PAK-beladenden Spülwassers in die Biologie wurde in den Jahren 2008 bis 2010 durch die EAWAG erprobt und schrittweise optimiert. Im Jahr 2010 konnte in einem zweiten großtechnischen Versuch auf der Kläranlage Kloten/Opfikon der sichere Rückhalt der PAK verbunden mit einer hohen Spurenstoffelimination gezeigt werden [6]. Somit stellt diese verfahrenstechnische Option eine mögliche und kostengünstige Alternative dar.

Die großtechnischen Versuche wurden an einer Raumfilteranlage durchgeführt, die ähnlich aufgebaut ist wie der Filter der Kläranlage Neuss Ost. Der Filter der Kläranlage Kloten /Opfikon ist zweistraßig mit insgesamt 8 Zellen (B/L = 3,0/7,5 m) à 22,5 m<sup>2</sup> ausgeführt. Der Filteraufbau besteht aus 40 cm Quarzsand (Körnung 0,7 -1,25 mm) und 120 cm Blähschiefer (Körnung 2 – 3 mm). Durch ein Filtermanagementprogramm werden die einzelnen Filter abwechselnd in Betrieb genommen und mit Filtergeschwindigkeit von im Mittel 7,5 m/h betrieben. Während der Versuchsphase wurde eine Filterstraße (50%) gefahren, die auch im Schlammweg getrennt war. [6]

Die Zulaufbelastung aus dem Ablauf der Nachklärung Kloten/Opfikon ist mit 1 – 3 mg AFS/l ohne Zugabe von PAK sehr gering, insbesondere im Vergleich zur KA Neuss Ost. Der Arbeitsbereich für die Beladung eines Raumfilters mit bzw. ohne Fällung von 2,5 bis 4 kg AFS/m<sup>3</sup> wird ohne PAK-Dosierung nur zu einem Bruchteil ausgeschöpft und auch mit den unten dargestellten Dosierung werden nur ca. 2,0 kg AFS/( m<sup>3</sup>\*d) erreicht. [6]

Während der Versuchsphasen in Kloten/Opfikon wurde eine Filterstraße mit einer PAK-Dosiertrate von 15 mg PAK/l und einer Flockungsmitteldosage von 0,1 g Fe/g PAK gefahren. Es konnten Eliminationsraten von im Mittel 71 % erreicht werden. Die eingesetzten Kohlen wurden variiert. Dabei zeigte sich, dass ein Produkt aus einem Gemisch von fossiler und organischer Kohle gegenüber einem Produkt, das auf Holzkohle basiert, geringe und stoffbezogen bessere Eliminationsleistungen aufwies. Die Aussage kann aber nicht allgemeingültig weitergeführt werden, da die Versuchsdauer und -bedingungen nicht normiert waren.

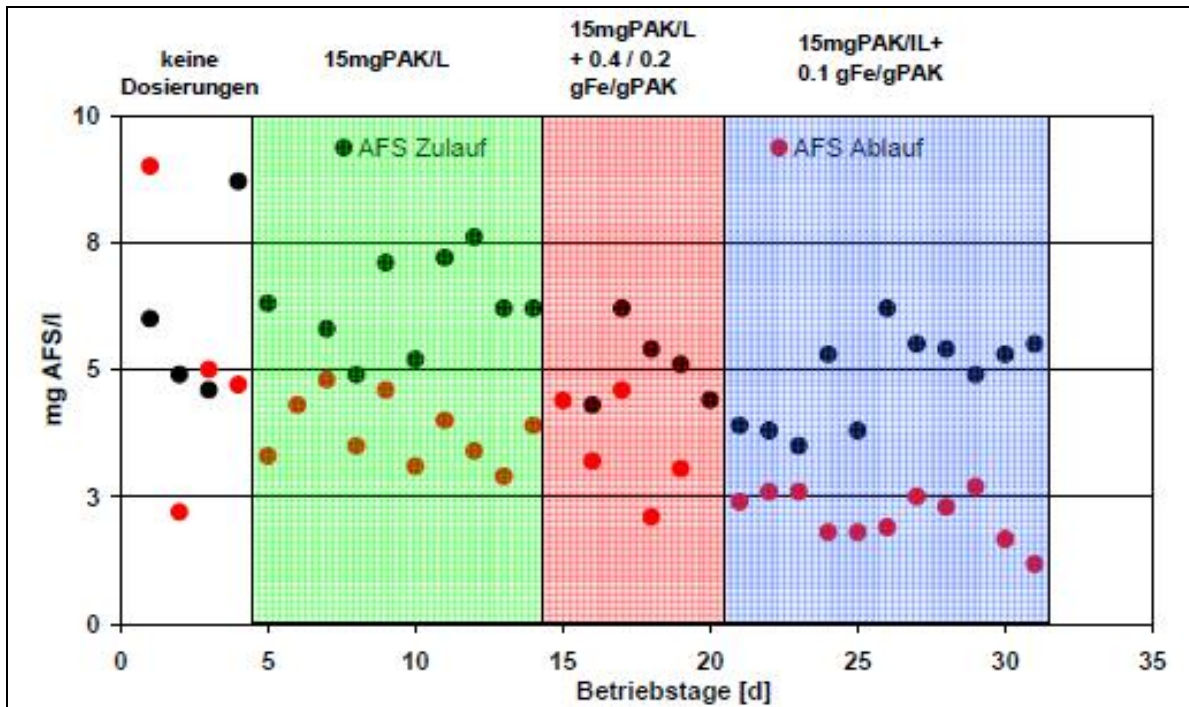
Die Rückführung der Kohle in die Biologie hatte einen positiven Einfluss auf den abgebauten DOC. Weiterhin konnte kein negativer Einfluss auf den Wirkungsgrad und den Abtrieb der Nachklärung festgestellt werden. [6]

Die Zugabe der PAK und des FM erfolgt in den Flockungsraum der Filteranlage. Der Flockungsraum war mit einer grobblasigen Belüftung ausgerüstet, die im Zuge der Versuche durch eine feinblasige Belüftung ausgetauscht wurde. Für den Flockungsreaktor wird eine hydraulische Verweilzeit von 11 min. angegeben und in der gesamten Flockungsfiltration von 27 min. [6]

Die erreichten Feststoffkonzentrationen wurden nicht an der großtechnischen sondern an einer maßstabgetreuen Pilotfiltration evaluiert. Anhand der Versuchsergebnisse war keine Verschlechterung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf zu erkennen (siehe Abbildung 5-3) [6]. Zukünftig ist eine Versuchsreihe



mit über einen längeren Zeitraum von einem Jahr mit stark variierenden Schwebstofffrachten gewünscht.



**Abbildung 5-3: AFS-Verlauf im Zu- und Ablauf der Pilotfiltration (zur KA Klotten) mit und Eisen3+ zu PAK Verhältnissen [6]**

**Übertragung der Versuchsergebnisse der Kläranlage Klotten/Opfikon auf die Kläranlage Neuss Ost (Rahmendaten):**

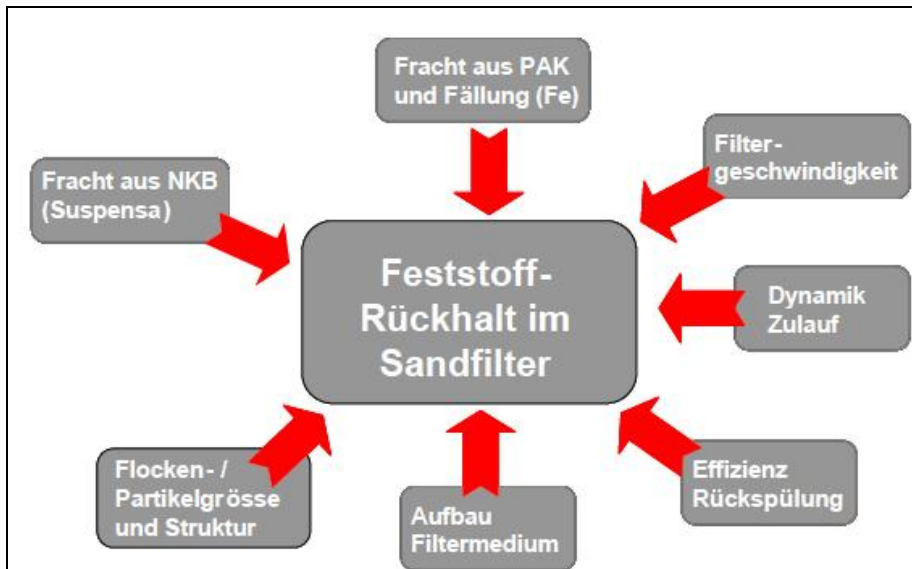
Der vorhandene Raumfilter der Kläranlage Neuss Ost ist auf einen maximalen Feststoffzulauf von 50 mg AFS/l bezogen auf den Regenwetterzulauf dimensioniert. Im normalen Betrieb wird ein Schwebstoffabtrieb aus der Nachklärung von 20 mg AFS/l entsprechend der Dimensionierung nach DWA Arbeitsblatt A 131 in der Regel nicht überschritten. Der Ablauf der Filtration ist auf 10 mg AFS/l ausgelegt. In der Regel wird ein Wert von 5 mg AFS/l erreicht. Die Zulaufbelastung des Filters ist nach Tabelle 4-4 [39] auf 1,5 mg  $P_{ges}/l$  (max 2,5 mg  $P_{ges}/l$ ) und der Ablauf auf 0,5 mg  $P_{ges}/l$  ausgelegt. Mit der Suspensaentnahme und der Nachfällung sind somit 1 mg P/l dem Abwasserstrom zu entnehmen.

| BSB <sub>5</sub> -<br>Schlammbelastung der<br>vorgelagerten<br>biologischen Stufe, B <sub>TS</sub> | $\frac{g\ BSB_5}{g\ AFS}$ | $\frac{g\ CSB}{g\ AFS}$ | $\frac{g\ P}{g\ AFS}$                   |            | $\frac{g\ N}{g\ AFS}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|------------|-----------------------|
|                                                                                                    |                           |                         | <i>ohne</i>                             | <i>mit</i> |                       |
|                                                                                                    |                           |                         | Simultanfällung/<br>biol. P-Elimination |            |                       |
| <0,15 kg/(kg · d)                                                                                  | 0,5                       | 1,0                     | 0,01                                    | 0,03       | < 0,1                 |
| 0,15 - 0,3 kg/(kg · d)                                                                             | 1,0                       | 1,5                     | 0,01                                    | 0,03       | < 0,1                 |



**Abbildung 5-4: Mittlere Werte des BSB5, CSB, N und P in abfiltrierbaren Stoffen aus [40]**

Hinsichtlich der PAK-Dosierung ist zu prüfen, ob der Filter ausreichend Leistungsreserven besitzt, um die zusätzliche Feststofffracht aus der PAK Dosierung zurückzuhalten. Durch die Dosierung von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffelimination und Flockungsmittel wird die Feststofffracht auf den Filter erhöht. Weitere Einflussgrößen und -faktoren auf das Rückhaltevermögen und die Filtrationsleistung sind der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.


**Abbildung 5-5: Einflussgrößen und -faktoren auf die Filtrationsleistung einer Sandfiltration**

### Dimensionierung:

Nach den Erfahrungen aus den Versuchen in der Schweiz [6] wurden folgende Ergebnisse veröffentlicht:

- die Flockenbildung mit Aluminiumsalz und deren Absetzgeschwindigkeit war im Vergleich zu Eisensalzen besser
- die Versuche wurden mit Dosieraten von 5, 10 und 15 mg PAK/l gefahren. Großtechnisch wurden Dosieraten von 15 und später 20 mg PAK/l gewählt
- hohe Eliminationsleistungen konnten mit 15 mg PAK/l erreicht werden
- das Flockungsmittel zu PAK Verhältnis von 0,4 (Fe(III)/PAK) bzw. 0,2 (Al/PAK) für Aluminium ist günstig; großtechnisch konnte das Verhältnis Fe(III)/PAK auf 0,1 reduziert werden
- bei Einsatz des Flockungsmittels Eisen(III)-chlorid spielt die Reihenfolge der Dosierung keine Rolle; bei Nutzung von Aluminium(III) zeigte sich eine bessere Flockung, wenn das Fällmittel als erstes dosiert wurde
- mit beiden Fällmitteln ergeben sich voluminöse und gut ausgebildete Flocken
- eine Schnelleinrührphase des Fällmittels scheint vorteilhaft, da dann das Fällmittel ausreagieren kann
- großtechnisch wurde als erstes Fe(III)Cl<sub>3</sub> eingerührt und nachfolgend PAK in den grobblasig gemischten Flockungsraum dosiert
- die Erhöhung der abfiltrierbaren Stoffe war nach der Dosierung von PAK von 2 mg AFS/l auf 5 mg AFS/l moderat

**Im Folgenden wird die Beladung des Filters mit Feststoffen berechnet, um die Auslastung bei Regenwetter- und Trockenwetterzufluss sowie das mögliche Dosierpotenzial von Pulveraktivkohle zu verdeutlichen.**

**Bemessung der Feststoffbeladung bei Regenwetterzufluss ohne PAK-Dosierung und maximaler Feststoffmenge**

Ermittlung der zurückzuhaltenden Feststoffe bei Regenwetterzufluss (maximaler Wassermenge Q) und maximale Feststoffmenge (AFS)

Feststoffe aus dem Ablauf der Nachklärung ( max. 50 g AFS / m<sup>3</sup> s. Tabelle 4-4):

$$\blacksquare 50 \text{ gTS / m}^3 * 5.342 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} = 6.410 \text{ kgTS/d}$$

Feststoffe aus der Fällmittelzugabe (s. Tabelle 4-4 und [41]):

$$\blacksquare 5.342 \text{ m}^3/\text{d} * 24 \text{ h/d} * 1 \text{ g P/ m}^3 * 4 \text{ g Fe/ g P} * 2,5 \text{ g TS/g Fe} = \frac{1.282 \text{ kgTS/d}}{\text{insgesamt: } 7.692 \text{ kgTS/d}}$$

abzüglich der Feststoffe im Ablauf des Filters:

$$\blacksquare 128.208 \text{ m}^3/\text{d} * 10 \text{ g/m}^3 = 1.282 \text{ kgTS/d}$$

$$\text{Feststoffe im Filter zurückgehalten} = 6.410 \text{ kgTS/d}$$

$$\rightarrow \text{Flächenbelastung: } 6.410 \text{ kgTS/d} / 440,8 \text{ m}^2 = 14,5 \text{ kgTS/m}^2\text{d}$$

$$\rightarrow \text{Raumbelastung (Filterbett): } 6.410 \text{ kgTS/d} / 440,8 \text{ m}^2 * (0,4 + 1,5)\text{m} = 7,65 \text{ kgTS/m}^3\text{d}$$

**Ergebnis:**

- **Bei maximaler Wassermenge und maximaler Feststoffmenge im Zulauf zum Filter wird die zulässige Raumbelastung von 2,5 kg TS/m<sup>3</sup> [40] des Filterbettes deutlich überschritten.**
- **Bei Regenwetterzufluss ist somit eine zusätzliche Beladung durch Pulveraktivkohle nicht möglich, da der Filter dann noch weiter durch Feststoffe überlastet würde.**
- **In der Regel wird die maximale Feststoffmenge auch bei Regenwetter im Zulauf nicht erreicht.**

Im Folgenden wird für den Trockenwetterzufluss untersucht, ob eine zusätzliche Feststoffbeladung durch Pulveraktivkohle möglich ist.

**Ermittlung der zurückzuhaltenden Feststoffe bei Trockenwetterzufluss (24 h/d) und AFS**

Feststoffe aus dem Ablauf der Nachklärung ( 20 g AFS / m<sup>3</sup> nach DWA A 131):

$$\blacksquare 20 \text{ gTS/m}^3 * 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} = 1.175 \text{ kgTS/d}$$

Feststoffe aus der Fällmittelzugabe:

$$\blacksquare 2.448 \text{ m}^3/\text{d} * 24 \text{ h/d} * 1 \text{ g P/m}^3 * 4 \text{ g Fe/g P} * 2,5 \text{ g TS/g Fe} = \underline{588 \text{ kgTS/d}}$$

$$\text{insgesamt:} \underline{\underline{1.763 \text{ kgTS/d}}}$$

abzüglich der Feststoffe im Ablauf des Filters (normal):

$$\blacksquare 58.752 \text{ m}^3/\text{d} * 5 \text{ g/m}^3 = \underline{294 \text{ kgTS/d}}$$

$$\text{Feststoffe im Filter zurückgehalten} = 1.469 \text{ kgTS/d}$$

$$\rightarrow \text{Flächenbelastung: } 1.469 \text{ kgTS/d} / 440,8 \text{ m}^2 = 3,3 \text{ kgTS/m}^2\text{d}$$

$$\rightarrow \text{Raumbelastung (Filterbett): } 1.469 \text{ kgTS/d} / 440,8 \text{ m}^2 * (0,4 + 1,5)\text{m} = 1,75 \text{ kgTS/m}^3\text{d}$$

**Ergebnis:**

- Bei einer Trockenwetterbelastung über 24 Stunden am Tag errechnet sich eine Raumbelastung im Filterbett von 1,75 kg TS/d. Entsprechend den Bemessungsempfehlung von 2,5 kg TS/d liegt hier noch ein deutliches Beladungspotential vor für die Dosierung von Pulveraktivkohle vor, zumal die Tageswassermenge bei Trockenwetter ca. 70% des hochgerechneten 24-Stundenwertes und der Effluent der Nachklärung mit ca. 10 mg AFS/l in der Regel deutlich besser als die angesetzten 20 mg TS/l ist.
- Die betriebliche Raumbelastung kann aus diesem Grunde zu etwa bei 1,0 kg TS/(m<sup>3</sup> \* d) angenommen werden.

**Durch die PAK-Dosierung bei Trockenwetter (24 h/d) erhöht sich die Feststoffbeladung des Filters:**

PAK-Dosierung im Zulauf des Filters (Dosierrate 15 mg PAK/l)

$$\blacksquare 15 \text{ g PAK/m}^3 * 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} = 881 \text{ kg PAK/d}$$

Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid (gewählt 0,2 g Fe/g PAK)

$$\blacksquare 881 \text{ kg PAK/d} * 0,2 \text{ kg Fe/kg PAK} = 176 \text{ kg Fe/d}$$

$$\blacksquare 176 \text{ kg Fe/d} * 2,5 \text{ kg TS/kg Fe} = \underline{440 \text{ kg TS/d}}$$

$$\text{Erhöhung der Feststoffbeladung insgesamt:} \underline{\underline{1.321 \text{ kgTS/d}}}$$

$$\rightarrow \text{Erhöhung der Raumbelastung durch PAK-Dosierung um zusätzlich : } 1.321 \text{ kgTS/d} / 440,8 \text{ m}^2 * (0,4 + 1,5)\text{m} = 1,58 \text{ kgTS/m}^3\text{d}$$

**Ergebnis:**

- Durch die PAK-Dosierung wird in Summe (1,75 + 1,58 = 3,55 kgTS/m<sup>3</sup>\*d) die empfohlene Raumbelastung von 2,5 kgTS/m<sup>3</sup>\*d überschritten. Ein dauerhafter Betrieb unter diesen Be-

messungsbedingungen kann nicht empfohlen werden. Die derzeitigen Betriebswerte lassen aber die Annahme zu, dass der Filter durch die direkte PAK-Dosierung auf den Filter nicht überlastet wird. Bei einer Tageswassermenge, die 70% der hochgerechneten 24-Stunden Trockenwettermenge entspricht, ergibt sich eine Erhöhung der Raumbelastung um  $1,58 * 70 \% = 1,1 \text{ kg TS/m}^3\text{d}$ , die zusammen mit der vorhandenen betrieblichen Raumbelastung von  $1,0 \text{ kgTS/m}^3\text{d}$  (s.o.) aus der Nachklärung in Summe ( $1,0 + 1,1 = 2,1 \text{ kg TS/m}^3$ ) der empfohlenen Raumbelastung entspricht.

### Pulveraktivkohlelager- und Dosieranlage

Die Aktivkohle wird in einem Silo gelagert, das auf eine Mindestvorhaltung von 20 Tagen konzipiert wird. Das erfordert eine Vorhaltevolumen von

- $20 \text{ d} * 881 \text{ kgPAK/d} / 500 \text{ kg/m}^3 = 35 \text{ m}^3$

Die Befüllung des Silos erfolgt pneumatisch über ein Silofahrzeug mit einer Kapazität von  $40 \text{ m}^3$ . Bei einer Schüttdichte von ca.  $500 \text{ kg/m}^3$ , können mit einem Silofahrzeug  $20.000 \text{ kg}$  angeliefert werden. Durch die pneumatische Förderung wird im Silo zunächst eine geringere Lagerungsdichte von ca.  $420 \text{ kg/m}^3$  erreicht, die sich nach längerer Standzeit auf ca.  $460$  bis  $480 \text{ kg/m}^3$  verdichtet. Die Entladung eines Silofahrzeuges erfordert eine freies Silovolumen von

- $20.000 \text{ kg} / 420 \text{ kg/m}^3 = \underline{48 \text{ m}^3}$
- Erforderliche Silokapazität =  $83 \text{ m}^3$
- Gewählte Silokapazität  $90 \text{ m}^3$

Die Pulveraktivkohle wird volumenstromabhängig zudosiert. Pulveraktivkohle lässt sich nur schwer befeuchten und staubt. Um eine homogene Vermischung der Kohle ohne Staubentwicklung zu gewährleisten, wird die Kohle über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen speziellen Ansetzbehälter gefördert. Die Kohle wird in eine Vorlage mit einem getauchten Rohrdispersierer hinein staubfrei dispergiert. Die Kohle-Suspension wird dann mit einer Wasserstrahlpumpe verdünnt und zur Dosierstelle gefördert. Das Treibwasser wird aus dem Spülwasserbehälter der Filtration entnommen.

Als möglicher Standort für das Silo und die Dosiereinrichtung ist eine Fläche gegenüber der Filteranlage zwischen Faulbehälter und Eindicker möglich. Die Leitungen zur und von der Filteranlage werden oberirdisch über eine vorhandene Rohrbrücke trassiert. Die Dosierung erfolgt nach der Fällmitteleinmischung in die Zulaufrinne zum Filter.

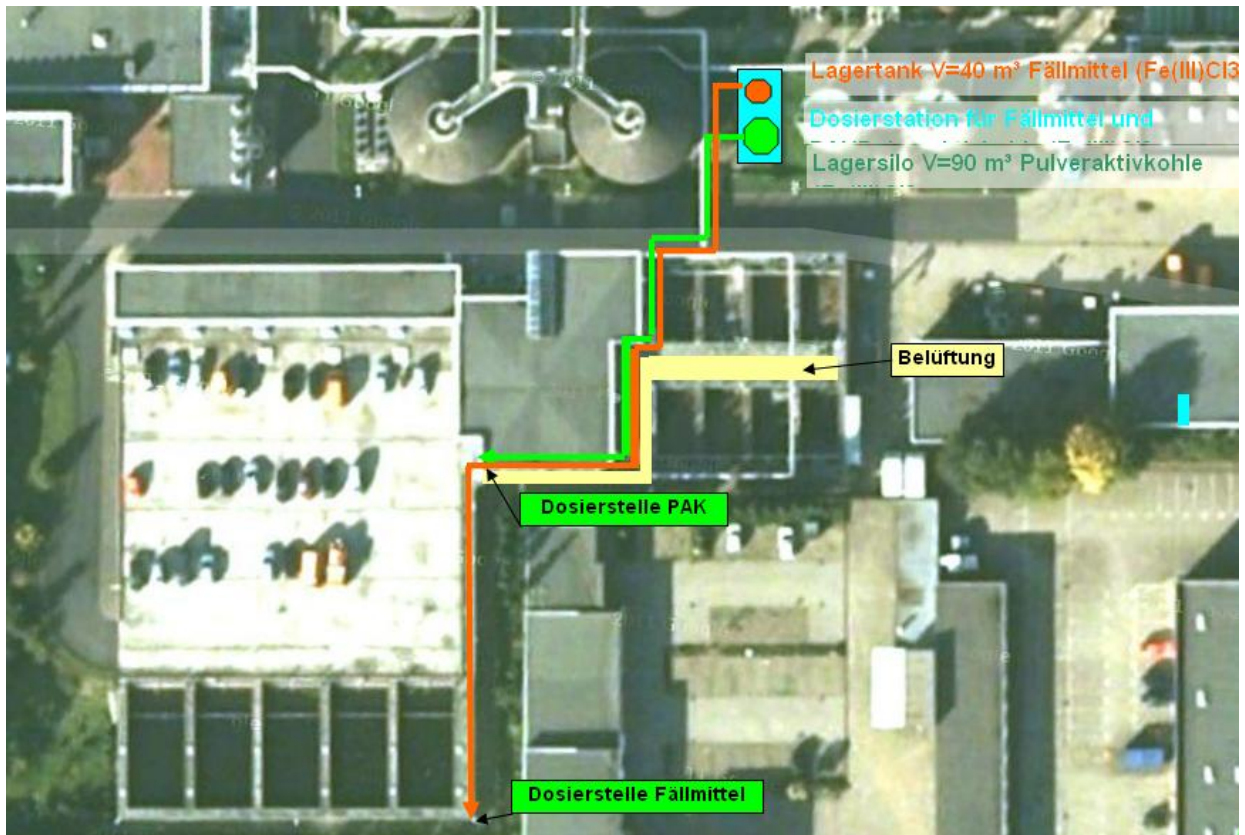
Die Rinne wird bis zum vorhandenen Flockungsraum (Verteilergerinne auf die Filterzellen) mit einer feinblasigen Belüftung ausgerüstet. Das Volumen von Rinne und Flockungsraum beträgt ca.  $200 \text{ m}^3$ . Die hydraulische Aufenthaltszeit und Reaktionszeit im belüfteten Bereich beträgt bei Trockenwetter somit:

- $200 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3\text{/h} * 60\text{min/h} = 5 \text{ min.}$

Im  $2,60 \text{ m}$  hohen Überstau des Filters ist ein unbelüftetes Reaktionsvolumen von  $1000 \text{ m}^3$  vorhanden

- $1.000 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3\text{/h} * 60\text{min/h} = \underline{25 \text{ min.}}$
- Hydraulische Aufenthaltszeit insgesamt =  $30 \text{ min.}$

Dies entspricht in etwa der Aufenthaltszeit des Filters in Kloten-Opfikon.



**Abbildung 5-6: Übersichtsplan PAK-Dosierung direkt auf den Filter**

**Fällmitteldosierung**

Für die Dosierung der Fällmittel ist ebenfalls eine Lager- und Dosiereinrichtung erforderlich. Zur Nachfällung ist auf der Kläranlage Neuss Ost in der Filteranlage eine Lager- und Dosieranlage bereits vorhanden die prinzipiell auch für die PAK-Adsorption genutzt werden kann. Die Lagerkapazitäten sind allerdings bereits für die Nachfällung begrenzt. Im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass eine zusätzliche Ausrüstung installiert wird, um ggf. auch das Fällmittel anzupassen.

Das Fällmittel  $Fe(III)Cl_3$  wird mit einem Tankwagen angeliefert und in einem Tank gelagert, der auf eine Vorhaltung von 10 Tagen dimensioniert wird. Eisen(III)-chlorid hat eine Wirksubstanz von ca. 0,138 kg Fe/kg WS und eine Dichte von 1.410 kg/m<sup>3</sup>. Das erforderliche Vorhaltevolumen beträgt

- $20\text{ d} * 176\text{kgFe/d} / 0,138\text{ kgFe/kgWS} / 1.410\text{ kg/m}^3$  = 18 m<sup>3</sup>
- Die Anlieferung erfolgt mit einem 20 m<sup>3</sup> Fahrzeug = 20 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Lagerkapazität = 38 m<sup>3</sup>
- Gewählte Tankgröße = 40 m<sup>3</sup>

Das Fällmittel wird volumenproportional in den Ablauf der Nachklärung zugegeben. Um die Fällmitteleinmischung in kürzester Zeit zur Bildung von Mikroflocken zu gewährleisten wird das Fällmittel in einer Zone/Reaktor mit einer hohen Energiedichte eingetragen. Die Aufenthaltszeit wird mit 1 Minute

angenommen und ein Energieeintrag von ca.  $100 \text{ W/m}^3$  gewählt, der durch ein Rührwerk eingetragen wird. Das Rührwerk wird in die vorhandene Ablaufrinne der Nachklärung im Zulauf zum Filter eingebaut.

**Kostenannahme:**

Die Investitionskosten (netto) für die Anlagentechnik des PAK-Silos, der Dosiereinrichtung, der Verrohrung sowie die Treibwasserpumpe und -leitung werden mit 270.000 € angesetzt. Für die Fundamentierung und Bautechnik eines Dosierraumes werden zusätzlich 60.000 € abgeschätzt.

Die Investitionskosten für die Ausrüstung der Rinnenbelüftung wird mit 30.000 € angenommen. Die Investitionskosten für das Rührwerk, die Fällmittellager- und -dosierstation sowie die Dosierleitungen werden mit 90.000 € angesetzt. Die Fundamentierung und der Dosierraum wird mit 40.000 € abgeschätzt. Die Kosten für die Stromversorgung und die Einbeziehung der Steuerungen der Dosierstationen sowie der Gesamtanlage in die vorhandene Prozessleittechnik werden mit 30.000 € abgeschätzt.

In der Tabelle 5-2 sind die Einzelkosten und die spezifischen Betriebsmittel- und Entsorgungskosten für diese Variante zusammengetragen.

Förderanteile sowie Einsparungen durch Verrechnung mit der Abwasserabgabe infolge eines reduzierten CSB-Ablaufwertes sind in dieser Aufstellung nicht berücksichtigt. Die Personalkosten sind in Anlehnung an die Ansätze nach [9] mit 20 h pro Monat und Dosierstation aufgenommen.

**Tabelle 5-2: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten bei PAK-Dosierung direkt auf den Filter**

| Investitionskosten<br>Variante 1:       |                  | 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 €        |
| PAK Lagersilo und -Dosiereinrichtung    | 260.000 €        | 30                   | MT              | 15                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15                            | 21.779 €        |
| Treibwasserleitung                      | 10.000 €         | 30                   | MT              | 15                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15                            | 838 €           |
| Rinnenbelüftung                         | 30.000 €         | 30                   | MT              | 15                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15                            | 2.513 €         |
| Fundament und Bautechnik                | 60.000 €         | 30                   | BT              | 30                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 0                             | 3.061 €         |
| Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung | 90.000 €         | 30                   | MT              | 15                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15                            | 7.539 €         |
| Fundament und Bautechnik                | 40.000 €         | 30                   | BT              | 30                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 0                             | 2.041 €         |
| Elektro- und MSR-Technik                | 30.000 €         | 30                   | ET              | 15                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15                            | 2.513 €         |
|                                         |                  |                      |                 | Ansätze nach LAWA Leitlinien<br>Kostenvergleichsrechnungen |             |                | Kapitalwiedergewinnungsfaktor |                 |
| <b>Summe</b>                            | <b>720.000 €</b> |                      |                 |                                                            |             |                |                               | <b>50.488 €</b> |

| Betriebsmittelkosten                          | Kennwerte              | Betriebsmittelbedarf bei                 |                      |                |         | spezifische Kosten | Kosten pro Tag | Jahreskosten     |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------|----------------|---------|--------------------|----------------|------------------|
|                                               |                        | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor |         |                    |                |                  |
| PAK                                           | 15 mg/m³               | 36,7 kg/h                                | 881,3 kg/d           | 50%            | 440,6   | 1,5 €/kg           | 661 €          | 241.250 €        |
| Lösewasser                                    | 0,05 m³/kg PAK         | 1,8 m³/h                                 | 44,1 m³/d            | 50%            | 22,0    | 1 €/m³             | 22 €           | 8.042 €          |
| Treibwasser (Filterablauf)                    | 10 m³/h                | 10,0 m³/h                                | 24,0 m³/d            | 100%           | 24,0    | 0,1 €/m³           | 2 €            | 876 €            |
| Energie Dosierung und Förderung               | 2 kWh/h                | 2,0 kW                                   | 48,0 kW/d            | 100%           | 48,0    | 0,15 €/kWh         | 7 €            | 2.628 €          |
| Belüftung der Rinnen                          | 1 kWh/h                | 1,0 kW                                   | 24,0 kW/d            | 100%           | 24,0    | 0,15 €/kWh         | 4 €            | 1.314 €          |
| Fällmittel (Wirksubstanz)                     | 0,2 kgFe/kgPAK         | 7,3 kg/h                                 | 176,3 kg/d           | 50%            | 88,1    |                    |                |                  |
| (Fällmittelmenge)                             | 0,138 kgFe/kgFM        |                                          | kg/d                 |                | 638,6   | 0,15 €/kg          | 96 €           | 34.964 €         |
| Einmischung                                   | 0,5 kWh/h              | 0,5 kW                                   | 12,0 kW/d            | 100%           | 12,0    | 0,15 €/kWh         | 2 €            | 657 €            |
| Schlamm Entsorgung                            | 27 %TS                 | 0,4 m³/h                                 | 9,5 m³/d             |                | 4,7     | 80 €/m³            | 379 €          | 138.198 €        |
| Pulveraktivkohle                              | 90 % von PAK           | 33,0 kg/h                                | 793,2 kg/d           | 50%            | 396,6   |                    |                |                  |
| Fällschlamm                                   | 10 kgTS/kgFe           | 73,4 kg/h                                | 1.762,6 kg/d         | 50%            | 881,3   |                    |                |                  |
| Summe                                         |                        | 106,5 kg/h                               | 2.555,7 kg/d         |                | 1.277,9 |                    |                |                  |
| Energiekosten für zusätzliche Filterspülungen | 25 kWh/Zelle * Spülung | 8,0 Zellen                               | 200,0 kW/d           | 50%            | 100,0   | 0,15 €/kWh         | 15 €           | 5.475 €          |
| Personalkosten                                | 20 h/Monat und Anlage  | 2 Dosieranlagen                          |                      |                |         | 40 €/h             | 53 €           | 19.200 €         |
| <b>Summe</b>                                  |                        |                                          |                      |                |         |                    | 1.241 €        | <b>452.604 €</b> |

|                                 |                 |                |                  |
|---------------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| <b>Jahreskosten Variante 1:</b> | 10.722.240 m³/a | 0,047 € pro m³ | <b>503.091 €</b> |
|---------------------------------|-----------------|----------------|------------------|

### **Fazit**

In Anlehnung an die großtechnischen Versuchsergebnisse aus der Schweiz, kann für die Kläranlage Neuss Ost festgestellt werden, dass eine Spurenstoffelimination mit direkter Dosierung von Pulveraktivkohle bis maximal zum Trockenwetterzufluss prinzipiell möglich ist; steigt die Zuflussmenge über den Trockenwetterwert, wird die Mikroschadstoffelimination ausgesetzt.

Der besondere Vorteil dieser Variante ist, dass mit geringem bautechnischem Aufwand eine Spurenstoffelimination umgesetzt und der vorhandene Filter ohne Umbauten genutzt werden kann. Nachteilig ist, dass die baulichen Rahmenbedingungen nur eine begrenzte Aufenthaltszeit (begrenzte Kohlealter) der PAK im Filter zulassen und damit eine geringe Ausnutzung der Pulveraktivkohle bezogen auf die Spurenstoffelimination einhergeht. Durch Überdosierung der PAK, kann dieser Nachteil kompensiert werden. Dies führt aber gleichzeitig zu einer höheren Feststoffbeladung des Filters und natürlich zu höheren Betriebsmittelkosten.

Zum wirtschaftlichen Betrieb einer PAK Dosierung mit dem Ziel der Spurenstoffelimination ist eine Optimierung der Nachklärbecken erforderlich, um die Feststoffbeladung des Filters mit abfiltrierbaren Stoffen zu mindern und die Beladung der PAK mit AFS zu reduzieren. Hydraulisch limitiert die Filterbeladung auch die behandelbare Wassermenge bei Trockenwetterzufluss. Übersteigt die Zulaufmenge die Trockenwettermenge wird keine Pulveraktivkohle mehr dosiert. Bei Regenwetterzufluss sinken gleichzeitig die Konzentrationen der Mikroschadstoffkonzentrationen im Abwasser deutlich.

Der CSB-Ablaufwert der Kläranlage Neuss Ost wird durch die unvermeidliche parallele Adsorption reduziert; eine Verrechnung mit der Abwasserabgabe ist bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht erfolgt, da die Größenordnung erst auf Basis von Versuchen oder Betrieb ermittelt werden kann.

Der zusätzliche betriebliche Aufwand für die vorgestellte Variante ist überschaubar und besteht im Wesentlichen in dem Betrieb zweier zusätzlicher Dosieranlagen für PAK und Fällmittel.

Durch die Rückführung der Aktivkohle über das Filterspülwasser in den Zulauf der Kläranlage Neuss Ost wird ein höherer Wirkungsgrad der ersten biologischen Stufe erreicht, der positiv ist für die Gesamtreinigungsleistung ist. Die Geruchsproblematik im Zulaufbereich wird sich graduell durch die Adsorption der rückgeführten A-Kohle verbessern.

Die Investitionskosten für die Variante 1: „Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter“ sind gering. Das zeigt das Verhältnis von 10% Kapitalkosten zu 90% Betriebsmittelkosten der gesamten Jahreskosten. Die Betriebsmittelkosten werden überwiegend durch Verbrauchskosten der Pulveraktivkohle und der damit verbundenen Fällmittel und Entsorgungskosten geprägt. Zur Absicherung dieser Kosten sind Versuche auf der Kläranlage Neuss Ost anzuraten.

Die Kosten für die Spurenstoffbehandlung sind günstig und betragen aufgrund des geringen Anteils der Investitionskosten 4,7 Cent pro m<sup>3</sup> (netto) behandeltes Abwasser.



### 5.3 Variante 2: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum – Filtration

Wie bei der vorherigen Variante 1: Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter gezeigt, reicht die Reaktionszeit für die PAK-Dosierung aufgrund der vorhandenen Bauwerksgeometrie nach dem derzeitigen Wissenstand nicht aus, um eine hohe Ausnutzung der Aktivkohle für die Spurenstoffelimination zu sichern.

Mit der Variante 2: „Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum – Filtration“ wird ein höherer Ausnutzungsgrad der Pulveraktivkohle erwartet, als bei direkter Dosierung in die „fließende Welle“ und damit auch ein geringerer PAK Einsatz. Aufgrund der limitierenden Feststoffbeladung des Filters wird auch bei dieser Variante davon ausgegangen, dass die Dosierung und damit die Spurenstoffelimination nur bei Zuflüssen bis maximal zum Trockenwetterzufluss erfolgen.

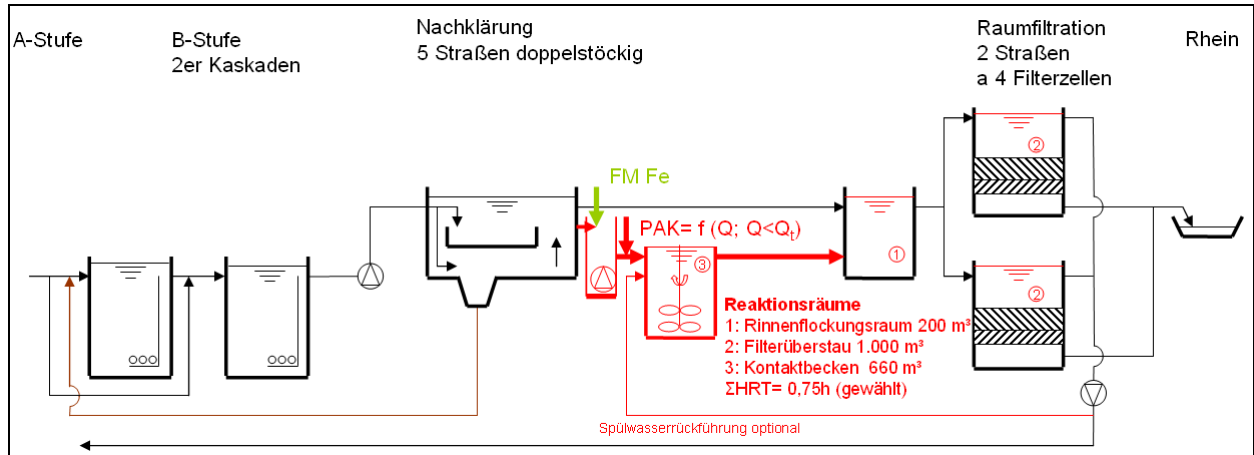
Für eine möglichst weitgehende Eliminierung von organischen Restverschmutzungen ist eine weitestgehende Vorreinigung des zu behandelnden Abwassers aus betrieblichen und ökonomischen Aspekten von Vorteil, da die Aktivkohle auch gut biologisch abbaubare Substanzen adsorbiert [11]. Diese Adsorption führt zu einer Reduktion des CSB-Ablaufwertes und reduziert gleichzeitig die Beladungskapazität für die Spurenstoffelimination. Bezogen auf diese Variante wird deshalb auch hier empfohlen, die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Nachklärung durch die Verbesserung der Zulaufsituation und die Integration eines Flockungsraums zu verbessern.

Die zu dosierende Menge an Pulveraktivkohle wird in Abhängigkeit ihrer Adsorptionszeit und der Kontaktzeit festgelegt. Nach [1] wurde für eine Reduktion der CSB-Konzentration von 50 mg CSB/l auf 20 mg CSB/l eine Dosiermenge von 20 mg PAK/l eingesetzt. Die durchschnittliche CSB-Entnahme lag bei diesen Untersuchungen bei 0,8 – 1,2 mg CSB/mg PAK. Die Elimination von Röntgenkontrastmitteln betrug gleichzeitig ca. 90 %.

Des Weiteren ist die Kontaktzeit des Abwasser-Kohlegemisches für die Beladung bzw. die Entnahmeleistung entscheidend. Nach [1] wurde für die Dimensionierung eines Kontaktreaktors eine Aufenthaltszeit von 30 min. bei maximalem Regenwetterzufluss ermittelt, daraus resultiert eine Aufenthaltszeit von 60 min. bei Trockenwetter. Wie in [12] dargestellt wurde der Reaktionsreaktor auf der Kläranlage Ulm-Steinhäule mit einer Aufenthaltszeit von 0,75 h bei Trockenwetter ausgelegt.

Analog zur KA Ulm Steinhäule wird für die Kläranlage Neuss Ost die Aufenthaltszeit im Reaktionsraum für die Variante 2 unter Berücksichtigung der vorhandenen Reaktionsräume zu einer Gesamtaufenthaltszeit der PAK von 0,75 h bei Trockenwetter gewählt. Durch die verlängerte Kontaktzeit im Reaktionsraum und im Filter wird von einer effektiveren und damit geringeren Dosierung der Pulveraktivkohle ausgegangen.

Es wird angenommen, dass die Dosierrate auf 13 mg PAK/l gegenüber der direkten Dosierung auf den Filter abgesenkt werden kann. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass auch die Flockungsmitteldosierung auf das Verhältnis Fe(III)/PAK auf 0,15 reduziert werden kann. Das Verfahren der Variante 2 ist in das Blockschaltbild der Kläranlage Neuss Ost (Abbildung 5-7) integriert.



**Abbildung 5-7: PAK Dosierung im Bypass vor dem Filter**

### Nachweis der Raumbelastung mit PAK-Dosierung

Durch die PAK-Dosierung bei Trockenwetter (24 h/d) erhöht sich die Feststoffbeladung des Filters:

PAK-Dosierung im Zulauf des Filters (Dosierrate 15 mg PAK/l)

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

Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid (gewählt 0,15 g Fe/g PAK)

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

$$\blacksquare 114 \text{ kg Fe/d} \cdot 2,5 \text{ kg TS / kg Fe} = \frac{286 \text{ kg TS/d}}{\text{Erhöhung der Feststoffbeladung insgesamt: } 1.051 \text{ kg TS/d}}$$

$$\rightarrow \text{Erhöhung der Raumbelastung : } 1.050 \text{ kg TS/d} / (440,8 \text{ m}^2 \cdot (0,4 + 1,5)) \text{ m} = 1,25 \text{ kg TS/m}^3\text{d}$$

### Ergebnis:

- Durch die PAK-Dosierung wird in Summe ( $1,75 + 1,25 = 3,0 \text{ kg TS/m}^3\text{d}$ ) die empfohlene Raumbelastung von  $2,5 \text{ kg TS/(m}^3\text{d)}$  etwas überschritten. Ein dauerhafter Betrieb unter diesen Bemessungsbedingungen mit 24 Stunden pro Tag Trockenwetterzufluss erfolgt ohnehin nur in Ausnahmefällen.
- Die derzeitigen Betriebswerte lassen aber die Annahme zu, dass der Filter durch die direkte PAK-Dosierung nicht überlastet wird. Bei einer Tageswassermenge, die 70% der hochgerechneten 24-Stunden Trockenwettermenge entspricht ergibt sich eine Erhöhung der Raumbelastung um  $1,25 \cdot 70 \% = 0,9 \text{ kg TS/(m}^3\text{d)}$ , die zusammen mit der vorhandenen betrieblichen Raumbelastung (vgl. Variante 2, Kap.5.2) aus der Nachklärung in Summe ( $1,0 + 0,9 = 1,9 \text{ kg TS/m}^3$ ) deutlich die empfohlene Raumbelastung unterschreitet.

Der zusätzliche Reaktionsraum kann direkt neben der Westseite der Nachklärbecken angeordnet werden. Es wird ein quadratisches Kontaktbecken mit einer Kantenlänge von 11,0 m und einer Wassertiefe von 5,5 m gewählt; das bereitgestellte Volumen beträgt  $660 \text{ m}^3$ .

Die Bautechnikkosten für das neue Kontaktbecken werden mit 400.000 € angesetzt. Die maschinentechnische Ausrüstung für Rohrpropellerpumpe, Schieber, Überfallkanten und Rührwerk werden mit 80.000 € angenommen. Die neue 125 m lange Zuleitung DN 1000 vom Kontaktbecken zum Filter wird zu 90.000 € geschätzt. In der Tabelle 5-3 sind die Investitionskosten zusammenfassend dargestellt. Die Investitionskosten summieren sich auf netto 1,25 Mio €.

Die Dosierung von Pulveraktivkohle erfolgt bis zur Trockenwettermenge im Hauptstrom. Der Zulauf erfolgt aus der vorhandenen Ablaufrinne der Nachklärung zu einer Rohrpropellerpumpe, die zum Einen die hydraulischen Verluste durch den längeren Fließweg und zum Anderen auch zur Einmischung des Flockungsmittels genutzt wird. Die zusätzliche Förderhöhe wird mit 0,5 m abgeschätzt. Die Fördermenge wird ferner zur Regelung der Behandlungswassermenge eingesetzt. Die Pulveraktivkohle wird in den Pumpenstrom eingemischt. In das Becken wird zur Durchmischung und zur energieoptimalen Umwälzung ein am Beckenboden montierter Hyperboloid-Rührer eingesetzt. Der Ablauf erfolgt über eine Schwelle in eine neu zu bauende Rohrleitung DN 1000, die außen am Gebäude der doppelstöckigen Nachklärung und deren Ablaufrinne parallel folgend, bis zum Filter trassiert wird und dort in den vorhandenen Flockungsraum (Verteilergerinne auf die Filterzellen) einbindet. Die Verteilerrinne ist zur Vermeidung von Ablagerungen zu belüften. In Abbildung 5-8 ist die Anordnung der Anlagen im Lageplan (Luftbild) schematisch dargestellt.

Überschreitet der Zulauf die Trockenwettermenge wird die PAK-Dosierung eingestellt. Die Zulaufpumpen zum Reaktionsbecken werden abgestellt und die Fließrichtung in der vorhandenen Ablaufrinne der Nachklärung wird in Richtung Filters umgekehrt. Das Reaktionsbecken wird weiterhin umgewälzt, um die Kohle in Schwebelage zu halten.



**Abbildung 5-8: Übersichtslageplan PAK-Dosierung im Bypass vor dem Filter**

### Nachweis der Reaktionszeit für die PAK-Dosierung

Die hydraulischen Aufenthalts- und Reaktionszeiten in den drei Reaktionsbereichen summieren sich bei Trockenwetterzufluss wie folgt:

hydraulische Aufenthaltszeit und Reaktionszeit im gerührten Kontaktbecken beträgt bei Trockenwetter:

- $660 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 60\text{min}/\text{h} = 16 \text{ min.}$

hydraulische Aufenthaltszeit und Reaktionszeit in der belüfteten Verteilerrinne:

- $200 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 60\text{min}/\text{h} = 5 \text{ min.}$

und im 2,60 m hohen Überstau des Filters ist ein unbelüftetes Reaktionsvolumen von 1000 m<sup>3</sup> vorhanden:

- $1.000 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 60\text{min}/\text{h} = \underline{25 \text{ min.}}$

- $\text{Hydraulische Aufenthaltszeit insgesamt} = \underline{46 \text{ min.}}$

Bei dieser Variante werden die Lager- und Dosieranlagen für die Pulveraktivkohle und auch für das Fällmittel ortsnah an den Dosierstellen aufgestellt. Die jeweilige Ausrüstung entspricht vom Aufbau der bereits im Kapitel 5.2 dargestellten Variante 1.

### Pulveraktivkohlelager- und Dosieranlage

Die Pulveraktivkohle wird in einem Silo gelagert, das auch für diese Variante auf eine Mindestvorhaltung von 20 Tagen konzipiert wird. Das erfordert ein Vorhaltevolumen von

- $20 \text{ d} \cdot 764\text{kgPAK}/\text{d} / 500 \text{ kg}/\text{m}^3 = 31 \text{ m}^3$

Die Befüllung des Silos erfolgt pneumatisch über ein Silofahrzeug mit einer Kapazität von 40 m<sup>3</sup>. Bei einer Schüttdichte von ca. 500 kg/m<sup>3</sup>, können mit einem Silofahrzeug 20.000 kg angeliefert werden. Durch die pneumatische Förderung wird im Silo zunächst eine geringere Lagerungsdichte von ca. 420 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Die Entladung eines Silofahrzeuges erfordert ein freies Silovolumen von

- $20.000 \text{ kg} / 420 \text{ kg}/\text{m}^3 = \underline{48 \text{ m}^3}$

- Erforderliche Silokapazität = 80 m<sup>3</sup>

- Gewählte Silokapazität 80 m<sup>3</sup>

Die Pulveraktivkohle wird volumenstromabhängig zu dosiert. Aktivkohle lässt sich nur schwer befeuchten und staubt. Um eine homogene Vermischung der Kohle ohne Staubentwicklung zu gewährleisten wird die Kohle über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen speziellen Ansetzbehälter gefördert. Die Kohle wird in eine Vorlage mit einem getauchten Rohrdispersierer hinein staubfrei dispergiert. Die Kohle-Suspension wird dann mit einer Wasserstrahlpumpe verdünnt und zur Dosierstelle gefördert. Das Treibwasser wird aus dem Spülwasserbehälter der Filtration entnommen.

Als möglicher Standort für das Silo und die Dosiereinrichtung ist eine Fläche am neuen Kontaktbecken neben der Nachklärung möglich. Die kurzen Leitungen zu den Dosierstellen werden oberirdisch verlegt.

Die Investitionskosten für die Anlagentechnik des PAK-Silos und der Dosiereinrichtung sowie der Verrohrung und die Treibwasserpumpe und -leitung werden mit 240.000 € angesetzt. Für die Fundamentie-

rung und Bautechnik eines Dosierraumes werden zusätzlich 60.000 € abgeschätzt. Die Investitionskosten für die Ausrüstung der Rinnenbelüftung in der Verteilerrinne wird mit 20.000 € angenommen

### **Fällmitteldosierung**

Für die Dosierung der Fällmittel ist ebenfalls eine Lager- und Dosiereinrichtung erforderlich. Zur Nachfällung ist auf der Kläranlage Neuss Ost in der Filteranlage eine Lager- und Dosieranlage bereits vorhanden, die von der Lagerkapazität nicht für die Mikroschadstoffelimination ausreicht. Im Rahmen dieser Studie wird von einer zusätzlichen Lager- und Dosieranlage ausgegangen, um ggf. auch das Fällmittel anzupassen.

Das Fällmittel  $\text{Fe(III)Cl}_3$  wird mit einem Tankwagen angeliefert und in einem Tank gelagert, der auf eine Vorhaltung von 20 Tagen dimensioniert wird. Eisen(III)-chlorid hat eine übliche Wirksubstanz von 0,138 kg Fe/kg WS und Dichte von 1.410 kg/m<sup>3</sup>. Das erforderliche Vorhaltevolumen beträgt

- $20 \text{ d} * 114 \text{ kgFe/d} / 0,138 \text{ kgFe/kgWS} / 1.410 \text{ kg/m}^3$  = 12 m<sup>3</sup>
- Die Anlieferung erfolgt mit einem 20 m<sup>3</sup> Fahrzeug = 20 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Lagerkapazität = 32 m<sup>3</sup>
- Gewählte Tankgröße = 35 m<sup>3</sup>

Das Fällmittel wird volumenproportional dem Ablauf der Nachklärung in die Rohrpropellerpumpe zugegeben, um die Fällmitteleinmischung in kürzester Zeit zur Bildung von Mikrofloccen zu gewährleisten

### **Kostenannahme:**

Die Investitionskosten für die Fällmittellager- und -dosierstation sowie die Dosierleitungen werden mit 70.000 € angesetzt. Die Fundamentierung und der Dosierraum wird mit 40.000 € abgeschätzt. Die Kosten für die Stromversorgung und die Einbeziehung der Steuerungen der Dosierstationen sowie der Gesamtanlage in die vorhandene Prozessleittechnik werden mit 40.000 € abgeschätzt. In der nachfolgenden Tabelle 5-3 sind die gesamten Investitionskosten (netto) aufgelistet.

**Tabelle 5-3: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung im Bypass vor dem Filter**

| Investitionskosten<br>Variante 2:       | 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 €           |                 |
| Neues Kontaktbecken                     | 400.000 €            | 30              | BT         | 30          | 3,0%           | 0,051019    | 0            | 20.408 €           |                 |
| Maschinentechnik Pumpe, Rührwerk, etc   | 80.000 €             | 30              | MT         | 15          | 3,0%           | 0,051019    | 15           | 0,641862           | 6.701 €         |
| Rohrleitung Kontaktbecken-Filter        | 90.000 €             | 30              | MT         | 15          | 3,0%           | 0,051019    | 15           | 0,641862           | 7.539 €         |
| 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 €         |
| <b>Summe</b>                            |                      |                 |            |             |                |             |              | <b>1.250.000 €</b> | <b>81.785 €</b> |

| Betriebsmittelkosten                          | Kennwerte              | Betriebsmittelbedarf bei                 |                      |                |       | spezifische Kosten | Kosten pro Tag | Jahreskosten   |                  |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------|----------------|-------|--------------------|----------------|----------------|------------------|
|                                               |                        | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor |       |                    |                |                | 10.722.240 m³/a  |
| 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 Einmisch          | 6 kWh/h                | 6,0 kW                                   | 144,0 kW/d           | 50%            | 72,0  | 0,15 €/kWh         | 11 €           | 3.942 €        |                  |
| Energie Umwälzung                             | 2 kWh/h                | 2,0 kW                                   | 0,0 kW/d             | 100%           | 0,0   | 0,15 €/kWh         | 0 €            | 0 €            |                  |
| Belüftung der Rinnen                          | 1 kWh/h                | 1,0 kW                                   | 24,0 kW/d            | 100%           | 24,0  | 0,15 €/kWh         | 4 €            | 1.314 €        |                  |
| Fällmittel (Wirksubstanz)                     | 0,15 kgFe/kgPAK        | 4,8 kg/h                                 | 114,6 kg/d           | 50%            | 57,3  |                    |                |                |                  |
| (Fällmittelmenge)                             | 0,138 kgFe/kgFM        |                                          | kg/d                 |                | 415,1 | 0,15 €/kg          | 62 €           | 22.726 €       |                  |
| Schlamm Entsorgung                            | 27 %TS                 | 0,3 m³/h                                 | 6,8 m³/d             |                | 3,4   | 80 €/m³            | 272 €          | 99.121 €       |                  |
| Pulveraktivkohle                              | 90 % von PAK           | 28,6 kg/h                                | 687,4 kg/d           | 50%            | 343,7 |                    |                |                |                  |
| Fällschlamm                                   | 10 kgTS/kgFe           | 47,7 kg/h                                | 1.145,7 kg/d         | 50%            | 572,8 |                    |                |                |                  |
| Summe                                         |                        | 76,4 kg/h                                | 1.833,1 kg/d         |                | 916,5 |                    |                |                |                  |
| Energiekosten für zusätzliche Filterspülungen | 25 kWh/Zelle + Spülung | 8,0 Zellen                               | 200,0 kW/d           | 50%            | 100,0 | 0,15 €/kWh         | 15 €           | 5.475 €        |                  |
| Personalkosten                                | 20 h/Monat und Anlage  | 2 Dosieranlagen und 1 Kontaktbecken      |                      |                |       | 40 €/h             | 80 €           | 28.800 €       |                  |
| <b>Summe</b>                                  |                        |                                          |                      |                |       |                    |                | <b>1.038 €</b> | <b>378.308 €</b> |

|                                 |                 |                |                  |
|---------------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| <b>Jahreskosten Variante 2:</b> | 10.722.240 m³/a | 0,043 € pro m³ | <b>460.093 €</b> |
|---------------------------------|-----------------|----------------|------------------|

**Fazit**

Der wesentliche Nachteil der Variante 1, die begrenzte Reaktionszeit der Pulveraktivkohle, wird bei der Variante 2 durch die Einbindung eines neuen Reaktionsraumes aufgehoben.

Im Bypass vor dem Filter wird ein Reaktionsraum durch ein neues Becken neben der Nachklärung geschaffen, das mit maximal dem Trockenwetterzufluss beschickt wird.

Durch die längere Reaktionszeit wird die Pulveraktivkohle besser ausgenutzt. Die Elimination auch langsamer adsorbierbarer Spurenstoffe wird gesichert. Der Wirkungsgrad der Spurenstoffelimination wird erhöht. Weiterhin ist eine geringere Dosierrate als bei Variante 1 erforderlich und damit sinken auch die Betriebsmittelkosten gegenüber der Variante 1. Die Betriebsmittelkosten der Variante 2 sind im Vergleich der betrachteten Varianten die geringsten.

Der Aufwand zum Betrieb ist ebenfalls überschaubar, neben den erforderlichen Dosieranlagen für PAK und FHM erfordert das Reaktionsbecken nur einen geringen Mehraufwand.

Die spezifischen Jahreskosten von 4,3 Cent pro m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser sind bereits auch ohne den Ansatz von Fördermitteln für die Investitionskosten oder Verrechnung mit der Abwasserabgabe gering.

Nachteilig ist, dass die gesamte eingesetzte Pulveraktivkohle durch den Filter zurückgehalten werden muss und damit der Filter stark belastet wird. Aufgrund der zulässigen Raumbelastung des Filters ist das bis zur Trockenwetterzuflussmenge möglich. Darüber hinaus wird die Dosierung von PAK eingestellt und der Reaktionsraum umfahren

Die positiven Effekte der rückgeführten Kohle auf die Abwasserbehandlung führen ähnlich wie bei Variante 1 zu einer Verbesserung der Reinigungsleistung der A-Stufe und zu einer Verminderung der Geruchsproblematik im Zulaufbereich der Kläranlage Neuss Ost.

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

Eine „klassische“ Adsorptionsstufe, bestehend aus einem Kontaktreaktor und einer Sedimentationseinheit, ist nach den Betrachtungen im Kapitel 5.1 aufgrund der Platzverhältnisse nicht realisierbar. Die Dimensionierung des Kontaktreaktors in Abhängigkeit von der hydraulischen Aufenthaltszeit lässt keine Volumenreduzierung zu.

Für die Sedimentationseinheit stehen neben dem („klassisch“) horizontal oder vertikal durchströmten Absetzbecken auch Flotationsanlagen und Absetzbecken zur Verfügung, die mit lamellen- und kastenförmigen Durchflussprofilen ausgerüstet werden, auch Parallelplattenabscheider oder Lamellenseparatoren genannt. Der notwendige Flächenbedarf wird über die zulässige Oberflächenbeschickung der Sedimentationseinheit bestimmt. Für den Trockenwetterzufluss ergibt sich nach den Bemessungsansätzen aus [13] und ausgeführten Anlagen [14], [15] der Flächenbedarf zu mindestens 490 m<sup>2</sup> und damit immer noch zu groß, um sowohl Kontaktraum und Sedimentationseinheit auf einer der zur Verfügung stehenden Flächen gemeinsam anzuordnen.

**Tabelle 5-4: Erforderlicher Flächenbedarf der Sedimentationseinheit**

| Sedimentationseinheit                        | Oberflächenbeschickung |                    |                     | Erforderlicher Flächenbedarf<br>bei $Q_{TW} = 2.448 \text{ m}^3/\text{h}$ |
|----------------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                              | Literatur              | zul $q_A$<br>[m/h] | gew. $q_A$<br>[m/h] |                                                                           |
| horizontaldurchströmtes Nachklärbecken       | [13]                   | < 1,6              | 1,6                 | 1.530 m <sup>2</sup>                                                      |
| Sedimentationsbecken KW Böblingen-Sindelfing | [14]                   | 2                  |                     | 1.224 m <sup>2</sup>                                                      |
| Sedimentationsbecken KA Steinhäule (Neu-Ulm) | [15]                   | 2                  |                     | 1.224 m <sup>2</sup>                                                      |
| Flotationsanlage                             | [13]                   | 3,0 - 6,0          | 4,0                 | 612 m <sup>2</sup>                                                        |
| Lamellenabscheider                           | [13]                   | 3,0 - 6,0          | 5,0                 | 490 m <sup>2</sup>                                                        |

Eine weitere Flächenreduzierung ist durch das in Kapitel 3.3.1.2 beschriebene kombinierte Flockungs- und Sedimentationsverfahren ACTIFLO® CARB-Verfahren der Veolia, das schon lange in der Trinkwasseraufbereitung zum Einsatz kommt, möglich. Wesentliche Kenndaten zur Oberflächenbeschickung und zum Flächenbedarf sind in Tabelle 5-5 zusammengestellt.

**Tabelle 5-5: Oberflächenbeschickung und Flächenbedarf der Sedimentationseinheit ACTIFLO® CARB**

| Sedimentationseinheit <b>Actiflo</b>                                 | Oberflächenbeschickung |                    |                     | Erforderlicher Flächenbedarf<br>bei $Q_{TW} = 2.448 \text{ m}^3/\text{h}$ |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                                                                      | Literatur              | zul $q_A$<br>[m/h] | gew. $q_A$<br>[m/h] |                                                                           |
| Actiflo-Absetzbecken                                                 | [16]                   | 50                 | 40,0                | 61 m <sup>2</sup>                                                         |
| Gesamtanlage Actiflo incl. Absetz-, Koagulations- und Reifungsbecker |                        |                    | 9,0                 | 272 m <sup>2</sup>                                                        |

Die Vorteile dieses Verfahrens bezogen auf den Einsatz auf der Kläranlage Neuss Ost können in den folgenden Stichpunkte zusammengefasst werden:

- geringer Flächenbedarf, der die Realisierung einer Sedimentationseinheit möglich macht
- die Feststoffbelastung des Filters wird durch PAK nicht erhöht

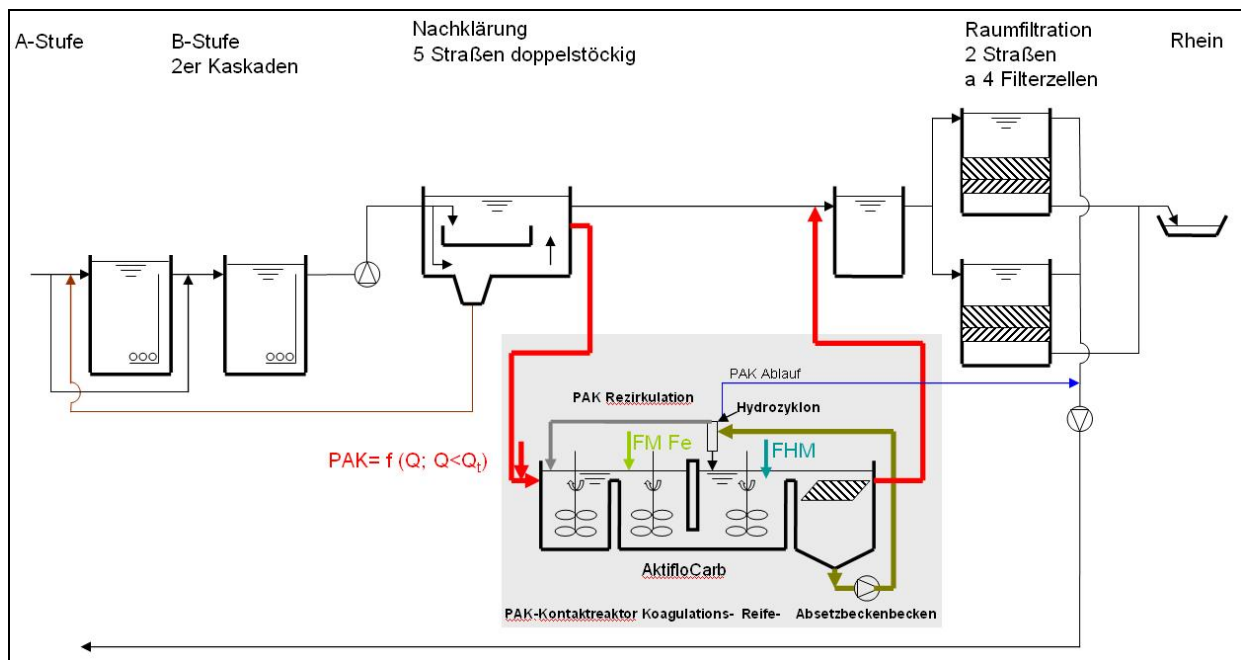


- die eingesetzte Pulveraktivkohle hat eine hohes „Schlammalter“ und damit eine große Ausnutzung – der PAK-Verbrauch ist geringer

Nachteilig ist, dass

- Flockungshilfsmittel und Mikrosand zusätzlich eingesetzt werden müssen und ein
- höherer Energiebedarf für Umwälzung, Rückführung und Waschung besteht.

Die mögliche Einbindung des Verfahren ACTIFLO® CARB in die Kläranlage Neuss Ost ist in der schematischen Darstellung des Blockschaltbildes Abbildung 5-9 dargestellt.



**Abbildung 5-9: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung vor dem Filter**

Die Verfahrenseinbindung sieht wie folgt aus. Aus dem Ablauf der Nachklärung wird das gereinigte Abwasser dem Reaktionsraum zugeleitet, der wie bereits beschrieben, auf eine Aufenthaltszeit von insgesamt 0,75 h bei Trockenwetter dimensioniert wird. Die Bemessung auf den Trockenwetterfall erfolgt analog zu den anderen hier betrachteten Varianten. Prinzipiell wäre auch eine Dimensionierung auf den Regenwetterzufluss möglich, allerdings reichen die vorhandenen Platzverhältnisse dann nicht aus.

Aufgrund der hydraulischen Verluste wird ein Rohrpropellerpumpwerk zwischen Nachklärung und Adsorptionsstufe erforderlich. Durch die Förderleistung der Rohrpropellerpumpe wird zudem die Teilstrommenge auf den Trockenwetterzufluss begrenzt. Die Pulveraktivkohle wird in den Förderstrom der Rohrpropellen mengenproportional dosiert. Das Reaktionsraumvolumen wird mit einem Rührwerk umgewälzt. Der Reaktionsraum wird unter der ACTIFLO® CARB-Sedimentationseinheit angeordnet, um den Platzverhältnissen gerecht zu werden. Die Doppelstöckigkeit der Nachklärung wird in der Adsorptionsstufe weitergeführt.

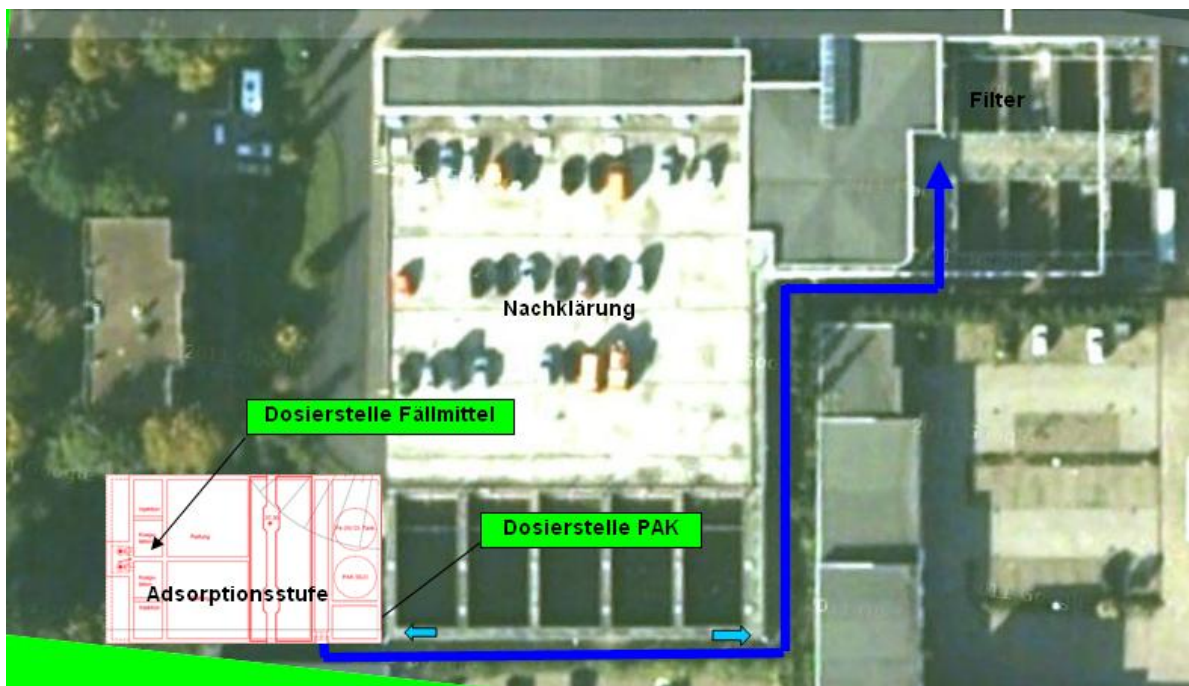
Vor dem Koagulationsbecken werden Flockungsmittel zur Flockenbildung zugegeben. Das Koagulationsbecken wird mit einem Rührwerk mit konstanter Drehzahl umgewälzt. In dem nachfolgenden Injektionsbecken wird Mikrosand aus den Hydrozyklonen zugegeben, um die Flocken zu beschweren. Das Injektionsbecken wird ebenfalls mit einem Rührwerk mit konstanter Drehzahl umgewälzt (siehe Abbil-

dung 3-4). Das ablaufende Wasser aus dem Injektionsbecken besteht aus einer Suspension von Mikrosand, Pulveraktivkohle und Mikrofloccen aus nichtstabilisierten kolloidalen Partikeln. Am Einlauf zum Reifebecken wird ein Polymer-Flockungshilfsmittel zudosiert, das den Mikrosand und die Mikrofloccen in große und dichte Floccen zusammenbindet. Das Reifebecken ist mit einem drehzahlgeregelten Rührwerk ausgerüstet, das optimale Mischbedingungen für die Floccung sicherstellt.

Die Polymer-, die Floccungsmittellager, die Dosierstation und das PAK-Silo sowie die PAK-Dosierstation werden zwischen Nachklärung und Sedimentationseinheit auf dem Kontaktbecken positioniert. Das aus dem Reifebecken ablaufende Wasser gelangt in das Absetzbecken, wo die mit Mikrosand unterstützten Floccen sehr schnell zum Boden sedimentieren. Die Sedimentationsgeschwindigkeit der Mikrosandfloccen ist ca. 10 mal so schnell, wie die von nicht beschwerten Floccen. Das Absetzbecken ist mit Lamellen aus PVC ausgerüstet, die 60° zur Horizontalen geneigt sind. Der Abzug des geklärten Abwassers wird oberhalb der Lamellen in rechteckigen Ablaufrinnen gesammelt und der Filteranlage über eine separate neue Leitung im Freispiegel DN 1000 zugeleitet, um eine Vollstrombehandlung bei Trockenwetter sowie eine Teilstrombehandlung auch bei Regenwetter zu ermöglichen.

Die Teilstrombehandlung bei Regenwetterzufluss ist bis zur Bemessungswassermenge der Sedimentationseinheit prinzipiell möglich, da die abfiltrierbaren Stoffe der Sedimentationseinheit der der Nachklärung entsprechen.

Das Mikrosand-/PAK-/Schlamm-Gemisch wird mittels Krählwerk in den Schlammsumpf in der Beckenmitte geführt, von dem es kontinuierlich mittels Kreiselpumpen zu den Hydrozyklonen gepumpt wird. Die Pumpenergie wird im Hydrozyklon in Zentrifugalkraft umgesetzt, wobei der leichtere Schlamm (PAK und Belebtschlamm) vom schweren Mikrosand getrennt wird. Der gereinigte Mikrosand tritt aus der Unterdüse des Hydrozyklons aus und wird in das Injektionsbecken zurückgeführt. Das leichtere PAK-Schlamm-Gemisch wird in den Kontaktreaktor zurückgeführt. Der Hydrozyklon wird aufgrund der hohen TS-Konzentration des Kreislaufstromes mit einer zusätzlichen Waschausrüstung ausgerüstet. Der Verlust an Mikrosand ist aufgrund der 99,9%igen Abscheidung im Hydrozyklon gering und wird durch diskontinuierliche Zugabe in das Injektionsbecken ausgeglichen. In Abbildung 5-10 ist die Anordnung der Anlagen im Lageplan (Luftbild) schematisch dargestellt.



**Abbildung 5-10: Lageplan PAK Dosierung im Kontaktraum und ACTIFLO® CARB Abscheider vor dem Filter**

### **Dimensionierung der Adsorptionsstufe bestehend aus Kontaktbecken und Sedimentationseinheit.**

Bei der Ermittlung der hydraulischen Aufenthaltszeit des Kontaktbeckens kann das vorhandene Volumen in Rinnen und Überstauraum nicht mit angesetzt werden, da es nicht mit Pulveraktivkohle beschickt wird. Die Volumina von 514 m<sup>3</sup> des nachfolgend dimensionierten Koagulation-, Injektion und Reifebeckens wird auf die hydraulische Aufenthaltszeit angerechnet.

#### **Kontaktbecken**

Es ist ein neues Kontaktvolumen zu schaffen mit einem Volumen von:

- 0,75 h \* 2.448 m<sup>3</sup>/h = 1.836 m<sup>3</sup>
- Abzüglich Volumen Koagulation-, Injektion und Reifebecken = 514 m<sup>3</sup>

Unter Anrechnung der Volumina beträgt das Volumen des Kontaktbeckens 1.322 m<sup>3</sup>

Dieses Beckenvolumen wird unterhalb der Sedimentationseinheit angeordnet und mit einem Rührwerk umgewälzt.

In dem Kontaktbecken wird eine TS-Konzentration von ca. 3 g PAK/l eingestellt. Durch die konzentrierte Kohlesuspension ist eine hohe Ausnutzung der Pulveraktivkohle zu erwarten. Die Dosierung der frischen Kohle wird deshalb mit 10 mg PAK/l angenommen. Unter der Annahme, dass im ablaufenden Volumenstrom der vorhandenen Nachklärung eine ähnliche hohe Feststoffkonzentration erreicht wird, wie im Ablauf der Sedimentationseinheit, ergibt sich ein Kohlealter von ca. 6 Tagen im Kontaktbecken.

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

- 10 g PAK /m<sup>3</sup> \* 2.448 m<sup>3</sup>/h \* 24 h/d = 588 kg PAK/d

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 10 mg PAK/l.

- 588 kg PAK/d \* 0,2 kg Fe/kg PAK = 117 kg Fe/d
- 117 kg Fe/d \* 2,5 kg TS /kg Fe = 294 kg TS/d

Schlammanfall pro Tag insgesamt: 882 kg TS/d

Hydraulisch wird der Kontaktreaktor mit einem Kreislaufstrom für die Rücklaufkohle von 10% ausgelegt. Die Bemessungswassermenge für die Adsorptionsstufe beträgt somit

- 2.448 m<sup>3</sup>/h \* (1 + 10%) = 2.700 m<sup>3</sup>/h

#### **Pulveraktivkohlelager- und Dosieranlage**

Die Pulveraktivkohle wird in einem Silo gelagert, das auch für diese Variante auf eine Mindestvorhaltung von 20 Tagen konzipiert wird. Das erfordert eine Vorhaltevolumen von

- 20 d \* 588kg PAK/d / 500 kg/m<sup>3</sup> = 24 m<sup>3</sup>.

Die Befüllung des Silos erfolgt pneumatisch über ein Silofahrzeug mit einer Kapazität von 40 m<sup>3</sup>. Bei einer Schüttdichte von ca. 500 kg/m<sup>3</sup>, können mit einem Silofahrzeug 20.000 kg angeliefert werden. Durch die pneumatische Förderung wird im Silo zunächst eine geringere Lagerungsdichte von ca. 420 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Die Entladung eines Silofahrzeuges erfordert ein freies Silovolumen von

- 20.000 kg / 420 kg/m<sup>3</sup> = 48 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Silokapazität = 72 m<sup>3</sup>
- Gewählte Silokapazität 75 m<sup>3</sup>

Die Pulveraktivkohle wird volumenstromabhängig zu dosiert. Aktivkohle lässt sich nur schwer befeuchten und staubt. Um eine homogene Vermischung der Kohle ohne Staubentwicklung zu gewährleisten wird die Kohle über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen speziellen Ansetzbehälter gefördert. Die Kohle wird in eine Vorlage mit einem getauchten Rohrdispersierer hinein staubfrei dispergiert. Die Kohle-Suspension wird dann mit einer Wasserstrahlpumpe verdünnt und zur Dosierstelle gefördert. Das Treibwasser wird aus dem Ablauf der Nachklärung entnommen.

Die wesentlichen Daten der Sedimentationseinheit sind nach den Angaben des Lizenzträgers hinsichtlich Aufenthaltszeit und Energieeintrag nachfolgend zusammengestellt. Die Anlage wird durchgängig zweistraßig ausgelegt. Je Straße werden 50% des Trockenwetterzuflusses behandelt.

### Koagulationsbecken

Das Koagulationsbecken wird auf eine Aufenthaltszeit von ca. 1,8 min. ausgelegt. Damit ergibt sich ein Volumen von

- 1,8 min. \* 2.700 m<sup>3</sup>/h / 60 min./h = 2 \* 40 m<sup>3</sup>
- Rührwerke zur Umwälzung 2 à 7,5 kW

Für die Dosierung der Fällmittel ist eine Lager- und Dosiereinrichtung erforderlich. Das Fällmittel Fe(III)Cl<sub>3</sub> wird mit einem Tankwagen angeliefert und in einem Tank gelagert, der auf eine Vorhaltung von 20 Tagen dimensioniert wird. Eisen(III)-chlorid hat eine übliche Wirksubstanz von 0,138 kg Fe/kg WS und Dichte von 1.410 kg/m<sup>3</sup>. Das erforderliche Vorhaltevolumen beträgt

- 20 d \* 117 kg Fe/d / 0,138 kg Fe/kg WS / 1.410 kg/m<sup>3</sup> = 12 m<sup>3</sup>
- Die Anlieferung erfolgt mit einem 20 m<sup>3</sup> Fahrzeug = 20 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Lagerkapazität = 32 m<sup>3</sup>
- Gewählte Tankgröße = 35 m<sup>3</sup>

### Injektionsbecken

Das Injektionsbecken wird auf eine Aufenthaltszeit von ca. 1,7 min. ausgelegt. Damit ergibt sich ein Volumen von:

- 1,7 min. \* 2.700 m<sup>3</sup>/h / 60 min./h = 2 \* 40 m<sup>3</sup>
- Rührwerke zur Umwälzung 2 à 7,5 kW

### Reifebecken

Das Reifebecken wird auf eine Aufenthaltszeit von ca. 7,8 min. ausgelegt; das Volumen ergibt:

- $7,8 \text{ min.} \cdot 2.700 \text{ m}^3/\text{h} / 60 \text{ min./h} = 2 \cdot 177 \text{ m}^3$
- Rührwerke zur Umwälzung 2 à 15 kW

Für die Dosierung der Flockungshilfsmittel wird eine FHM-Polymerdosierstation erforderlich. Das pulverförmige FHM-Polymer wird in einer automatischen Polymerstation mit Trinkwasser angesetzt, gereift und als flüssige Lösung vorbereitet. Die Dosierung erfolgt volumenproportional. Die Dosierrate beträgt zwischen 0,5 und 0,8 mg/l, gewählt werden 0,6 mg/l

- $0,6 \text{ g FHM/m}^3 \cdot 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/d} = 35 \text{ kg/d}$

### Lamellenklärer

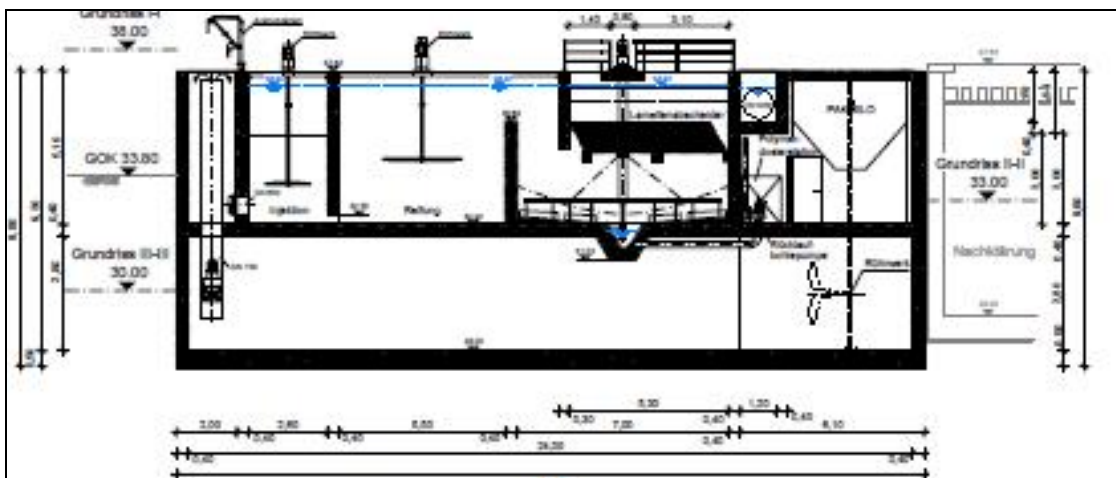
Das eigentliche Sedimentationsbecken, der Lamellenklärer wird auf eine Oberflächenbeschickung von  $40 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  ausgelegt.

- $2.700 \text{ m}^3/\text{h} / 40 \text{ m}^3/\text{h} = 2 \cdot 38 \text{ m}^3$
- Lamellenfläche (horizontal je Becken) = 31,5 m<sup>2</sup>
- Krählwerke zur Schlammräumung 2 à 0,37 kW

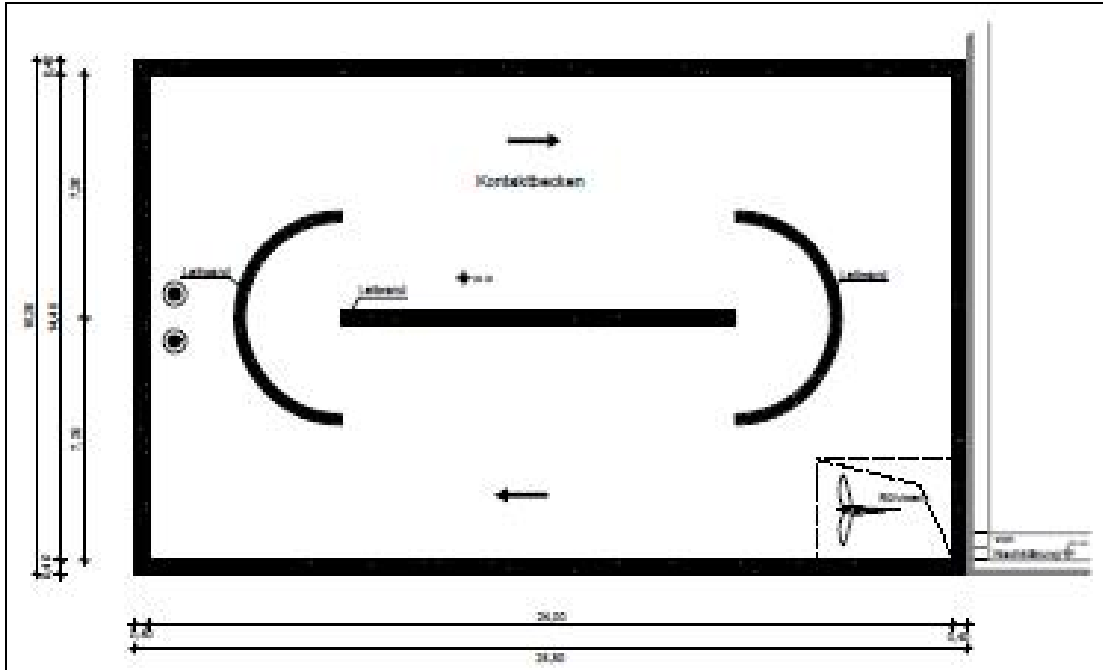
Der Kohleschlamm wird rezirkuliert. Die Rückführung wird zu ca. 9% bezogen auf die max. Bemessungswassermenge, entsprechend dem max Trockenwetterzufluss der Kläranlage Neuss Ost ausgelegt und auf jeweils 2 Pumpen je Absetzbecken aufgeteilt.

- Rücklaufkohleschlammförderleistung  $2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 9\% = 220 \text{ m}^3/\text{h}$
- Je Pumpe  $220 \text{ m}^3/\text{h} / (2 \cdot 2) = 55 \text{ m}^3/\text{h}$ ; gewählt 60 m<sup>3</sup>/h

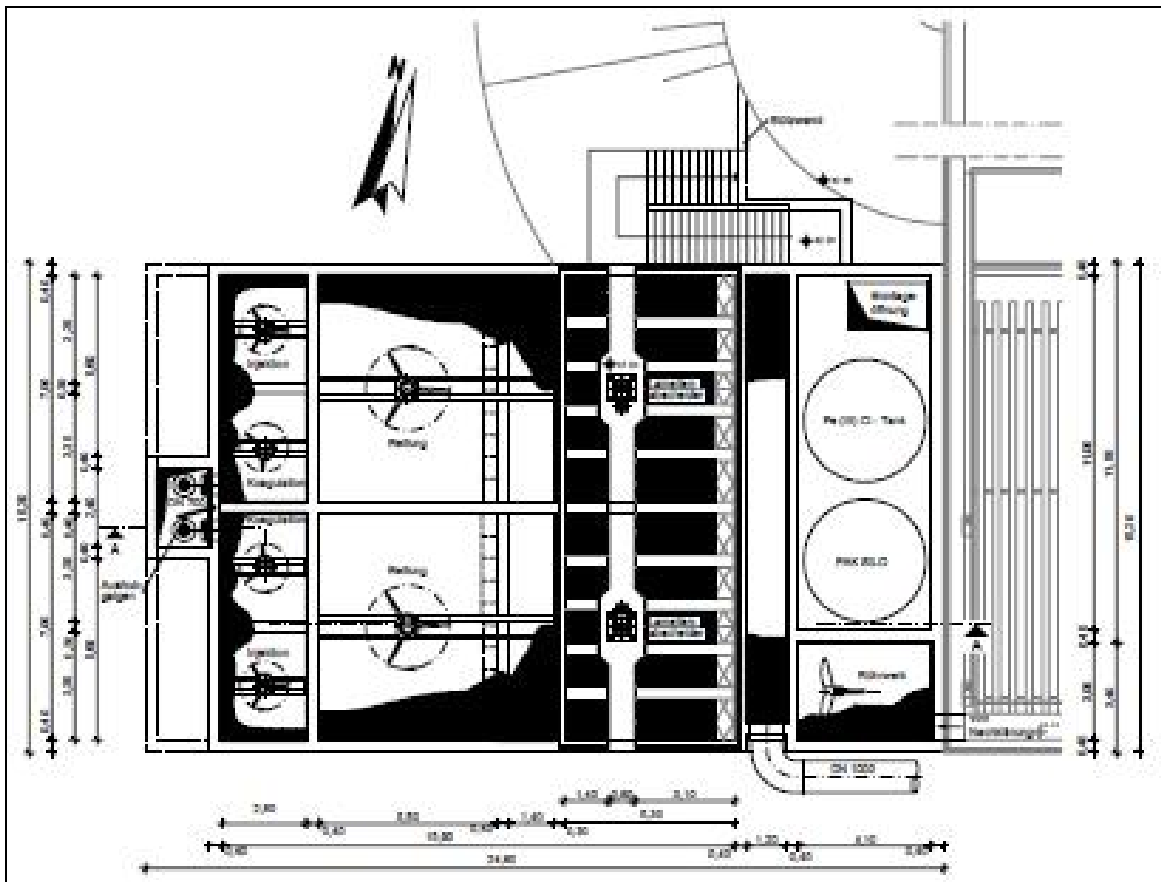
Die technische Ausführung des ACTIFLO mit dem Kontaktbecken ist in den Abbildung 5-11, Abbildung 5-12 und Abbildung 5-13 dargestellt. Die Entwurfszeichnungen liegen als Anlage zur Studie bei.



**Abbildung 5-11: Schnitt durch die doppelstöckige Adsorptionsstufe**



**Abbildung 5-12: Grundriss des Kontaktbeckens**



**Abbildung 5-13: Grundriss Sedimentationseinheit**

Die Investitionskosten für die Fällmittellager- und -dosierstation, die Dosierleitungen sowie ACTILO-CARB können der Tabelle 5-6 entnommen werden. In dieser Tabelle sind auch die entsprechenden Betriebskosten dargestellt.

**Tabelle 5-6: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung vor dem Filter**

| Investitionskosten<br>Variante 3:          | Betrag             | Betrachtungszeitraum | Nutzungsdauer n | Zinssatz i | KFAKR (i;n) | Re-invest nach | DFAKE (i;n) | Jahreskosten     |
|--------------------------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|------------|-------------|----------------|-------------|------------------|
|                                            |                    |                      |                 |            |             |                |             |                  |
| 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 0,641862 | 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 0,641862 | 56.124 €         |
| Rohrleitung Kontaktbecken-Filter           | 100.000 €          | 30                   | MT              | 15         | 3,0%        | 0,051019       | 15 0,641862 | 8.377 €          |
| 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 €            |
| Trinkwasser/Brauchwasser                   | 10.000 €           | 30                   | MT              | 15         | 3,0%        | 0,051019       | 15 0,641862 | 838 €            |
| Polymerstation                             | 60.000 €           | 30                   | MT              | 15         | 3,0%        | 0,051019       | 15 0,641862 | 5.026 €          |
| Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung    | 70.000 €           | 30                   | MT              | 15         | 3,0%        | 0,051019       | 15 0,641862 | 5.864 €          |
| Elektro- und MSR-Technik                   | 40.000 €           | 30                   | ET              | 15         | 3,0%        | 0,083767       | 15 0,641862 | 5.501 €          |
| <b>Summe</b>                               | <b>4.270.000 €</b> |                      |                 |            |             |                |             | <b>261.592 €</b> |

| Betriebsmittelkosten                  | Kennwerte             | Betriebsmittelbedarf bei                 |                      |                               | spezifische Kosten | Kosten pro Tag | Jahreskosten<br>10.722.240 m³/a |                  |
|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|----------------|---------------------------------|------------------|
|                                       |                       | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor<br>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 Einmisch  | 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-, Injektionsbe | 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)             | 0,15 kgFe/kgPAK       | 3,7 kg/h                                 | 88,1 kg/d            | 50%                           | 44,1               |                |                                 |                  |
| (Fällmittelmenge)                     | 0,138 kgFe/kgFM       |                                          |                      |                               | 319,3              | 0,15 €/kg      | 48 €                            | 17.482 €         |
| 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 €          |
| Schlammentsorgung                     | 27 %TS                | 0,2 m³/h                                 | 5,2 m³/d             |                               | 2,6                | 80 €/m³        | 209 €                           | 76.247 €         |
| Pulveraktivkohle                      | 90 % von PAK          | 22,0 kg/h                                | 528,8 kg/d           | 50%                           | 264,4              |                |                                 |                  |
| Fällschlamm                           | 10 kgTS/kgFe          | 36,7 kg/h                                | 881,3 kg/d           | 50%                           | 440,6              |                |                                 |                  |
| Summe                                 |                       | 58,8 kg/h                                | 1.410,0 kg/d         |                               | 705,0              |                |                                 |                  |
| Personalkosten                        | 20 h/Monat und Anlage | 3 Dosieranlagen und Adsorptionsanlage    |                      |                               | 40 €/h             | 133 €          |                                 | 48.000 €         |
| <b>Summe</b>                          |                       |                                          |                      |                               |                    | 1.168 €        |                                 | <b>427.637 €</b> |

| Jahreskosten<br>Variante 3: | 10.722.240 m³/a | 0,064 € pro m³ | 689.229 € |
|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------|
|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------|

**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 konnte durch die Einbindung des ACTIFLO® CARB -Verfahrens realisiert werden.

Der wesentliche Vorteil dieser Variante besteht in der langen Kontaktzeit des Abwassers mit der Pulveraktivkohle, das rechnerisch mit einem Kohlealter von 6 Tagen angegeben werden kann. Ein Garant für hohe Eliminationsleistungen der Spurenstoffe.

Der Einsatz der frischen Pulveraktivkohle kann mit diesem Verfahren vergleichsweise minimiert werden. Bis auf die Konkurrenzsituation mit den im Ablauf der Nachklärung vorhandenen abfiltrierbaren Stoffe und Rest-CSB wird die Kohle optimal aufgenutzt. Zur Minimierung der abfiltrierbaren Stoffe ist eine Optimierung der Nachklärung erforderlich.

Die Filteranlage wird durch die Einbindung der Sedimentationseinheit ACTIFLO® CARB nicht höher belastet als bisher. Der Filter dient bis zum Trockenwetterzufluss als Rückhalt für die feinsten Anteile der Aktivkohle. Bei Regenwetterzufluss kann der Teilstrom bis zur Höhe des Trockenwetterzuflusses im ACTIFLO® CARB behandelt werden, die restliche Wassermenge wird im Bypass direkt auf die Filteranlage geführt.

Die Verbrauchskosten für die Pulveraktivkohle sind bei dieser Variante 3 gering und die Ausnutzung der A-Kohle sehr hoch. Allerdings sind weitere Energie- und Stoffkosten für die Sedimentationseinheit zu beachten, so dass in Summe die Betriebskosten zwischen Variante 1 und 2 liegen.

Die Investitionskosten sind im Vergleich zur verfahrenstechnisch direkt vergleichbaren „klassischen“ Sedimentationseinheit als günstig zu bewerten. Gegenüber den Varianten 1 und 2, die auf Grund des kürzeren Kohlealters nicht direkt vergleichbar sind, haben die kapitalisierten Investitionskosten mit 38 % einen deutlich höheren Anteil..

Die Rückführung der Überschussskohle ist über vorhandene Rohrleitungen in die A-Stufe vorgesehen und dürfte zu einer geringfügig verbesserten Reinigungsleistung führen. Im Ablauf der Kläranlage ist eine vergleichsweise höhere Reduzierung des CSB-Wertes zu erwarten.

Die Behandlungskosten betragen 6,4 Cent pro m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser. Die Berücksichtigung von Fördermitteln und auch die Verrechnung der Abwasserabgabe sind hierin nicht berücksichtigt, haben aber auf die Erst-Investitionskosten und die zu erwartende CSB-Reduzierung einen erheblichen Einfluss.



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

Im Ablauf der Nachklärung der Kläranlage Neuss Ost ist noch eine vergleichsweise hohe Hintergrundbelastung an abfiltrierbaren Stoffen und CSB vorhanden, die die Beladung der Pulveraktivkohle gegenüber der Spurenstoffelimination prägt. Um diesen Effekt zu mindern, wurde eine Variante mit einer PAK Dosierung in den Ablauf der Filtration ausgearbeitet. Der Filter ist symmetrisch mit zwei Straßen à 4 Filterkammern aufgebaut. Diese Variante sieht vor, dass der Filter bei Trockenwetterzufluss zweistufig durchflossen wird. Der Ablauf der Nachklärung wird zunächst auf eine Filterstufe geführt, die aus den vier südlichen Filterkammern besteht. Die Feststoffe und damit der partikuläre CSB wird 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, geführt zur sicheren Abscheidung der Pulveraktivkohle.

Bis zum Maximalen Trockenwetterzufluss wird dabei die südliche Filterstufe für die „normale“ Raumfiltration genutzt und die nördliche Filterstufe zur Abtrennung der Restpulveraktivkohle im Ablauf der Adsorptionsstufe. Die gereinigten Abwässer werden bis zum Trockenwetterzufluss somit „zweimal“ filtriert.

Die Rückführung aus der Adsorptionsstufe erfolgt auf die Straße, die bei diesem Konzept nicht bei Trockenwetter mit dem Ablauf der Nachklärung beaufschlagt wird. Bei Regenwetterzufluss ( $Q > Q_t$ ) werden beiden Filterstufen wieder parallel beschickt und für die Raumfiltration nach der bisherigen Betriebsweise eingesetzt.

Voraussetzung für diese stufenweise Fahrweise ist eine vollständige hydraulische Trennung der beiden Filterstraßen, die durch Trennung des Ablaufkanals ermöglicht wird. Der Zulaufkanal ist bereits mit einer getrennten Zulaufrinne ausgelegt.

Bis zum Trockenwetterzufluss wird nur die südliche Straße mit dem Ablauf der Nachklärung beschickt. Der Zulaufkanal zu den Filterzellen der anderen Straße wird mit dem vorhandenen Zulaufschieber für den Ablauf Nachklärung gesperrt. In den Kanal wird die Leitung von der Adsorptionsstufe eingebunden.

Der Ablaufkanal der Filtration wird mit einer Trennwand ausgerüstet. An die „Nachklärseite“ des geteilten Ablaufkanals wird die Zuleitung zur Filtration angeschlossen und das gereinigte Abwasser mit einem neuen Pumpwerk zur Adsorptionsstufe gefördert. Mit dem Pumpwerk wird die Wassermenge zur Adsorptionsstufe geregelt. Die Fördermenge wird ca. 5% höher eingestellt und im Kreislauf gefahren als die Zulaufwassermenge, um die Fließrichtung der filtrierten „Nachklärseite“ in Richtung Pumpwerk und Adsorptionsstufe zu richten.

Übersteigt der Zulauf zur Kläranlage den Trockenwetterzufluss, wird die Förderung eingestellt und in dem abgetrennten Ablaufkanal kehrt sich die Fließrichtung zum Klarwasserspeicher und Ablauf um.

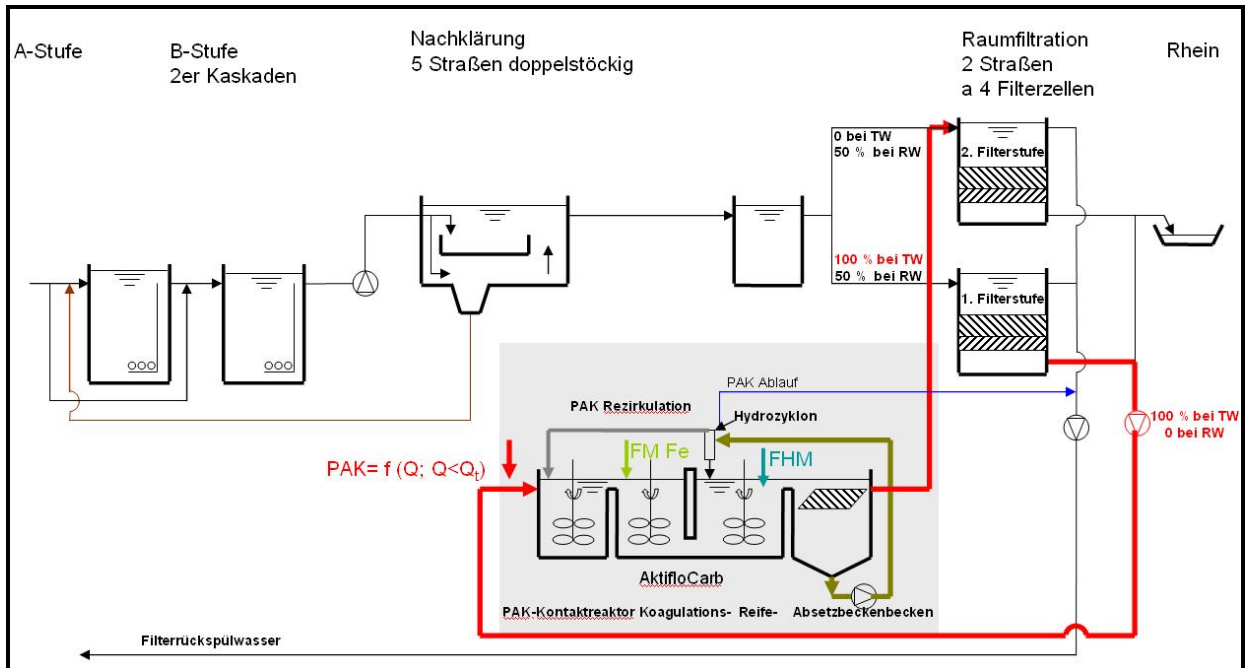
Der direkte Weg zum Ablauf der Kläranlage ist damit frei; gleichzeitig wird im Zulauf der vorhandene Schieber in der nördlichen „Adsorptionsseite“ geöffnet und der Filter ausschließlich mit dem Ablauf der Nachklärung beschickt. Die vorhandene Filtration der Kläranlage Neuss Ost wird bis zum Trockenwetterzufluss sowohl für die Elimination der abfiltrierbaren Stoffe (und auch zur Phosphorelimination) wie auch zur Entnahme der Restkohle genutzt.

Aufgrund der zweistufigen Nutzung wird der Filter hydraulisch bis zum Trockenwetterzufluss mit der doppelten Wassermenge beschickt wie bisher. Das vorhandene Filtermanagementsystem ist um die stufenweise Fahrweise zu ergänzen. Beim zweistufigen Betrieb ist, wie auch beim einstufigen Betrieb, eine alternierende Betriebsweise der Filterzellen in Abhängigkeit von der Zulaufwassermenge umzusetzen.

zen. Durch die Verdopplung der Filterwassermenge steigt die Spülhäufigkeit entsprechend an und damit der Energiebedarf für die Spülwasserpumpen und –gebläse. Die Betriebs- und Wartungskosten für die maschinentechnischen Einrichtungen steigen tendenziell. Entsprechend sinkt die Nutzungsdauer der Aggregate. Es ist zu erwarten, dass durch erhöhten Durchsatz auch ein erhöhter Abrieb und Austrag des Filtermaterials einhergeht. Der Filtermaterialverlust wird von derzeit 1,3 % auf niedrigem Niveau erhöht.

Die Hintergrundbelastung des Abwassers, die sich negativ auf die Adsorptionskapazität der Aktivkohle auswirkt, wird in dieser Variante deutlich reduziert und damit auch die erforderliche Dosierrate der „frischen“ Kohle für die Spurenstoffelimination. Durch die Filtration werden ca. 10 bis 15 mg AFS/l aus dem Ablauf der Nachklärung entnommen. Ein Feststoffabtrieb von 1mg/l entspricht einer Restverschmutzung von 0,8 bis 1,4 mg CSB/l. Die Filtration reduziert den CSB-Ablaufwert und damit die Hintergrundbelastung um 8 bis 21 mg CSB/l. Im Rahmen dieser Studie wird daher angenommen, dass die Dosierrate um mindestens 1 mg PAK /l aufgrund der reduzierten Hintergrundbelastung bei Dosierung nach der Filtration auf 9 mg PAK/l abgesenkt werden kann.

In Abbildung 5-14 ist das Prinzipschema dargestellt und in Abbildung 5-14 bis Abbildung 5-17 ist die anlagentechnische Umsetzung skizziert.



**Abbildung 5-14: PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum und Abscheidung nach dem Filter**

Die Adsorptionsstufe ist in gleicher Weise aufgebaut wie in Kapitel 5.4 beschrieben. Der Reaktionsraum wird auf unverändert auf eine Aufenthaltszeit von 0,75 dimensioniert. Die Sedimentationseinheit wird ebenfalls gleich ausgelegt.

Aufgrund der geringen Dosierrate reduzieren sich die Verbrauchsmengen für Pulveraktivkohle, Flockungsmittel und Flockungshilfsmitteln und damit auch die Entsorgungsmengen und –kosten.

Folgende Kenngrößen ändern sich gegenüber der Variante mit PAK-Dosierung vor dem Filter:

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

$$\blacksquare \quad 9 \text{ g PAK /m}^3 \cdot 2.448 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/d} \quad = \quad 529 \text{ kg PAK/d}$$

Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid (gewählt 0,2 g Fe/gPAK); 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 9 mg PAK/l.

- 528 kg PAK/d \* 0,2 kg Fe/kg PAK = 106 kg Fe/d
  - 106 kg Fe/d \* 2,5 kg TS/kg Fe = 264 kg TS/d
- Schlammanfall pro Tag insgesamt: 793 kg TS/d

### **Pulveraktivkohlelager- und Dosieranlage**

Die Pulveraktivkohle wird in einem Silo gelagert, das auch für diese Variante auf eine Mindestvorhaltung von 20 Tagen konzipiert wird. Das erfordert eine Vorhaltevolumen von

- 20 d \* 529 kgPAK/d / 500 kg/m<sup>3</sup> = 21 m<sup>3</sup>

Die Befüllung des Silos erfolgt pneumatisch über ein Silofahrzeug mit einer Kapazität von 40 m<sup>3</sup>. Bei einer Schüttdichte von ca. 500 kg/m<sup>3</sup>, können mit einem Silofahrzeug 20.000 kg angeliefert werden. Durch die pneumatische Förderung wird im Silo zunächst eine geringere Lagerungsdichte von ca. 420 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Die Entladung eines Silofahrzeuges erfordert eine freies Silovolumen von

- 20.000 kg / 420 kg/m<sup>3</sup> = 48 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Silokapazität = 69 m<sup>3</sup>
- Gewählte Silokapazität 70 m<sup>3</sup>

Für die Dosierung der Fällmittel ist eine Lager- und Dosiereinrichtung erforderlich. Das Fällmittel Fe(III)Cl<sub>3</sub> wird mit einem Tankwagen angeliefert und in einem Tank gelagert, der auf eine Vorhaltung von 20 Tagen dimensioniert wird. Eisen(III)-chlorid hat eine übliche Wirksubstanz von 0,138 kg Fe/kg WS und Dichte von 1.410 kg/m<sup>3</sup>. Das erforderliche Vorhaltevolumen beträgt

- 20 d \* 106kg Fe/d / 0,138 kg Fe/kg WS / 1.410 kg/m<sup>3</sup> = 11 m<sup>3</sup>
- Die Anlieferung erfolgt mit einem 20 m<sup>3</sup> Fahrzeug = 20 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Lagerkapazität = 31 m<sup>3</sup>
- Gewählte Tankgröße = 30 m<sup>3</sup>

Für die Dosierung der Flockungshilfsmittel wird eine FHM<sup>6</sup>-Polymerdosierstation erforderlich. Das pulverförmige FHM-Polymer wird in einer automatischen Polymerstation mit Trinkwasser angesetzt, gereift und als flüssige Lösung vorbereitet. Die Dosierung erfolgt volumenproportional. Die Dosiertrate beträgt zwischen 0,5 und 0,8 mg/l, gewählt 0,5 mg/l

- 0,5 g FHM/m<sup>3</sup> \* 2.448 m<sup>3</sup>/h \* 24 h/d = 29 kg/d

Die technische Ausführung der Variante 4 ist in den Abbildung 5-15, Abbildung 5-16 (Rinnen- und Rohrleitungsführung im Filter) und Abbildung 5-17 (Anordnung im Lageplan) dargestellt.

---

<sup>6</sup> FHM Flockungshilfsmittel

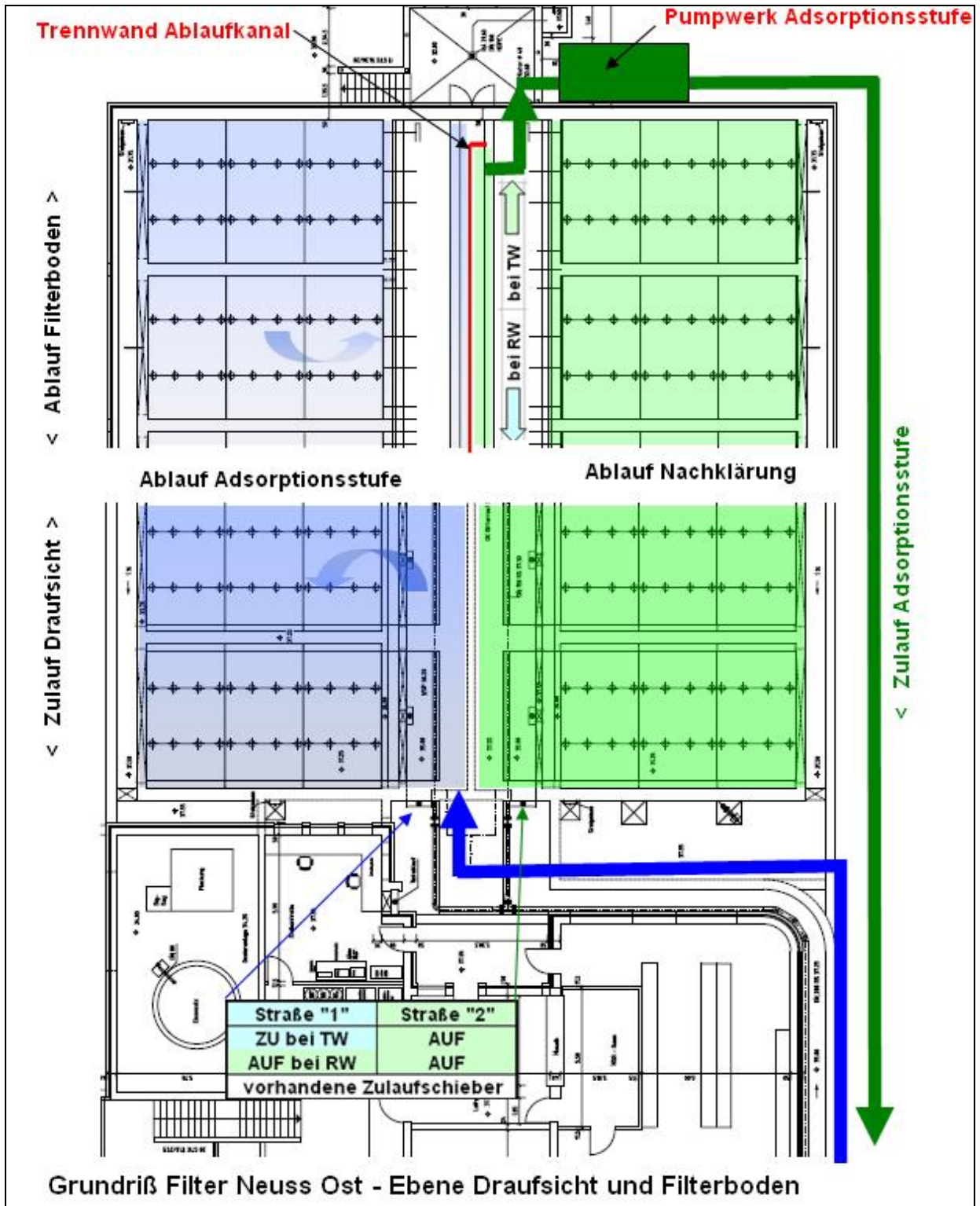


Abbildung 5-15: Grundriß Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter

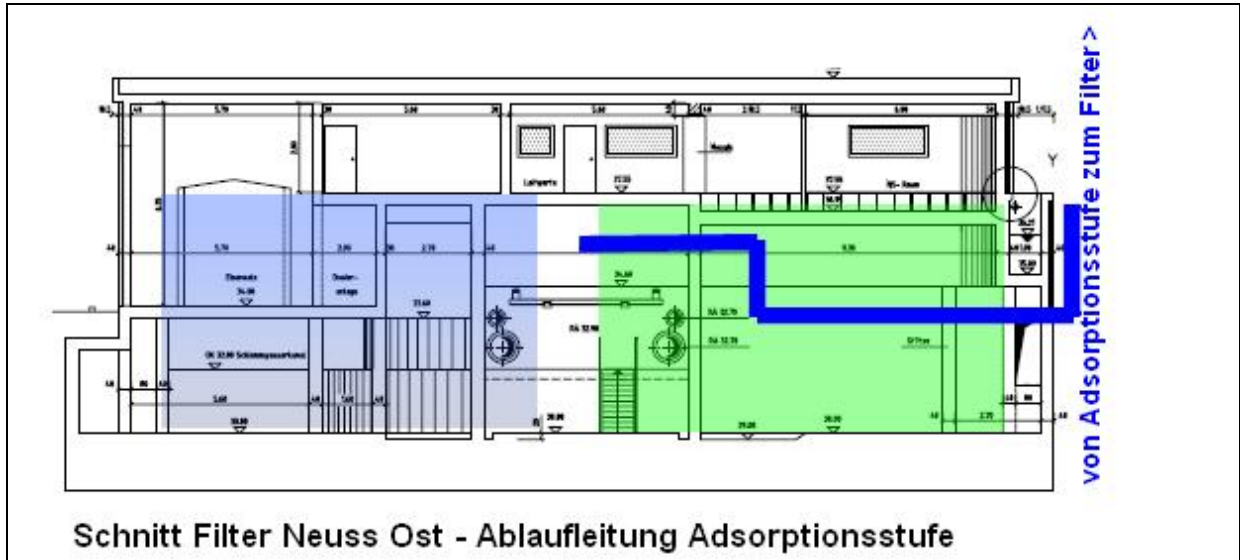


Abbildung 5-16: Schnitt Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter



Abbildung 5-17: Lageplan Filter Neuss – PAK Dosierung im Bypass nach dem Filter

**Kostenannahme:**

Die Investitionskosten (Variante 4) z.B. für die Fällmittellager- und -dosierstation, die Dosierleitungen sowie ACTILO-CARB können der Tabelle 5-7 entnommen werden. In dieser Tabelle sind auch die entsprechenden Betriebskosten dargestellt.



**Tabelle 5-7: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung in einem neuem Reaktionsbecken und Abscheidung nach dem Filter**

| Investitionskosten<br>Variante 4:          |             |                    | Betrachtungszeitraum | Nutzungsdauer n | Zinssatz i                                              | KFAKR (i;n) | Re-invest nach | DFAKE (i;n) | Jahreskosten     |           |
|--------------------------------------------|-------------|--------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------|----------------|-------------|------------------|-----------|
|                                            |             |                    |                      | Jahre           |                                                         |             | Jahren         |             |                  |           |
| Optimierung Nachklärung                    | 200.000 €   | 30                 | BT                   | 30              | Ansätze nach LAWA Leitlinien Kostenvergleichsrechnungen | 3,0%        | 0,051019       | 0           | 10.204 €         |           |
| Rohrpropellerpumpwerk                      | 70.000 €    | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 0,641862         | 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          | 0,641862         | 56.124 €  |
| Pumpwerk am Filter                         | 450.000 €   | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 0,641862         | 37.695 €  |
| Rohrleitung Filter-Adsorptionsstufe        | 200.000 €   | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 0,641862         | 16.753 €  |
| Rohrleitung Adsorptionstufe-Filter         | 150.000 €   | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 0,641862         | 12.565 €  |
| Umbauten am Filter                         | 200.000 €   | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 0,641862         | 16.753 €  |
| 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 €     |
| Trinkwasser/Brauchwasser                   | 10.000 €    | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,083767       | 15          | 0,641862         | 1.375 €   |
| Polymerstation                             | 60.000 €    | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,083767       | 15          | 0,641862         | 8.252 €   |
| Fällmittel Lager- und Dosiereinrichtung    | 70.000 €    | 30                 | MT                   | 15              |                                                         | 3,0%        | 0,083767       | 15          | 0,641862         | 9.627 €   |
| Elektro- und MSR-Technik                   | 40.000 €    | 30                 | ET                   | 15              | 3,0%                                                    | 0,083767    | 15             | 0,641862    | 5.501 €          |           |
| <b>Summe</b>                               |             | <b>5.170.000 €</b> |                      |                 |                                                         |             |                |             | <b>344.509 €</b> |           |

| Betriebsmittelkosten                      | Kennwerte             | Betriebsmittelbedarf bei                 |                      |                               | spezifische Kosten | Kosten pro Tag | Jahreskosten |                  |          |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|----------------|--------------|------------------|----------|
|                                           |                       | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor<br>50% pro Tag |                    |                |              | 10.722.240 m³/a  |          |
| PAK                                       | 9 mg/m³               | 22,0 kg/h                                | 528,8 kg/d           | 50%                           | 264,4              | 1,5 €/kg       | 397 €        | 144.750 €        |          |
| Lösewasser                                | 0,05 m³/kg PAK        | 1,1 m³/h                                 | 26,4 m³/d            | 50%                           | 13,2               | 1 €/m³         | 13 €         | 4.825 €          |          |
| 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)                 | 0,15 kgFe/kgPAK       | 3,3 kg/h                                 | 79,3 kg/d            | 50%                           | 39,7               |                |              |                  |          |
| (Fällmittelmenge)                         | 0,138 kgFe/kgFM       |                                          |                      |                               | 287,4              | 0,15 €/kg      | 43 €         | 15.734 €         |          |
| 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 €          |          |
| Schlammentsorgung                         | 27 %TS                | 0,2 m³/h                                 | 4,7 m³/d             |                               | 2,4                | 80 €/m³        | 188 €        | 68.622 €         |          |
| Pulveraktivkohle                          | 90 % von PAK          | 19,8 kg/h                                | 475,9 kg/d           | 50%                           | 237,9              |                |              |                  |          |
| Fällschlamm                               | 10 kgTS/kgFe          | 33,0 kg/h                                | 793,2 kg/d           | 50%                           | 396,6              |                |              |                  |          |
| Summe                                     |                       | 52,9 kg/h                                | 1.269,0 kg/d         |                               | 634,5              |                |              |                  |          |
| Personalkosten                            | 20 h/Monat und Anlage | 3 Dosieranlagen und Adsorptionsanlage    |                      |                               |                    |                | 40 €/h       | 133 €            | 48.000 € |
| <b>Summe</b>                              |                       |                                          |                      |                               |                    |                | 1.110 €      | <b>406.554 €</b> |          |

|                                    |                 |                |           |
|------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|
| <b>Jahreskosten</b><br>Variante 4: | 10.722.240 m³/a | 0,070 € pro m³ | 751.063 € |
|------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|

**Fazit**

Diese Variante vereint vorteilhaft die optimale Ausnutzung der vorhandenen Anlagenteile mit einer zielgerichteten Spurenstoffelimination. Durch die Filtration des Ablaufs der Nachklärung in der ersten Straße der Filtration wird die Adsorptionsstufe von der Konkurrenz der abfiltrierbaren Stoffe befreit.

Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle kann bis auf den gelösten CSB und die Restfeststoffe vollständig für die Spurenstoffelimination genutzt werden. Die (zweite) Filtration bei Trockenwetter in der zweiten Straße führt zu einer weiteren Verminderung der AFS und des CSB-Ablaufwertes bei gleichzeitigem Rückhalt der Feinstkohlepartikel.

Verfahrenstechnisch sichert diese Variante die höchsten Eliminationsgrade für Spurenstoffe und CSB der Kläranlage Neuss Ost.

Die Betriebskosten der Variante 4 sind im Vergleich gering. Sie bieten zudem im Betrieb noch weitere Optimierungspotenziale über die hier angesetzten Werte hinaus.

Nachteilig sind die Investitionskosten, wenngleich diese im Vergleich mit „klassischen“ Lösungen günstig sind. Die Behandlungskosten betragen 7,0 Cent pro m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser.

Die Berücksichtigung von Fördermitteln und auch die Verrechnung der Abwasserabgabe wurden wie bei den anderen Varianten nicht berücksichtigt.

Bei einer angenommenen 70% Förderung der Investitionskosten und Verrechnung mit der Abwasserabgabe könnte diese Variante die günstigste werden.

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

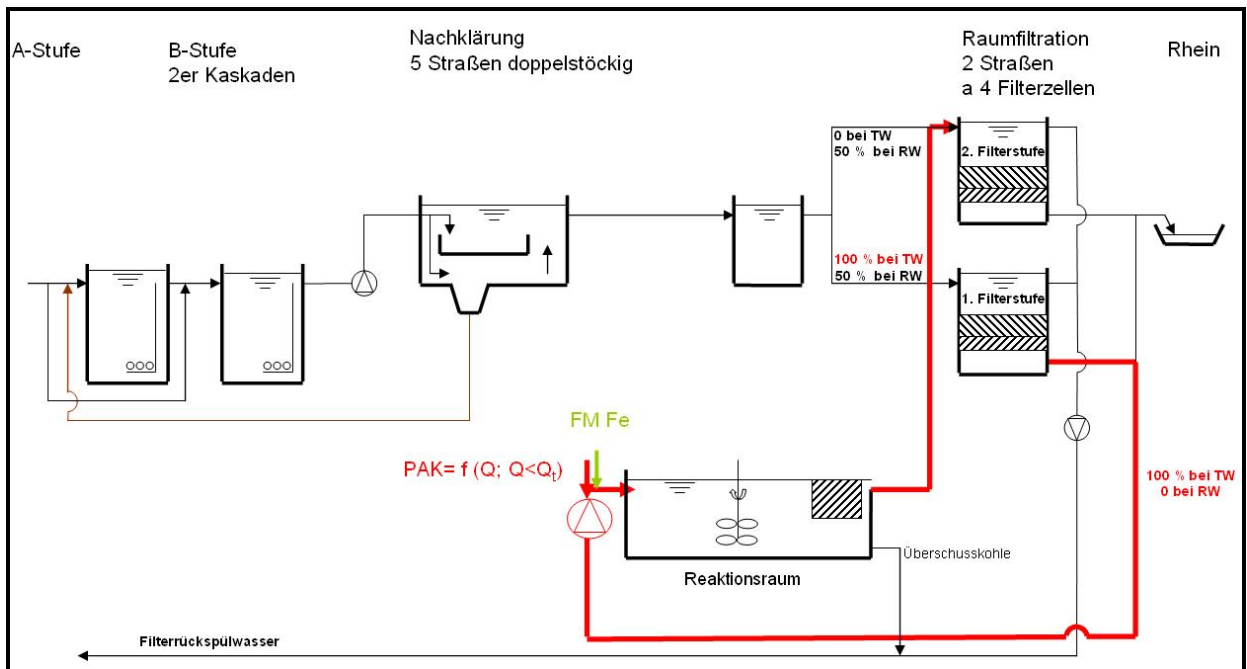
Zur optimalen Ausnutzung der Pulveraktivkohle für die Elimination von Mikroschadstoffen, ist ein weitgehend vorgereinigtes Abwasser von Vorteil und eine ausreichende Kontaktzeit notwendig. Auf Anregung von ISN wurde die Kombination der oben vorgestellten verfahrenstechnischen Varianten 4 und 2 in die Variantendiskussion aufgenommen. Die Variante 4a vereint die verfahrenstechnischen Vorteile der Variante 4 bei niedrigen Investitionskosten.

Zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der vorhandenen Nachklärung wird auch für diese Variante empfohlen, durch Einbauten die Zulaufsituation der Nachklärung zu verbessern und einen Flockungsraum zu schaffen.

Durch Einbeziehung eines neuen ausreichend dimensionierten Reaktionsraum 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.

Die Filteranlage hat für die nördlichen und südlichen Filterkammern ein getrenntes Zulaufgerinne. Der Zulauf der Filteranlage kann somit getrennt auf die nördlichen bzw. südlichen Filterkammern geleitet werden. Durch Einbau einer Trennwand im Ablaufkanal kann auch der Ablauf separiert werden und die Filteranlage in eine 1. und 2. Filterstufe, die nacheinander durchströmt werden können, aufgliedert werden. Für die Mikroschadstoffelimination wird das Zulaufgerinne zu den nördlichen Filterkammern abgesperrt und nur die 1. Filterstufe (südliche Filterkammern) mit dem Ablauf der Nachklärung beschickt. Die verfahrenstechnische Einbindung zeigt Abbildung 5-18.



**Abbildung 5-18: PAK-Dosierung nach dem Filter in neuem Reaktionsraum**



Das Filtrat der 1. Filterstufe wird aus dem getrennten Ablaufkanal mit Rohrpropellerpumpen in das neu zubauende Reaktionsbecken gefördert. Die Fördermenge wird ca. 5% höher eingestellt als die aktuelle Zulaufwassermenge, um die Fließrichtung zum Kontaktbecken und nicht zum Ablauf zu richten. Wird die Trockenwettermenge überschritten, wird der Förderung zum Reaktionsbecken eingestellt und das Filtrat der 1. Filterstufe fließt dem Vorfluter direkt zu.

Der neue Reaktionsraum wird westlich an die Filteranlage anschließend neben dem Werkstattgebäude positioniert. Das Volumen wird in zwei Kammern à 660 m<sup>3</sup> aufgeteilt, um den vorhandenen Zugang zum Rohrkanal weiter zu erhalten. Das Neubauvolumen ist deutlich größer als bei der Variante 4, da der Überstau der 1. Filterstufe nicht mehr als Reaktionsraum zur Verfügung steht.

Die Pulveraktivkohle und das Flockungshilfsmittel wird in den Förderstrom der Rohrpropellerpumpe dosiert. Die Reaktionsräume werden mit Hyperboloid-Rührern zur energieoptimierten Umwälzung ausgerüstet.

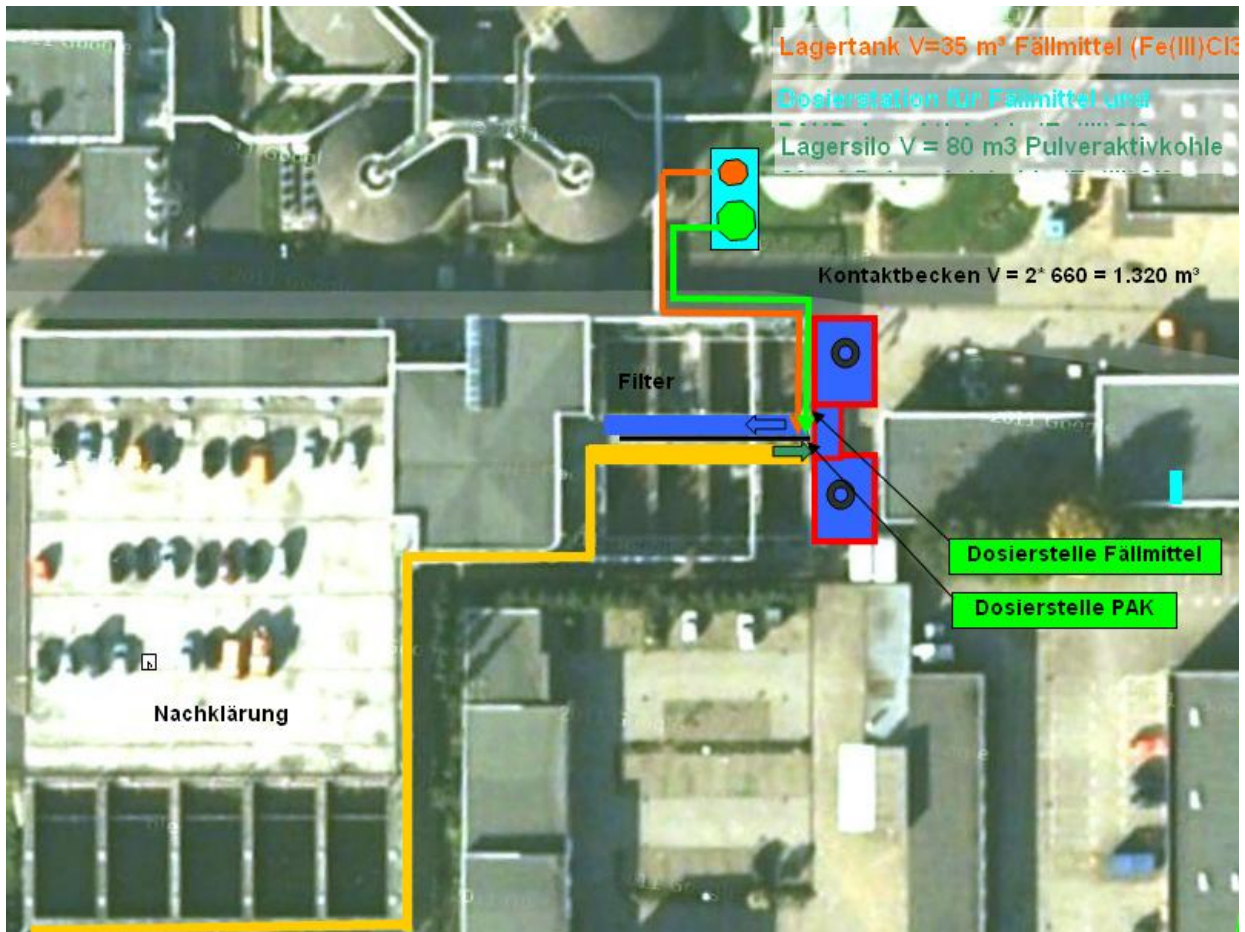
Durch die längere Reaktionszeit wird die Pulveraktivkohle besser genutzt als bei direkter Dosierung in die „fließende Welle“ auf den Filter (vgl. Variante 1). Zur Erhöhung des Kohlealters werden in den Ablauf der Reaktionsbecken Lamellenabscheider eingesetzt, um eine höhere Konzentration und damit bessere Beladung der Kohle zu ermöglichen. Hierdurch erfolgt ein teilweiser Rückhalt der Kohle vor der 2. Filterstufe und damit eine Reduzierung der Feststoffbeladung. Aus dem Reaktionsraum wird ein Teil der beladenen Kohle als Überschussskohle abgezogen und der A-Stufe gemeinsam mit dem Filtrerrückspülwasser über den vorhandenen Rohrleitungsweg zugeführt.

Der Ablauf des Reaktionsraumes wird der 2. Filterstufe zur Rückhaltung der Pulveraktivkohle über das geteilte Zulaufgerinne zugeführt. Das Gerinne zur 2. Filterstufe wird zur Vermeidung von Ablagerungen belüftet.

Aufgrund der reduzierten Hintergrundbelastung und der Kontaktzeit gehen wir bei dieser Variante für den Wirtschaftlichkeitsvergleich von einer Dosierrate der „frischen“ Kohle für die Spurenstoffelimination von 12 mg PAK/l aus.

Übersteigt der Zulauf zur Kläranlage den Trockenwetterzufluss, wird die Dosierung von Pulveraktivkohle und die Fahrweise über das Reaktionsbecken eingestellt, das Gerinne zur nördlichen 2. Filterstufe aufgeschiebert und die Filteranlage ausschließlich zur Suspensaentnahme genutzt.

In der Abbildung 5-18 ist das Prinzipschema und die Anordnung der Anlagen im Lageplan in Abbildung 5-19 dargestellt.



**Abbildung 5-19: Lageplan Filter – PAK Dosierung in neuem Kontaktbecken - Filter**

Die Adsorptionsstufe ist in gleicher Weise aufgebaut wie für Variante 2 in Kapitel 5.3 beschrieben. Der Reaktionsraum wird analog zur KA Ulm-Steinhöhle unverändert auf eine Aufenthaltszeit von 0,75 h dimensioniert. Folgende Kenngrößen ändern sich gegenüber der Variante 2 (PAK-Dosierung vor dem Filter) bei der Variante 4a (Dosierung nach dem Filter):

**PAK-Dosierung** im Zulauf des Kontaktbeckens (Dosierrate 12 mg PAK/l)

- $12 \text{ g PAK /m}^3 * 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 24 \text{ h/d} = 705 \text{ kg PAK/d}$

Flockungsmitteldosierung mit Eisen(III)Chlorid (gewählt 0,15 g Fe/gPAK)

- $705 \text{ kg PAK/d} * 0,15 \text{ kg Fe/kg PAK} = 107 \text{ kg Fe/d}$

- $107 \text{ kg Fe/d} * 2,5 \text{ kg TS/kg Fe} = \underline{267 \text{ kg TS/d}}$

Schlammanfall pro Tag insgesamt: 1.072 kg TS/d

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

$30\% * 1.072 \text{ kg TS/d} = -322 \text{ kg TS/d}$

Feststoffbeladung der 2. Filterstufe bei Trockenwetter 750 kg TS/d

Raumbelastung der 2. Filterstufe (bei Trockenwetter):  $750 \text{ kg TS/d} / (220,4 * (0,4 + 1,5)) = 1,8 \text{ kg TS/m}^3\text{d}$

Die empfohlene Raumbelastung von  $2,5 \text{ kgTS/m}^3\text{d}$  wird bei dieser Betriebsweise deutlich unterschritten.

### Nachweis der Reaktionszeit für die PAK-Dosierung im Kontaktbecken

Die hydraulischen Aufenthalts- und Reaktionszeiten in den Reaktionsbereichen Kontaktbecken und Filterüberstau summieren sich bei Trockenwetterzufluss wie folgt:

hydraulische Aufenthaltszeit und Reaktionszeit im gerührten Kontaktbecken beträgt bei Trockenwetter:

- $1320 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 60\text{min}/\text{h} = 32 \text{ min.}$

hydraulische Aufenthaltszeit und Reaktionszeit in der belüfteten Verteilerrinne:

- $50 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 60\text{min}/\text{h} = 1 \text{ min.}$

und im 2,60 m hohen Überstau der 2. Filterstufe ist ein unbelüftetes Reaktionsvolumen von  $500 \text{ m}^3$  vorhanden:

- $500 \text{ m}^3 / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 60\text{min}/\text{h} = 12 \underline{\text{min.}}$

- Hydraulische Aufenthaltszeit insgesamt = 45 min.

Bei dieser Variante werden die Lager- und Dosieranlagen für die Pulveraktivkohle und auch für das Fällmittel ortsnah an den Dosierstellen aufgestellt. Die jeweilige Ausrüstung entspricht vom Aufbau und vom Standort der bereits im Kapitel 5.2 dargestellten Variante 1.

### Pulveraktivkohlelager- und Dosieranlage

Die Pulveraktivkohle wird in einem Silo gelagert, das auch für diese Variante auf eine Mindestvorhaltung von 20 Tagen konzipiert wird. Das erfordert eine Vorhaltevolumen von

- $20 \text{ d} * 646 \text{ kgPAK/d} / 500 \text{ kg/m}^3 = 26 \text{ m}^3$

Die Befüllung des Silos erfolgt pneumatisch über ein Silofahrzeug mit einer Kapazität von  $40 \text{ m}^3$ . Bei einer Schüttdichte von ca.  $500 \text{ kg/m}^3$ , können mit einem Silofahrzeug  $20.000 \text{ kg}$  angeliefert werden. Durch die pneumatische Förderung wird im Silo zunächst eine geringere Lagerungsdichte von ca.  $420 \text{ kg/m}^3$  erreicht. Die Entladung eines Silofahrzeuges erfordert ein freies Silovolumen von

- $20.000 \text{ kg} / 420 \text{ kg/m}^3 = \underline{48 \text{ m}^3}$

- Erforderliche Silokapazität =  $74 \text{ m}^3$

- Gewählte Silokapazität  $75 \text{ m}^3$

Für die Dosierung der Fällmittel ist eine Lager- und Dosiereinrichtung erforderlich. Das Fällmittel  $\text{Fe(III)Cl}_3$  wird mit einem Tankwagen angeliefert und in einem Tank gelagert, der auf eine Vorhaltung

von 20 Tagen dimensioniert wird. Eisen(III)-chlorid hat eine übliche Wirksubstanz von 0,138 kg Fe/kg WS und Dichte von 1.410 kg/m<sup>3</sup>. Das erforderliche Vorhaltevolumen beträgt

- $20 \text{ d} * 97 \text{ kg Fe/d} / 0,138 \text{ kg Fe/kg WS} / 1.410 \text{ kg/m}^3 = 10 \text{ m}^3$
- Die Anlieferung erfolgt mit einem 20 m<sup>3</sup> Fahrzeug = 20 m<sup>3</sup>
- Erforderliche Lagerkapazität = 30 m<sup>3</sup>
- Gewählte Tankgröße = 30 m<sup>3</sup>

### **Kostenannahme:**

Die Investitionskosten für das neue Kontaktbecken sind auf Grund des begrenzten Baufeldes, der aufgelösten Geometrie und der notwendigen Umbaumaßnahmen am Filter spezifisch höher angesetzt worden als bei Variante 2. In der nachfolgenden Tabelle 5-8 sind die gesamten Investitionskosten aufgelistet sowie die Betriebskosten dargestellt.

**Tabelle 5-8: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) bei PAK-Dosierung nach der 1. Filterstufe in einem neuen Reaktionsraum und Abscheidung in der 2. Filterstufe**

| Investitionskosten<br>Variante 4a:            | 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 €         |
| 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 €          |
| <b>Summe</b>                                  |                      |                 |            |             |                |             |              | <b>128.464 €</b> |

| Betriebsmittelkosten                          | Kennwerte              | Betriebsmittelbedarf bei                 |                      |                                  | spezifische Kosten | Kosten pro Tag | Jahreskosten |                  |
|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------|----------------|--------------|------------------|
|                                               |                        | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor<br>50%<br>pro Tag |                    |                |              | 10.722.240 m³/a  |
| PAK                                           | 12 mg/m³               | 29,4 kg/h                                | 705,0 kg/d           | 50%                              | 352,5              | 1,5 €/kg       | 529 €        | 193.000 €        |
| Lösewasser                                    | 0,05 m³/kg PAK         | 1,5 m³/h                                 | 35,3 m³/d            | 50%                              | 17,6               | 1 €/m³         | 18 €         | 6.433 €          |
| 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                                   | 0,0 kW/d             | 100%                             | 0,0                | 0,15 €/kWh     | 0 €          | 0 €              |
| 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        | 4,4 kg/h                                 | 105,8 kg/d           | 50%                              | 52,9               |                |              |                  |
| (Fällmittelmenge)                             | 0,138 kgFe/kgFM        |                                          |                      |                                  | 383,2              | 0,15 €/kg      | 57 €         | 20.978 €         |
| Schlamm Entsorgung                            | 27 %TS                 | 0,3 m³/h                                 | 6,3 m³/d             |                                  | 3,1                | 80 €/m³        | 251 €        | 91.496 €         |
| Pulveraktivkohle                              | 90 % von PAK           | 26,4 kg/h                                | 634,5 kg/d           | 50%                              | 317,3              |                |              |                  |
| Fällschlamm                                   | 10 kgTS/kgFe           | 44,1 kg/h                                | 1.057,5 kg/d         | 50%                              | 528,8              |                |              |                  |
| Summe                                         |                        | 70,5 kg/h                                | 1.692,1 kg/d         |                                  | 846,0              |                |              |                  |
| Energiekosten für zusätzliche Filterspülungen | 25 kWh/Zelle + Spülung | 4,0 Zeller                               | 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 €         |
| <b>Summe</b>                                  |                        |                                          |                      |                                  |                    |                | <b>957 €</b> | <b>348.921 €</b> |

|                                     |                 |                |           |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|
| <b>Jahreskosten</b><br>Variante 4a: | 10.722.240 m³/a | 0,045 € pro m³ | 477.385 € |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|-----------|

**Fazit**

Die Variante 4<sup>a</sup> vereint die optimale Ausnutzung der vorhandenen Anlagenteile wie sie in Variante 4 vorgestellt ist, mit einer vom Investitionsumfang und –volumen günstigen Spurenstoffelimination nach dem verfahrenstechnischen Konzept der Variante 2.

Die Adsorptionskapazität der Aktivkohle kann bis auf den gelösten CSB und die Reststoffe im Ablauf der 1. Filterstufe vollständig für die Mikroschadstoffentfernung genutzt werden. Die Filteranlage wird durch Aufteilung bis zum Trockenwetterzulauf in zwei Filterstufen optimal ausgenutzt. Die (zweite) Filtration bei Trockenwetter führt zu einer Verminderung der AFS und des CSB-Ablaufwertes bei gleichzeitigem Rückhalt der Pulveraktivkohle. Verfahrenstechnisch führt diese Variante zur höchsten Elimination von CSB und einem sehr hohen Spurenstoffelimination.

Das Baufeld für die Errichtung des neuen Reaktionsraumes ist sehr begrenzt und erfordert die Aufteilung in zwei Teilbecken, um den vorhandenen Rohrkeller der Filteranlage weiterhin zu ermöglichen.

Die Betriebskosten sind geringer als bei der Variante 4, da keine Betriebsmittel für die Abscheidung vor der 2. Filterstufe eingesetzt werden; sie sind auch geringer als bei der Variante 2 durch die verminderte Hintergrundbelastung, die eine geringere PAK-Dosiertrate ermöglicht.

Die Rückführung der Überschussskohle bzw. der zurückgehaltenen Kohle über das Filtrerrückspülwasser bringt auch in der A-Stufe eine Verbesserung der Reinigungsleistung und Minderung der Geruchsproblematik.

Die Behandlungskosten sind mit 4,5 Cent (netto) pro m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser sehr günstig.

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

Bezugnehmend auf Kapitel 3.4 stellt der Austausch des Filtermaterials gegen Aktivkohle eine mögliche Variante dar, die ihren wesentlichen Vorteil in geringen Umbauarbeiten hat. Von großer Bedeutung ist hierbei ein möglichst feststofffreier Zulauf und eine niedrige CSB Belastung, damit die Adsorptionskapazität der A-Kohle für die Spurenstoffentnahme genutzt werden kann.

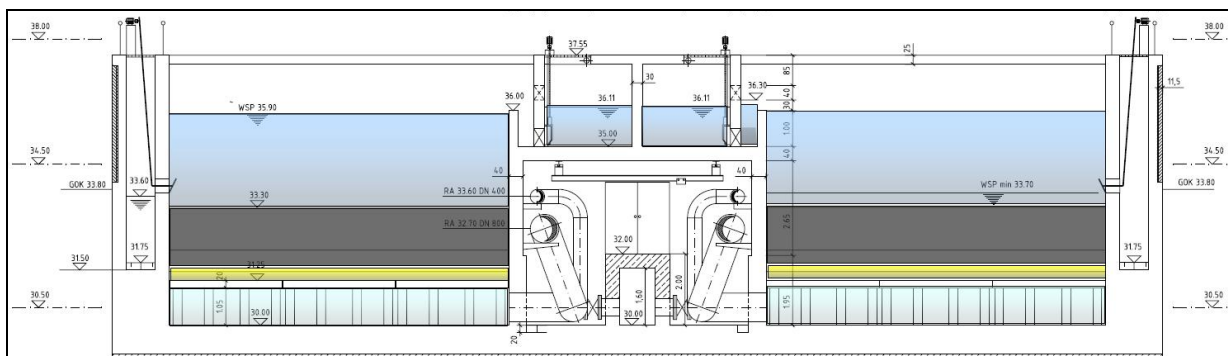
Da großtechnische Erfahrungen im Abwasserbereich derzeit in Deutschland nur bei einzelnen umgerüsteten Filterzellen der Kläranlagen Obere Lutter und Düren in Erprobungsstadium vorliegen, ist eine wie unter Kapitel 3.4 beschriebene stufenweise Vorgehensweise zur Realisierung über Versuche im Labor und der Großtechnik zu wählen.

Die körnige Kohle mit typischen Korngrößen zwischen 0,4 und 3,0 mm liegt auf einer Stützkonstruktion als Festbett auf. Im Filter der Kläranlage Neuss Ost könne die vorhandenen Stütz- und Verteilschichten mit einer Gesamthöhe von 30 cm im Filter verbleiben. Die 40 cm starke Sandschicht und die 150 cm hohe Anthrazitschicht werden ausgebaut und durch granuliert Aktivkohle ersetzt. Aufgrund des geringeren spezifischen Gewichtes der GAK dehnt sich das Filterbett um bis zu 25% aus. Das ist deutlich mehr als bei dem vorhandenen Filtermaterial. Um ein Abtreiben der GAK beim Spülen zu vermeiden, wird die mögliche Filterbetthöhe um die Ausdehnung reduziert.

GAK-Filtrationsschichthöhe:

$$\blacksquare (40 \text{ cm} + 150 \text{ cm}) / (1 + 25\%) = 150 \text{ cm}$$

In Abbildung 5-20 wird der mögliche Aufbau der Filterschichten dargestellt.



**Abbildung 5-20: Filteraufbau mit GAK-Filterschicht**

Eine Vergrößerung der GAK-Filterschicht ist nach einem Umbau des Spülwasserabzuges des Filters zu Lasten des Flockungsraumes möglich. Dazu ist eine Höherlegung des Spülwasserabzuges bzw. der – klappen erforderlich. Entweder wird die Klappe auf einem höheren Niveau eingebaut oder die Zulaufschwelle wird durch Einbauten erhöht. Im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass der Filter konstruktiv nicht verändert wird.

Das geringere spezifische Gewicht ist auch bei der Rückspülung zu beachten. Im Trinkwasserbereich reichen Filtergeschwindigkeiten von 25 bis 35 m/h aus. Die aktuelle max. Spülgeschwindigkeit von 70 m/h ist dann auf max. 40 bis 50 m/h in Abhängigkeit von der Dichte und Körnung zu begrenzen.

Auf der Kläranlage Obere Lutter ist eine granuliert Aktivkohle mit einem geringen spezifischen Gewicht von 300 g/l im Einsatz. Die Spülgeschwindigkeit wurde ist im Rahmen von Versuchen auf 27 m/h redu-

ziert, um eine ausreichende Fluidisierung und damit einen ausreichenden Feststoffaustrag zu erreichen und gleichzeitig zu vermeiden, dass Aktivkohle bei der Spülung aus dem Filter ausgetragen wird [42]. Das Spülregime für den Neusser Filter, insbesondere die Spülgeschwindigkeiten für Luft und Wasser-spülung sowie die Pausenzeiten, ist durch Versuche mit der ausgewählten Kohle zu optimieren. Die gesamte Spüldauer wird gegenüber dem jetzigen Programm verlängert und die Spülhäufigkeit gesteigert.

Die Spülhäufigkeit für den Filter der Oberen Lutter wird mit 240 Bettvolumina angegeben. Bei einer geplanten Filtergeschwindigkeit von 10 m/h ist eine Spülung nach 24 h erforderlich [42]. Die durchschnittlich Belastung durch den Feststoffabtrieb aus der Nachklärung KA Obere Lutter ist nicht dargestellt, insofern ist ein Übertragung auf die Kläranlage Neuss Ost nicht möglich. Bei ähnlicher Filtergeschwindigkeit ist ein kürzeres Intervall auf Grund der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Nachklärung zu erwarten.

Eine Verschlechterung der Stickstoffablaufwerte ist für die Kläranlage Neuss nicht zu erwarten. Nach Umrüstung der BioFor-Filterkammer der Kläranlage Obere Lutter, wurde festgestellt, dass der Stickstoffabbau im Filter jetzt durch den Sauerstoff limitiert ist und es zu Überschreitungen der Ablaufwerte kommen kann [42].

Aus der Trinkwasseraufbereitung werden zur Elimination von Spurenstoffen Kontaktzeiten von 20 bis 60 min. realisiert. Die Kontaktzeit bezieht sich auf das leere Filterbett.

Für den Filter der Kläranlage Neuss Ost errechnet sich eine Kontaktzeit von:

$$\blacksquare \quad 440,8 \text{ m}^2 * 1,50 \text{ m} / 2.448 \text{ m}^3/\text{h} * 60 \text{ min./h} = 16 \text{ min.},$$

welche die Praxiswerte im max. Trockenwetterfall unterschreitet.

Eine weitere wesentliche Bemessungsgröße kann derzeit nur grob eingegrenzt werden und zwar die Filterstandzeit, die bezogen auf Spurenstoffe mit ca. 20.000 Filterbettvolumina diskutiert wird, aber noch nicht ausreichend belegt ist. Der Einfluss der Hintergrundbelastung, ist für die Standzeit noch nicht hinreichend geklärt.

Mit der Annahme von 20.000 Filterbettvolumina und einer Jahreswassermenge von 10,5 Mio. m<sup>3</sup> ergibt sich eine Laufzeit/Nutzungsdauer der granulierten Aktivkohle von

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

Nach dieser Zeit wäre die verbrauchte Aktivkohle zu reaktivieren und gegen neue auszutauschen.

Aufgrund des Rest-CSB-Gehaltes im Ablauf der Nachklärung kommt es zu einer CSB-Adsorption in Konkurrenz zur Spurenstoffelimination, die die Nutzungsdauer reduzieren kann. Für CSB-Adsorption sind Standzeiten von 15.000 Filterbettvolumina bekannt.

Der GAK-Filter der Kläranlage Obere Lutter hat im Versuchszeitraum von 8 Monaten bisher 5.000 Bettvolumina erreicht, ohne dass ein Durchbruch festgestellt wurde. Es steht eine Filterlaufzeit von bis zu 15 Monaten in Aussicht bevor der CSB vollständig durchbricht [42]. Für den Filter Kläranlage Neuss Ost wird von einer gewählten Laufzeit und Nutzungsdauer der granulierten Aktivkohle von einem Jahr ausgegangen.

Die maßgeblichen Arbeiten die am Filter durchzuführen sind, betreffen zum wesentlichen Teil die Steuerung und den Betrieb der Anlage und ggf. Messungen zur Steuerung und Überwachung.



**Kostenannahme:**

Die Investitionskosten und Betriebskosten Variante 5 können der Tabelle 5-9 entnommen werden.

**Tabelle 5-9: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten mit granulierter Aktivkohle im Filter**

| Investitionskosten<br>Variante 5:          |           | 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 €        |
| 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          | 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          | 5.026 €         |
| Elektro- und MSR-Technik                   | 20.000 €  | 30                   | ET              | 15         | 3,0%        | 0,051019       | 15          | 1.675 €         |
| <b>Summe</b>                               |           | <b>990.000 €</b>     |                 |            |             |                |             | <b>53.948 €</b> |

| Betriebsmittelkosten                         | Kennwerte                                                                            | Betriebsmittelbedarf bei                                |                      |                                  | spezifische Kosten             | Kosten pro Tag | Jahreskosten        |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------|
|                                              |                                                                                      | Trockenwetter<br>2448 m³/h<br>pro Stunde                | pro TW-Tag<br>24 h/d | mit Lastfaktor<br>50%<br>pro Tag |                                |                |                     |
| GAK                                          | Standzeit<br>spezifisches Gewicht<br>GAK-Volumen je Filterzelle<br>Aufwand Austausch | 1 Jahre<br>0,5 t/m³<br>83 m³/Zelle<br>8 Zellen pro Jahr |                      |                                  | 1500 €/t                       | 1.364 €        | 498.000 €           |
| Energiekosten für längere<br>Filterspülungen | 5 kWh/Zelle<br>* Spülung                                                             | 8,0 Zellen                                              | 40,0 kW/d            | 100%                             | 5000 €/Austausch<br>0,15 €/kWh | 6 €            | 40.000 €<br>2.190 € |
| Personalkosten                               | 16 h/pro<br>Filterzelle                                                              | 8 Zellen werden pro gewechselt                          |                      |                                  | 40 €/h                         | 14 €           | 5.120 €             |
| <b>Summe</b>                                 |                                                                                      |                                                         |                      |                                  |                                | 1.385 €        | <b>545.310 €</b>    |

| Jahreskosten<br>Variante 5: | 10.722.240 m³/a | 0,056 € pro m³ | 599.258 € |
|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------|
|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------|

**Fazit**

Die Variante 5: „Filtermaterialaustausch gegen granulierte Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter“ be-  
steht zunächst durch die einfache Umsetzung und komplette Nutzung der vorhandenen Bauwerke. Das  
ist besonders für die Kläranlage Neuss Ost bemerkenswert, da die vorhandenen Platzverhältnisse nur  
sehr eingeschränkte bauliche Erweiterungen zulassen.

Die grundsätzliche Leistungsfähigkeit von GAK-Filtern ist aus der Trinkwasseraufbereitung bekannt, der  
Einsatz in der Abwasserreinigung ist bisher noch nicht umfassend erfolgt. Die Erfahrungen über Stand-  
zeit und die Nutzungsdauer in der Abwasserreinigung sind punktuell und können (noch) nicht von Anla-  
ge zu Anlage bzw. Kohle zu Kohle übertragen werden.

Erfahrungen des Suspensa-Rückhalts der GAK im Vergleich mit dem klassischen Filtermaterial – und -  
aufbau sind ebenfalls noch nicht umfassend vorhanden. Sowohl die vorhandene Belastung des Filters

der Kläranlage Neuss Ost mit abfiltrierbaren Stoffen und auch der CSB-Ablauf ist im Vergleich mit derzeit betriebenen Versuchsfiltern als hoch einzuordnen

Die Betriebskosten der GAK-Filtration werden aber ausschließlich durch den Austausch der beladenen Kohle dominiert. Eine Varianz in der Standzeit hat damit erheblichen Einfluss auf die spezifischen Kosten der Spurenstoffelimination.

Die ermittelten spezifischen Jahreskosten von 5,6 Cent/m<sup>3</sup> sind somit mit höheren Unsicherheiten behaftet als bei den anderen untersuchten Varianten. Eine Reduzierung der Standzeit von einem Jahr auf ein dreiviertel Jahr würde diese Variante zur teuersten machen. Die spezifischen Dichten der Kohlen haben ebenfalls einen großen Einfluss auf die Kosten, d. h. je leichter die Kohle umso geringer die Kosten. Im Projekt Obere Lutter wurde eine Kohle mit einem spezifischen Gewicht von 0,3 t/m<sup>3</sup> eingesetzt, im Rahmen der Studie wurde mit 0,5 t/m<sup>3</sup> gerechnet. Die einsetzbaren Kohlen müssen in Vorversuchen bestimmt werden und anschließend ggf. die Kostenabschätzungen korrigiert werden.

## 6 Verfahrensempfehlung

### 6.1 Gegenüberstellung der Kostenabschätzungen der Varianten

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

**Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der Investitions-, Betriebs- Kapital- und Jahreskosten sowie spezifische Jahreskosten bezogen auf die behandelte Schmutzwassermenge und Frischwassermenge der betrachteten Varianten**

| Variante                                                                                                       | V 1<br>Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter | V 2<br>Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum - Filtration | V 3<br>Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) - Filtration | V 4<br>Ablauf der Nachklärung - Filtration<br>1. Filterstufe - PAK Dosierung Reaktionsraum und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) - Filtration<br>2. Filterstufe | V 4a<br>Ablauf der Nachklärung - Filtration<br>1. Filterstufe - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum - Filtration<br>2. Filterstufe | V 5<br>Filtermaterial-austausch gegen granulierten Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Investitionskosten (netto)</b>                                                                              | 720.000 €<br>100%                                                   | 1.250.000 €<br>174%                                                               | 4.270.000 €<br>593%                                                                                                         | 5.170.000 €<br>718%                                                                                                                                                          | 2.120.000 €<br>294%                                                                                                                 | 990.000 €<br>138%                                                                        |
| <b>Kapitalkosten</b>                                                                                           | 50.488 €<br>10%                                                     | 81.785 €<br>18%                                                                   | 261.592 €<br>38%                                                                                                            | 344.509 €<br>46%                                                                                                                                                             | 128.464 €<br>27%                                                                                                                    | 53.948 €<br>9%                                                                           |
| <b>Betriebskosten</b>                                                                                          | 452.604 €<br>90%                                                    | 378.308 €<br>82%                                                                  | 427.637 €<br>62%                                                                                                            | 406.554 €<br>54%                                                                                                                                                             | 348.921 €<br>73%                                                                                                                    | 545.310 €<br>91%                                                                         |
| <b>Jahreskosten (netto)</b>                                                                                    | 503.091 €<br>109%                                                   | 460.093 €<br>100%                                                                 | 689.229 €<br>150%                                                                                                           | 751.063 €<br>163%                                                                                                                                                            | 477.385 €<br>104%                                                                                                                   | 599.258 €<br>130%                                                                        |
| <b>Spezifische Jahreskosten</b><br>10.722.240                                                                  | 0,047 €/m <sup>3</sup>                                              | 0,043 €/m <sup>3</sup>                                                            | 0,064 €/m <sup>3</sup>                                                                                                      | 0,070 €/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                       | 0,045 €/m <sup>3</sup>                                                                                                              | 0,056 €/m <sup>3</sup>                                                                   |
| <b>Anpassung der Abwassergebühren</b><br>8.684.533<br><small>(Bezug: Wasserverbrauch Stadt Neuss 2009)</small> | 0,058 €/m <sup>3</sup>                                              | 0,053 €/m <sup>3</sup>                                                            | 0,079 €/m <sup>3</sup>                                                                                                      | 0,086 €/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                       | 0,055 €/m <sup>3</sup>                                                                                                              | 0,069 €/m <sup>3</sup>                                                                   |

Bei der Ermittlung der spezifischen Kosten wurde zum einen als Bezugsgröße die zu behandelnde Abwassermenge in Höhe von ca. 10,7 Mio. m<sup>3</sup>/a und zum anderen die Frischwassermenge (8,7 Mio. m<sup>3</sup>/a, Stand 2009) angesetzt, die einen Rückschluss auf eine Anpassung der Abwassergebühren ermöglicht.

Da hier ein vorhandener Filter genutzt werden kann ergeben sich für die unterschiedlichen Verfahrenen Mehrkosten der zusätzlichen Verfahrensstufe in Höhe von 0,04 bis 0,07 €/je m<sup>3</sup> behandelten Abwassers bzw. 0,05 bis 0,09 €/je m<sup>3</sup> Frischwasser.

Zum Vergleich sind in Tabelle 6-2 aus [33] veröffentlichte Kosten für derartige Anlagen zusammengestellt.

Die Bandbreite dieser Literaturzusammenstellung (ohne KA Schwerte, da nicht vergleichbar) von 0,04 bis 0,09 €/m<sup>3</sup> Schmutzwasser bzw. 0,24 €/m<sup>3</sup> Frischwasser zeigt, dass die Kostenansätze der Machbarkeitsstudie sich im Rahmen der Literaturwerte bewegen. Die Kosten der Kläranlage Schwerte sind nicht vergleichbar, da hier die Kosten für den Kombinationsbetrieb „Aktivkohle“ und „Ozon“ enthalten sind.

**Tabelle 6-2: Kostenvergleich von Spurenstoffprojekten (verändert und Auszüge aus [33])**

| Kläranlage                 | EW      | Spez. Jahreskosten bezogen auf                    |                                                  | Status quo<br>(Stand 05/2011) |
|----------------------------|---------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|
|                            |         | Schmutzwasser<br>(€/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> | Frischwasser<br>(€/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> |                               |
| KA Mannheim                | 145.000 | 0,05                                              | 0,07                                             | In Betrieb                    |
| KW Steinhäule (Ulm)        | 400.000 | 0,08 (0,02) <sup>2,3</sup>                        | 0,19 (0,13) <sup>2,3</sup>                       | Ausschreibung                 |
| KA Böblingen-Sindelfingen  | 250.000 | 0,03 (0,03) <sup>2</sup>                          | 0,07 (0,06) <sup>2</sup>                         | Baubeginn                     |
| KA Stockacher Aach         | 48.000  | 0,07                                              | 0,14                                             | Baubeginn                     |
| KA Kressbronn- Langenargen | 30.000  | 0,08                                              | 0,16                                             | Baubeginn                     |
| KA Schwerte                | 50.000  | 0,13                                              | 0,34                                             | In Betrieb                    |
| KA Lage                    | 80.000  | 0,09 (0,08) <sup>2</sup>                          | 0,24 (0,22) <sup>2</sup>                         | Vorplanung                    |

<sup>(1)</sup> Ohne Berücksichtigung der Förderung der Investkosten und Reduzierung der Abwasserabgabe

<sup>(2)</sup> Werte in Klammern unter Berücksichtigung der Reduzierung der Abwasserabgabe Werte in Klammern unter Berücksichtigung der Reduzierung der Abwasserabgabe

<sup>(3)</sup> Unter Berücksichtigung der Förderung der Investitionskosten

## 6.2 Technische Verfahrensempfehlung

Zunächst sind einige Grundvoraussetzungen zur Anlagenerrichtung darzustellen, die unabhängig von den Varianten zu sehen sind:

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, hinzu kommt der größere Platzbedarf dieser Anlage gegenüber der Anlage zur Aktivkohleadsorption.
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 A-Kohle Nutzung und daher zwingend erforderlich.
5. Aufgrund einer hohen Belastung der Filtration sind die Belastungen des Filters durch zusätzliche Feststoffe gering zu halten.
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 % 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 (PO<sub>4</sub>-P) und Ammonium-Stickstoff (NH<sub>4</sub>-N).

Auf Basis der Kostenermittlungen sowie betrieblicher und baulicher Aspekte wurden die unterschiedlichen Verfahren bewertet. Bei der Ermittlung der Investitionskosten wurden zunächst 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 beengte 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 sowie die Beeinflussung des Filterbetriebs durch zusätzliche Feststofffrachten aus der Aktivkohle.

Für Bewertungsparameter wurde ein Bewertungssystem in Anlehnung an Schulnoten vergeben und dieses mit Punkten belegt. Die Note 1 entspricht 15 Punkten, die Note 2 entsprechend 10 Punkten und die Note 3 entspricht 5 Punkten. Die kleinste Teilung sind Halbnotenschritte (2,5 Punkte). Die einzelnen Bewertungskriterien wurden gewichtet.

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

Das Verfahren des Austausches des Sand-Filterbettes gegen granuliert Aktivkohle (Variante 5) verursacht die geringsten baulichen Aufwendungen, birgt aber zurzeit das größte verfahrenstechnische Risiko aufgrund der hohen Hintergrundbelastung des Abwassers hinsichtlich CSB und abfiltrierbarer Stoffe.

Das Verfahren der Dosierung direkt in den Ablauf der Anlage (Variante 1) ist zwar technisch das einfachste Verfahren, hat aber die höchsten Kosten an dem Verbrauchsstoff Aktivkohle und die schlechteste Rückhalteleistung. Außerdem führt der Betrieb dieses Verfahren den Filter aufgrund der erhöhten Feststofffracht an seine maximale Leistungsfähigkeit, was zu betriebstechnischen Problemen bei außerordentlichem Schlammabtrieb führen kann.

In der nachfolgenden Tabelle 6-3 werden die unterschiedlichen Varianten relativ zu einander bewertet<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Punktwertung: größte Punktzahl = beste Bewertung

Tabelle 6-3: Bewertung der Varianten

| Variante                                                                                 | Wichtung [%] | V 1                  |            | V 2                  |            | V 3                  |            | V 4                         |            | V 4a                           |            | V 5                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|------------|----------------------|------------|----------------------|------------|-----------------------------|------------|--------------------------------|------------|----------------------|------------|
|                                                                                          |              | Punkte               | Wertung    | Punkte               | Wertung    | Punkte               | Wertung    | Punkte                      | Wertung    | Punkte                         | Wertung    | Punkte               | Wertung    |
| Investitionskosten                                                                       |              | 720.000 €            |            | 1.250.000 €          |            | 4.270.000 €          |            | 5.170.000 €                 |            | 2.120.000 €                    |            | 990.000 €            |            |
| Rest-Investitionskosten bei 70% Förderung                                                |              | 216.000 €            |            | 375.000 €            |            | 1.281.000 €          |            | 1.551.000 €                 |            | 636.000 €                      |            | 297.000 €            |            |
| Kapitalkosten                                                                            | 15%          | 50.488 €             | 10,0 1,5   | 81.785 €             | 6,2 0,9    | 261.592 €            | 1,9 0,3    | 344.509 €                   | 1,5 0,2    | 128.464 €                      | 3,9 0,6    | 53.948 €             | 9,4 1,4    |
| Betriebskosten                                                                           | 35%          | 452.604 €            | 7,7 2,7    | 378.308 €            | 9,2 3,2    | 427.637 €            | 8,2 2,9    | 406.554 €                   | 8,6 3,0    | 348.921 €                      | 10,0 3,5   | 545.310 €            | 6,4 2,2    |
| <b>Wertungspunkte Monetär (gerundet)</b>                                                 | <b>50%</b>   |                      | <b>4,2</b> |                      | <b>4,2</b> |                      | <b>3,1</b> |                             | <b>3,2</b> |                                | <b>4,1</b> |                      | <b>3,6</b> |
| Eliminationsleistung Spurenstoffe (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))                  | 15%          | mittel               | 5,0 0,8    | noch gut             | 7,5 1,1    | 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%          | mittel               | 5,0 0,5    | gut                  | 10,0 1,0   | hoch                 | 12,5 1,3   | sehr hoch                   | 15,0 1,5   | hoch                           | 12,5 1,3   | noch gut             | 7,5 0,8    |
| Beeinflussung des Filtrationsbetriebs (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))              | 10%          | hoch                 | 7,5 0,8    | hoch                 | 7,5 0,8    | gering               | 10,0 1,0   | gering                      | 10,0 1,0   | hoch                           | 7,5 0,8    | sehr hoch            | 5,0 0,5    |
| Betriebs- und Wartungsaufwand (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))                      | 5%           | gering               | 12,5 0,6   | mittel               | 10,0 0,5   | mittel bis hoch      | 7,5 0,4    | mittel bis hoch             | 7,5 0,4    | mittel                         | 10,0 0,5   | hoch                 | 5,0 0,3    |
| Stand der Technik - Wissenschaft Referenzlage (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))      | 5%           | in Versuchen erprobt | 7,5 0,4    | in Versuchen erprobt | 7,5 0,4    | größtenteils erprobt | 15,0 0,8   | teilw. größtenteils erprobt | 12,5 0,6   | teilweise in Versuchen erprobt | 7,5 0,4    | in Versuchen erprobt | 7,5 0,4    |
| Integration in die K.A. Neuss Ost (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))                  | 5%           | einfach              | 15,0 0,8   | gut                  | 12,5 0,6   | gut                  | 12,5 0,6   | mittel                      | 10,0 0,5   | mittel                         | 10,0 0,5   | einfach              | 15,0 0,8   |
| <b>Wertungspunkte Technik (gerundet)</b>                                                 | <b>50%</b>   |                      | <b>3,8</b> |                      | <b>4,4</b> |                      | <b>5,9</b> |                             | <b>6,3</b> |                                | <b>4,9</b> |                      | <b>4,1</b> |
| <b>Gesamtpunkte (gerundet)</b>                                                           | <b>100%</b>  |                      | <b>7,9</b> |                      | <b>8,5</b> |                      | <b>9,0</b> |                             | <b>9,5</b> |                                | <b>9,0</b> |                      | <b>7,8</b> |

Die Variante 2 bringt hier eine bessere Ausnutzung der Aktivkohle durch das separate Kontaktbecken, der Filter wird aber dennoch mit einer höheren Feststofffracht beschickt, allerdings niedriger als bei Variante 1.

Die Varianten 3 und 4 führen zu keiner zusätzlichen und wenn überhaupt nur sehr geringen Mehrbelastung des Filters, da die PAK in einer separatem 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 als Kombination aus Variante 2 und 4 bietet zum einen bessere Ausnutzung der Aktivkohle, führt aber zu einer höheren Feststoffbelastung des Filters.

Es zeigt sich, dass die Verfahren, die ein weitgehend feststofffreies Abwasser zur A-Kohle-Adsorption führen (Varianten 3, 4 und 4a, 5), die höchsten Eliminationsleistung bzgl. der Mikroschadstoffe und auch die geringsten Dosiermengen aufweisen.

Als Ergebnis der Ausführungen der Machbarkeitsstudie und damit als Empfehlung wird gegeben, eine Anlage entsprechend der Variante V3, V4a oder V4 zu errichten. Trotz höherer Investitionskosten sind hier die anlagenbetrieblichen Aspekte, insbesondere Betriebssicherheit der Filtration und Einfluss der Adsorption auf die Filtration, am geringsten. Denkbar ist auch der Einsatz der Variante 5, hier sind jedoch im Vorfeld umfangreiche Voruntersuchungen hinsichtlich der Beladung der granulierten Aktivkohle, insbesondere mit der CSB-Abwasserfracht der Kläranlage zu untersuchen.

Die Variante 4 hat hier die höchste Bewertung bekommen. Diese Variante verursacht außerdem die geringsten Eingriffe in die bestehende Filtration, da hier die Aktivkohle zum größten Teil in dem Kombibauwerk der Adsorptionsanlage zurückgehalten wird und der Filter hier lediglich eine „Polizeifunktion“ übernimmt. Gleichzeitig sind bei dieser Variante mit die größten Neubauarbeiten zu tätigen. Ein weiterer Vorteil dieser technischen Lösung sind die vorhandenen Betriebserfahrungen, die für den ACTIFLO vorliegen und der das Kernstück der Adsorptionsstufe darstellt. Für die anderen betrachteten Varianten sind die Betriebserfahrungen großtechnischer Anlagen als nicht so umfangreich zu bewerten.

Aufgrund der Aspekte Betriebserfahrungen, Beeinflussung der Filteranlage und Ausnutzung der Aktivkohle stellt die Variante 4 die Vorzugslösung dar.

### **6.3 Berücksichtigung der Landesförderung und der Reduzierung der Abwasserabgabe**

In den Kostenbetrachtungen der Machbarkeitsstudie Kapitel 6.1 wurden, um ein unverzerrtes Bild der Kosten zu erhalten, zunächst keine möglichen Zuschüsse bzw. Förderdarlehen des Landes NRW berücksichtigt. Außerdem wurden Kostenreduzierungen berücksichtigt, die durch eine Senkung der Abwasserabgabe aufgrund einer deutlichen Absenkung des CSB-Ablaufwertes sowie der Ablaufwerte der Nährstoffparameter begründet sind. Da diese Konzentrationssenkungen abwasserabgaberelevanter Parameter nur abgeschätzt werden kann, wurde diese getrennte Betrachtung vorgenommen.

Aufgrund der derzeitigen Ablaufsituation der Nachklärung kann der Filter mit erhöhten Feststofffrachten beschickt werden, die allerdings problemlos zurückgehalten werden. Für die Installation einer Aktivkohleadsorptionsstufe stellen diese Feststoffe jedoch eine Konkurrenz zur Mikroschadstoffelimination und damit zur weitergehenden CSB Elimination dar. Dies wurde in den Varianten insbesondere durch erhöhte Aktivkohlezugaben, verminderte Rückhalte an Spurenstoffen und gelöstem CSB, dargestellt in Tabel-

le 6-4, berücksichtigt. So ist nur mit den Varianten V3, V4 und V4a sowie V5 eine deutliche CSB Reduzierung möglich, die sich kostensenkend auf die Betriebskosten der Anlage auswirkt. Die spezifischen Kosten können hierdurch um 1 bis 4 €-Cent je m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser reduziert werden (vgl. Tabelle 6-1 und Tabelle 6-4).

Durch die finanzielle Förderung der Investitionen des Landes NRW in Höhe von 70 % der Herstellungskosten für die Erstinvestition können, je nach Umfang der Investitionsmaßnahmen der einzelnen Varianten, die Jahreskosten gegenüber einer alleinigen Kostenübernahme durch den Anlagenbetreiber in Abhängigkeit der Varianten um 25.000 bis 200.000 €/a reduziert werden (vgl. Tabelle 6-1 und Tabelle 6-4).

Die spezifischen Behandlungskosten der einzelnen Varianten liegen zwischen 0,04 bis 0,07 €/je m<sup>3</sup> - behandeltes Abwasser bzw. 0,05 bis 0,09 €/je m<sup>3</sup> Frischwasser (siehe Kapitel 6.1). Durch Berücksichtigung der Förderung und Reduzierung der Kosten für die Abwasserabgabe sinken die spezifischen Kosten auf 0,028 bis 0,035 €/je m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser bzw. 0,027 bis 0,044 €/je m<sup>3</sup> Frischwasser.

Die Kosten für die Vorzugsvariante können hierdurch von 0,07 €/je m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser bzw. 0,086 €/je m<sup>3</sup> Frischwasser auf 0,035 €/je m<sup>3</sup> behandeltes Abwasser bzw. 0,044 €/je m<sup>3</sup> Frischwasser gesenkt werden.

Die Berücksichtigung der Förderung durch das Land NRW und die Reduzierung der Abwasserabgabe hat keinen Einfluss auf das technische Ranking der Tabelle 6-3 und ist in Tabelle 6-5 dargestellt. Damit bleibt als Vorzugsvariante die Variante 4.



**Tabelle 6-4: Darstellung der Auswirkungen der Reduzierung der Abwasserabgabe und Investitionsförderung des Landes NRW auf die Varianten**

| Variante                                                                                        | V 1                                                          | V 2                                                                        | V 3                                                                                                    | V 4                                                                                                                                               | V 4a                                                                                                                  | V 5                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                 | Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung direkt auf den Filter | Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung in neuem Reaktionsraum - Filtration | Ablauf der Nachklärung - PAK Dosierung und Abscheidung in einem Kombibecken (ACTILO-CARB) - Filtration | Ablauf der Nachklärung - Filtration 1. Filterstufe - PAK Dosierung 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 granulierte Aktivkohle (GAK) im Mehrschichtfilter |
| <b>Investitionskosten (netto) mit 70% Förderung</b>                                             | 720.000 €<br>216.000 €                                       | 1.250.000 €<br>375.000 €                                                   | 4.270.000 €<br>1.281.000 €                                                                             | 5.170.000 €<br>1.551.000 €                                                                                                                        | 2.120.000 €<br>636.000 €                                                                                              | 990.000 €<br>297.000 €                                                           |
| <b>Kapitalkosten mit 70% Förderung</b>                                                          | 24.774 €/a                                                   | 37.143 €/a                                                                 | 108.179 €/a                                                                                            | 142.332 €/a                                                                                                                                       | 52.752 €/a                                                                                                            | 18.591 €/a                                                                       |
| <b>Betriebskosten</b>                                                                           | 452.604 €/a                                                  | 378.308 €/a                                                                | 427.637 €/a                                                                                            | 406.554 €/a                                                                                                                                       | 348.921 €/a                                                                                                           | 545.310 €/a                                                                      |
| <b>Jahreskosten (netto)</b>                                                                     | 477.378 €/a                                                  | 415.451 €/a                                                                | 535.816 €/a                                                                                            | 548.886 €/a                                                                                                                                       | 401.672 €/a                                                                                                           | 563.901 €/a                                                                      |
| <b>Spezifische Jahreskosten</b><br>10.722,240 m³/a                                              | 0,045 €/m³                                                   | 0,039 €/m³                                                                 | 0,050 €/m³                                                                                             | 0,051 €/m³                                                                                                                                        | 0,037 €/m³                                                                                                            | 0,053 €/m³                                                                       |
| <b>Abwasserabgabe</b>                                                                           |                                                              |                                                                            |                                                                                                        |                                                                                                                                                   |                                                                                                                       |                                                                                  |
| Δ CSB [mg/l]                                                                                    | -15,0 mg/l                                                   | -15,0 mg/l                                                                 | -20,0 mg/l                                                                                             | -20,0 mg/l                                                                                                                                        | -20,0 mg/l                                                                                                            | -20,0 mg/l                                                                       |
| Schadeneinheiten kg CSB pro SE 50 [kg/a]                                                        | -160,834 kg/a                                                | -160,834 kg/a                                                              | -214,445 kg/a                                                                                          | -214,445 kg/a                                                                                                                                     | -214,445 kg/a                                                                                                         | -214,445 kg/a                                                                    |
| Δ Stickstoff [mg/l]                                                                             | 0                                                            | 0                                                                          | -1,0 mg/l                                                                                              | -1,0 mg/l                                                                                                                                         | -1,0 mg/l                                                                                                             | 0,5 mg/l                                                                         |
| Schadeneinheiten kg N pro SE 25 [kg/a]                                                          | -                                                            | -                                                                          | -10,722 kg/a                                                                                           | -10,722 kg/a                                                                                                                                      | -10,722 kg/a                                                                                                          | 5,361 kg/a                                                                       |
| Σ Schadeneinheiten                                                                              | -3,217 SE                                                    | -3,217 SE                                                                  | -4,718 SE                                                                                              | -4,718 SE                                                                                                                                         | -4,718 SE                                                                                                             | -4,074 SE                                                                        |
| Minderung der Abwasserabgabe                                                                    | -115,125 €/a                                                 | -115,125 €/a                                                               | -168,850 €/a                                                                                           | -168,850 €/a                                                                                                                                      | -168,850 €/a                                                                                                          | -145,825 €/a                                                                     |
| <b>Jahreskosten (netto) incl. Minderung Abwasserabgabe</b>                                      | 362.253 €/a                                                  | 300.326 €/a                                                                | 366.966 €/a                                                                                            | 380.036 €/a                                                                                                                                       | 232.823 €/a                                                                                                           | 418.077 €/a                                                                      |
| <b>Spezifische Jahreskosten</b><br>10.722,240 m³/a                                              | 0,034 €/m³                                                   | 0,028 €/m³                                                                 | 0,034 €/m³                                                                                             | 0,035 €/m³                                                                                                                                        | 0,022 €/m³                                                                                                            | 0,039 €/m³                                                                       |
| <b>Anpassung der Abwassergebühren</b><br>(BezUG; Wasserverbrauch Stadt Neuss 2009)<br>8.684,533 | 0,042 €/m³                                                   | 0,035 €/m³                                                                 | 0,042 €/m³                                                                                             | 0,044 €/m³                                                                                                                                        | 0,027 €/m³                                                                                                            | 0,048 €/m³                                                                       |

**Tabelle 6-5: Bewertung der Varianten unter Berücksichtigung der Landesförderung**

| Variante                                                                                 | Wichtung [%] | V 1                  |          | V 2                  |          | V 3                   |          | V 4                          |          | V 4a                           |          | V 5                  |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|----------|----------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------------|----------|--------------------------------|----------|----------------------|----------|
|                                                                                          |              | Punkte               | Wertung  | Punkte               | Wertung  | Punkte                | Wertung  | Punkte                       | Wertung  | Punkte                         | Wertung  | Punkte               | Wertung  |
| Investitionskosten                                                                       |              | 720.000 €            |          | 1.250.000 €          |          | 4.270.000 €           |          | 5.170.000 €                  |          | 2.120.000 €                    |          | 990.000 €            |          |
| Rest-Investitionskosten bei 70% Förderung                                                |              | 216.000 €            |          | 375.000 €            |          | 1.281.000 €           |          | 1.551.000 €                  |          | 636.000 €                      |          | 297.000 €            |          |
| Kapitalkosten bei 10% Förderung                                                          | 15%          | 24.774 €             | 7,5 1,1  | 37.143 €             | 5,0 0,8  | 108.179 €             | 1,7 0,3  | 142.332 €                    | 1,3 0,2  | 52.752 €                       | 3,5 0,5  | 18.591 €             | 10,0 1,5 |
| Betriebskosten incl. Minderung der Abwasserabgabe                                        | 35%          | 337.479 €            | 5,3 1,9  | 263.183 €            | 6,8 2,4  | 258.788 €             | 7,0 2,4  | 237.704 €                    | 7,6 2,7  | 180.071 €                      | 10,0 3,5 | 399.485 €            | 4,5 1,6  |
| <b>Wertungspunkte Monetär (gerundet)</b>                                                 | <b>50%</b>   | <b>3,0</b>           |          | <b>3,1</b>           |          | <b>2,7</b>            |          | <b>2,8</b>                   |          | <b>4,0</b>                     |          | <b>3,1</b>           |          |
| Eliminationsleistung Spurenstoffe (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))                  | 15%          | mittel               | 5,0 0,8  | noch gut             | 7,5 1,1  | 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%          | mittel               | 5,0 0,5  | gut                  | 10,0 1,0 | hoch                  | 12,5 1,3 | sehr hoch                    | 15,0 1,5 | hoch                           | 12,5 1,3 | noch gut             | 7,5 0,8  |
| Beeinflussung des Filtrationsbetriebs (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))              | 10%          | hoch                 | 7,5 0,8  | hoch                 | 7,5 0,8  | gering                | 10,0 1,0 | gering                       | 10,0 1,0 | hoch                           | 7,5 0,8  | sehr hoch            | 5,0 0,5  |
| Betriebs- und Wartungsaufwand (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))                      | 5%           | gering               | 12,5 0,6 | mittel               | 10,0 0,5 | mittel bis hoch       | 7,5 0,4  | mittel bis hoch              | 7,5 0,4  | mittel                         | 10,0 0,5 | hoch                 | 5,0 0,3  |
| Stand der Technik - Wissenshaft Referenzlage (Schulnoten 1 (15 Pkt) bis 3 (5 Pkt))       | 5%           | in Versuchen erprobt | 7,5 0,4  | in Versuchen erprobt | 7,5 0,4  | großtechnisch erprobt | 15,0 0,8 | teilw. großtechnisch erprobt | 12,5 0,6 | teilweise 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              | 15,0 0,8 | gut                  | 12,5 0,6 | gut                   | 12,5 0,6 | mittel                       | 10,0 0,5 | mittel                         | 10,0 0,5 | einfach              | 15,0 0,8 |
| <b>Wertungspunkte Technik (gerundet)</b>                                                 | <b>50%</b>   | <b>3,8</b>           |          | <b>4,4</b>           |          | <b>5,9</b>            |          | <b>6,3</b>                   |          | <b>4,9</b>                     |          | <b>4,1</b>           |          |
| <b>Gesamtpunkte (gerundet)</b>                                                           | <b>100%</b>  | <b>6,7</b>           |          | <b>7,5</b>           |          | <b>8,6</b>            |          | <b>9,1</b>                   |          | <b>8,9</b>                     |          | <b>7,2</b>           |          |

## 7 Literaturverzeichnis

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]  | Metzger, S.; Prof. Dr. Kapp, H., (2008),<br>„Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen“, VSA-Fachtagung 28. Oktober 2008                                                                                                                                                                                                                                                      |
| [2]  | Herbst, H.; Ante, S., (2010),<br>„Energiebedarf von Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung“, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum des 28. Bochumer Workshops, Bd. 61, S. 113-126, Hrsg.: Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum e.V., ISSN 0178-0980                                                           |
| [3]  | Rölle, R.; Kuch, B., (2011),<br>„Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn“, In: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall (58), Nr. 11, S. 1038 ff., Hrsg.: GFA – Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., Hennef, ISSN 1866-0029                                                                                                                                               |
| [4]  | Pinnekamp, J.; Merkel, W., (2008),<br>Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtungen“, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. MUNLV (2008), Bearbeiter: Tacke; Herbst; Köster; Beier; Bergmann, Mälzer |
| [5]  | EAWAG, (2009),<br>3. Zwischenbericht „Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser“, Bearbeiter Zwickenpflug, B.; Böhler, M., Dübendorf,                                                                                                                                                                                                                 |
| [6]  | EAWAG, (2011),<br>Zwischenbericht „Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon“, Bearbeiter Böhler, M.; Joss, A.                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [7]  | VEOLIA, (2010),<br>Verfahrenstechnologien der Aufbereitung<br>Handbuch Wasser (10. Aufl. 2010), Vulkan-Verlag-GmbH, Essen, ISBN 978-3-8027-2539-5                                                                                                                                                                                                                                                          |
| [8]  | Holthausen, E., (2009),<br>„Begutachtung der rechteckigen Nachklärbecken auf der Kläranlage Neuss Ost der Infrastruktur Neuss AöR“,                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| [9]  | ATV-DVWK - M 271, (1998),<br>Merkblatt ATV - DVWK - M 271 „Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen“, ATV - DVWK - Regelwerk, Hrsg.: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, ISBN 3-927729-52-3                                                                                                                                                     |
| [10] | Länderarbeitsgemeinschaft Wasser – LAWA, (2005),<br>Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 7. Auflage, Kulturbuchverlag Berlin GmbH, ISBN 3-88961-240-7                                                                                                                                                      |
| [11] | Pinnekamp, J.; Keyzers, C.; Montag, D.; Veltmann, K., (2010),<br>„Elimination von Mikroschadstoffen - Stand der Wissenschaft“, Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 220, S. 28/1-28/21, 43. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft vom 17.3.-19.3.2010 in Essen. Hrsg.: J. Pinnekamp, Institut für Sied-                                                                            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | lungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, ISBN 978-3-938996-26-3                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| [12] | Hiller, G., (2011),<br>„Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage Steinhäule“, Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 223, S. 27/1-27/10, Hrsg.: J. Pinnekamp, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, ISBN 978-3-938996-29-4                                                                                              |
| [13] | ATV, (1997),<br>ATV-Handbuch „Mechanische Abwasserreinigung“, 4. Auflage, Ernst und Sohn Verlag, Hennef, ISBN 3-433-01-461-2                                                                                                                                                                                                                                 |
| [14] | Schwentner, G., et al.,(2010),<br>„Ergänzung der Flockungsfiltration durch Vorschaltung einer Aktivkohleanlage am Beispiel der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen“, Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 220, S. 35/1-35/8, Hrsg.: J. Pinnekamp, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, ISBN 978-3-938996-26-3                 |
| [15] | Hiller G., (2011),<br>Abwasserreinigung mit dem Ziel der Spurenstoffentnahme und der Unterschreitung der abgaberelevanten Schwellenwerte für CSB und P in Ulm/Neu-Ulm,<br>Karlsruher Flockungstage 2011 KIT Karlsruher Institut für Technologie, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe Schriftenreihe SWW Bd. 151, Karlsruhe 2011                       |
| [16] | Fahlenkamp, H.; Nöthe, T.; Nowotny, N.; Launer, M., (2008),<br>Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen Phase 3“, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf                                      |
| [17] | Beier, S.; Palmowski, L.; Veltmann, K.; Pinnekamp, J., (2010),<br>Energieverbrauch von Verfahren zur weitestgehenden Abwasserreinigung.<br>DWA-Seminar „Energieoptimierung auf Kläranlagen“ am 1. Juli 2010, Osnabrück                                                                                                                                       |
| [18] | Bahr, C.; Ernst, M.; Jekel, M.; Heinzmann, B.; Luck, F.; Ried, A., (2007),<br>„PILOTOX – Pilotuntersuchungen zur kombinierten oxidativ-biologischen Behandlung von Klärwerksabläufen für die Entfernung von organischen Spuren. Und Wirkstoffen und zur Desinfektion“, Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin, 1.2004 ff., Band 5. Hrsg.: B. Weigert. |
| [19] | Schumacher, J., (2006),<br>„Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe“, Dissertation an der Fakultät III – Prozesswissenschaft                                                                                                                                                                                                   |
| [20] | Abegglen, C., (2009),<br>„Spurenstoffe eliminieren: Kläranlagentechnik“, In: EAWAG News 67d/Juni 2009, S. 25-27                                                                                                                                                                                                                                              |
| [21] | Umweltbundesamt, (2003),<br>„Bewertung der Anwesenheit teil- oder nichtbewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht - Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. Bundesgesundheitsblatt“<br>- Gesundheitsforschung -Gesundheitsschutz 2003 46:249–251, DOI 10.1007/s00103-002-0576-7     |
| [22] | Haberkern, M.; Maier, W.; Schneider, U., (2008),<br>Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen.<br>Text 11/08. Hrsg.: Umweltbundesamt, ISSN 1862-4804                                                                                                                                                                                        |
| [23] | ARGE TP6 (Grünebaum, T., et al.), (2011),<br>Abschlussbericht zum MKULNV Forschungsvorhaben „Elimination von Arzneimitteln und                                                                                                                                                                                                                               |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren“, Schlussbericht Phase 1 „Teilprojekt 6 - Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen“, Düsseldorf                                                                                                                                                                                                                                 |
| [24] | Bergmann, A., et al., (2011),<br>Abschlussbericht zum Umweltbundesamt Forschungsvorhaben „Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln“                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| [25] | Alt, K.; Mauritz, A., (2010),<br>Vorstellung aktueller Projekte zum Ausbau von kommunalen Klärwerken mit einer Adsorptionsstufe – Klärwerk Mannheim, In: DWA Landesverband Baden-Württemberg (Hrsg.): Aktivkohle in der Abwasserreinigung- Vom Versuch zum technischen Maßstab. Tagungsband zum Symposium Aktivkohle vom 23. bis 24.07, Mannheim                                                                                                                      |
| [26] | Hiller, G., (2010),<br>Vorstellung aktueller Projekte zum Ausbau von kommunalen Klärwerken mit einer Adsorptionsstufe – Klärwerk Steinhäule, Neu-Ulm, In: DWA Landesverband Baden-Württemberg Hrsg. DWA Hennef: Aktivkohle in der Abwasserreinigung- Vom Versuch zum technischen Maßstab. Tagungsband zum Symposium Aktivkohle vom 23. bis 24.07.2010, Mannheim                                                                                                       |
| [27] | Metzger, S., (2008),<br>„Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser“,<br>Dissertationsschrift TU Berlin, Oldenburg Industrieverlag München                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| [28] | Metzger, S.; Kapp, H., (2005),<br>„Aktivkohlebehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser im Klärwerk Steinhäule“, Vortrag bei der DWA Landesverbandstagung Baden-Württemberg 06/07.10.2005 Friedrichshafen, Veröffentlichung im Tagungsband                                                                                                                                                                                                                        |
| [29] | Pinnekamp, J.; Keyzers, C., (2011),<br>„Möglichkeiten zur Erweiterung bestehender Kläranlagen zur Spurenstoffelimination“, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, Bd.15, S. 16/1-16/14, (12.Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium), Hrsg.: J. Pinnekamp, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen                                                                                                                                                  |
| [30] | persönliche Information Dr. Mertsch MKULNV Dez. 2011                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| [31] | persönliche Information Hermann Stepkes WVER Dez. 2011                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| [32] | Bornemann et al., (2011),<br>MIKROFLOCK: „Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle“, Fachgespräch Spurenstoffe, April 2011, Düsseldorf, organisiert vom MKULNV NRW und ISA RWTH Aachen                                                                                                                                                                                               |
| [33] | Alt, K.; Barnscheidt, I.; Gans, N., (2011),<br>„Kosten des Einsatzes von Aktivkohle in bestehenden Flockungsfiltrationsanlagen“ Fachgespräch Spurenstoffe April 2011, Düsseldorf organisiert MKULNV NRW und ISA RWTH Aachen                                                                                                                                                                                                                                           |
| [34] | Biebersdorf, N.; Kaub, J. M.; Schwentner, G., (2011),<br>„Möglichkeiten zur Integration einer Aktivkohleadsorption in bestehende kommunale Kläranlagen“, DWA-Tagung, Bonn                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| [35] | Türk et al., (2011),<br>„Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Vorstellung der NRW-Projekte und erste Ergebnisse“; 86. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 13.10.2011; Neue Verfahren und Betriebsstrategien in der Abwasserbehandlung Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. Stuttgart (FEI), Stutt- |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|      | gart                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |
| [36] | Herbst, H.; Kauffmann, M.; Türk, J.; Launer, M., (2011),<br>Abwasser ozonierung der Kläranlage Duisburg-Vierlinden, Karlsruher Flockungstage 2011<br>KIT Karlsruher Institut für Technologie, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe<br>Schriftenreihe SWW Band 151, Karlsruhe                                                                                                                                                                                                            |      |
| [37] | DWA DVGW und wasserchemische Gesellschaft, (2009),<br>politisches Konzeptpapier: Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Forderungen<br>an Politik, Hersteller, Anwender, Verbraucher sowie Ver- und Entsorger;<br><a href="http://www.dwa.de/portale/dwa_master/dwa_master.nsf/home?readform&amp;objectid=BD581F382C894D33C125758600378921">http://www.dwa.de/portale/dwa_master/dwa_master.nsf/home?readform&amp;objectid=BD581F382C894D33C125758600378921</a> (Download 17.08.2010) |      |
| [38] | Götzelmann + Partner<br><a href="http://www.goetzelmann-partner.de/index.php?lang=deutsch&amp;key=aktivkohle">http://www.goetzelmann-partner.de/index.php?lang=deutsch&amp;key=aktivkohle</a> (Download<br>21.12.2011)                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |
| 39]  | VA TECH WABAG Deutschland GmbH&Co.KG<br>Service Bayreuth, Funktionsbeschreibung, Spülprogramm und Filtermanagement für Flo-<br>ckungsfiltration Klärwerk Neuss Ost, Stand 2004                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |
| [40] | ATV-A<br>Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung (1995)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 203, |
| [41] | ATV-A202,<br>Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser (1992)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      |
| [42] | IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser,<br>CSB- und Spurenstoffadsorption am Aktivkohlefestbett (AOL Abwasserverband Obere<br>Lutter), Abschlussbericht FuE-Projekt gefördert durch MKULNV NRW Dezember 2011                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |

## **8 Anhang**

### **8.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings**

|                 |                       | M 110803/03<br>[ng/L] | M 110923/05<br>[ng/L] | M 110926/01<br>[ng/L] |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                 | Datum                 | 02.08.2011            | 22.09.2011            | 25.09.2011            |
| <b>Pharmaka</b> | Acetylsalicyl         | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                 | Ac-Sulfadiazin        | 26                    | 23                    | 32                    |
|                 | Ac-Sulfamerazin       | 24                    | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ac-Sulfamethazin      | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ac-Sulfamethoxazol    | 320                   | 180                   | 210                   |
|                 | Antipyrin/Phenanzon   | 27                    | 58                    | 60                    |
|                 | Azithromycin          | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Bendroflumethiazid    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Bezafibrat            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Bisoprolol            | < 20                  | 90                    | 64                    |
|                 | Capecitabin           | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Carbamazepin          | 1100                  | 1600                  | 1600                  |
|                 | Cefotaxim             | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Cefuroxim             | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Chloramphenicol       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ciprofloxacin         | 79                    | < 20                  | < 20                  |
|                 | Citalopram            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Clarithromycin        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Clindamycin           | 51                    | 170                   | 150                   |
|                 | Clofribic acid        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Cyclophosphamid       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Diclofenac            | 850                   | 1200                  | 1100                  |
|                 | Docetaxel             | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Erythromycin          | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Erythromycindehydrato | < 20                  | 39                    | 28                    |
|                 | Fenofibrinsäure       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Furosemid             | 160                   | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ibuprofen             | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ifosfamid             | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ketoprofen            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Lidocain              | < 20                  | 210                   | 220                   |
|                 | Megastrol             | 27                    | 150                   | 130                   |
|                 | Methotrexat           | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                 | Metoprolol            | 51                    | 230                   | 200                   |
|                 | Metronidazol          | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ofloxacin             | 51                    | < 20                  | 30                    |
|                 | Oxcarbazepin          | 310                   | 170                   | 750                   |
|                 | Paclitaxel            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Propranolol           | < 20                  | 21                    | < 20                  |
|                 | Propylphenanzon       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Ritalinicacid         | 88                    | 250                   | 210                   |
|                 | Roxithromycin         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                 | Sulfadiazin           | 54                    | < 20                  | < 20                  |
| Sulfadimethoxin | < 20                  | < 20                  | < 20                  |                       |
| Sulfamethazin   | < 20                  | < 20                  | < 20                  |                       |
| Sulfamethizol   | < 20                  | < 20                  | 37                    |                       |
| Sulfamethoxazol | 1100                  | 440                   | 560                   |                       |
| Sulfapyridin    | < 20                  | 97                    | 89                    |                       |
| Tamoxifen       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |                       |
| Terbutryn       | < 20                  | 20                    | < 20                  |                       |
| Tramadol        | < 20                  | 190                   | 370                   |                       |
| Trimethoprim    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |                       |
| Venlafaxin      | < 20                  | 71                    | 53                    |                       |



|                                             |                                                                    | M 110803/03<br>[ng/L] | M 110923/05<br>[ng/L] | M 110926/01<br>[ng/L] |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Psychopharmaka</b>                       | Benperidol                                                         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Chlorprothixen                                                     | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Clozapin                                                           | 310                   | 47                    | 81                    |
|                                             | Haloperidol                                                        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Melperon                                                           | 47                    | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Olanzapin                                                          | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Perazin                                                            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Pipamperon                                                         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Risperidon                                                         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                                             | Zuclopenthixol                                                     | < 20                  | 38                    | < 20                  |
| <b>Röntgen-<br/>kontrastmittel</b>          | Amidotrizoesäure                                                   | 4200                  | 13000                 | 14000                 |
|                                             | Iopromid                                                           | 260                   | 630                   | 160                   |
|                                             | Iomeprol                                                           | 920                   | 3900                  | 3300                  |
|                                             | Iopamidol                                                          | 700                   | 2000                  | 1300                  |
|                                             | Iodixanol                                                          | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Iohexol                                                            | 85                    | 160                   | 140                   |
|                                             | Ioversol                                                           | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Benzotriazol                                                       | 800                   | 6400                  | 5100                  |
| <b>PFC</b>                                  | PFOA                                                               | 44                    | 32                    | 37                    |
|                                             | PFOS                                                               | 11                    | 57                    | 66                    |
| <b>Hormone, BPA<br/>und<br/>Nonylphenol</b> | 17- $\alpha$ Estradiol                                             | < 5                   | < 5                   | < 5                   |
|                                             | 17- $\alpha$ Ethinylestradiol                                      | 3,2                   | 1,4                   | 1,3                   |
|                                             | Bisphenol A                                                        | 135                   | 395                   | 293                   |
|                                             | Estrone                                                            | 5                     | 1,9                   | 2,4                   |
|                                             | $\beta$ -Estradiol                                                 | 5,5                   | 1,5                   | 1,2                   |
|                                             | Nonylphenol                                                        | (460 ng/L)*           | (980 ng/L)*           | (750 ng/L)*           |
| <b>Moschusduftstoffe</b>                    | Cashmeran                                                          | 436                   | 161                   | 106                   |
|                                             | Celestolid                                                         | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Galaxolide                                                         | 308                   | 233                   | 188                   |
|                                             | Moschus Ambrette                                                   | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Moschus Keton                                                      | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Moschus Mosken                                                     | < 100                 | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Moschus Tibetan                                                    | < 100                 | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Moschus Xylol                                                      | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Phantholid                                                         | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                                             | Tonalid                                                            | 241                   | 70                    | 55                    |
|                                             | Traseolid                                                          | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
| <b>Flamm-<br/>schutz-<br/>mittel</b>        | Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)                                  | 1700                  | 2000                  | 2100                  |
|                                             | Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP)                              | 3100                  | 500                   | 700                   |
|                                             | Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat (TDCPP)                         | 2100                  | 2400                  | 2500                  |
| <b>Komplex-<br/>bildner</b>                 | Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)                                | 15 $\mu$ g/L          | 63 $\mu$ g/L          | 60 $\mu$ g/L          |
| <b>KW</b>                                   | KW H53                                                             | < 50 $\mu$ g/L        | < 50 $\mu$ g/L        | < 50 $\mu$ g/L        |
| <b>LAS</b>                                  | Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)                                 | < 50 $\mu$ g/L        | < 50 $\mu$ g/L        | < 50 $\mu$ g/L        |
| <b>Sonstige</b>                             | Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)                             | 16,6 mg/l             | 17 mg/l               | 17 mg/l               |
|                                             | Spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm (SAK <sub>254</sub> ) | 0,424                 | 0,433                 | 0,44                  |
|                                             | Spektraler Absorptionskoeffizient bei 436 nm (SAK <sub>436</sub> ) | 0,025                 | 0,025                 | 0,025                 |
|                                             | Bromid                                                             | 260 $\mu$ g/L         | 200 $\mu$ g/L         | 220 $\mu$ g/L         |

\* Die Proben zeigen kein Nonylphenol typisches Pattern auf. Konzentrationen von Nonylphenol in Abläufen von kommunalen Kläranlagen liegen im Mittel bei ca. 350 ng/L.

|                     |                            | M 110803/03<br>[ng/L] | M 110923/05<br>[ng/L] | M 110926/01<br>[ng/L] |
|---------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Pestizide</b>    | 2,6-Dichlorbenzamid        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Ametryn                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Amidosulfuron              | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Atraton                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Atrazin                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Atrazin-2-hydroxy          | 30                    | 30                    | 20                    |
|                     | Atrazin-desethyl-2-hydroxy | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Azoxystrobin               | 250                   | < 20                  | < 20                  |
|                     | Benalaxyl                  | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Bensulfuron-methyl         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Carbendazim                | 390                   | 190                   | 200                   |
|                     | Carbetamid                 | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Chloridazon                | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Chloroxuron                | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Chlorsulfuron              | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Chlortoluron               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Clomazon                   | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Cyanazin                   | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Cyproconazol               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Desethylatrazin            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Desethylsebutylazin        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Desethylterbutylazin       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Desisopropylatrazin        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Desmetryn                  | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Difenoconazol              | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Diflubenzuron              | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Diflufenican               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Dimefuron                  | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Dimethachlor               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Dimethoat                  | 80                    | < 20                  | < 20                  |
|                     | Diuron                     | 80                    | 30                    | 70                    |
|                     | Epoxiconazol               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Ethidimuron                | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Ethofumesat                | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Fenhexamid                 | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Fenpropidin                | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Fenuron                    | 20                    | 50                    | 50                    |
|                     | Flufenacet                 | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Fluopicolide               | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Flurtamon                  | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                     | Flusilazol                 | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
| Hexazinone          | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Imidacloprid        | 150                        | 60                    | 70                    |                       |
| Iodosulfuron-methyl | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Isoproturon         | 20                         | < 20                  | < 20                  |                       |
| Linuron             | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metalaxyl           | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metamitron          | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metazachlor         | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Methabenzthiazuron  | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metobromuron        | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metolachlor         | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metoxuron           | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metribuzin          | 20                         | < 20                  | < 20                  |                       |
| Metsulfuron-methyl  | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |
| Monolinuron         | < 20                       | < 20                  | < 20                  |                       |

|                  |                                 | M 110803/03<br>[ng/L] | M 110923/05<br>[ng/L] | M 110926/01<br>[ng/L] |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Pestizide</b> | Napropamid                      | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Nicosulfuron                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Pirimicarb                      | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Pixoxystrobin                   | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Primisulfuron-methyl            | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Prochloraz                      | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Prometon                        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Prometryn                       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Propazin                        | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Propazin-2-hydroxy              | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Propiconazol                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Prosulfocarb                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Prosulfuron                     | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Sebutylazin                     | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Simazin                         | 90                    | < 20                  | < 20                  |
|                  | Simazin-2-hydroxy               | 190                   | 140                   | 70                    |
|                  | Simeton                         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Tebuconazol                     | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Tebutam                         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Terbumeton                      | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Terbutryn                       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Terbutylazin                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Terbutylazin-2-hydroxy          | 20,4                  | 20                    | < 20                  |
|                  | Terbutylazin-desethyl-2-hydroxy | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Thifensulfuron-methyl-2         | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Tolytriazole                    | 3360                  | 4860                  | 4900                  |
|                  | Triadimenol                     | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Triasulfuron                    | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Triflusulfuron-methyl           | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | Terbutylazin 1 SYN 545666       | 270                   | 190                   | 240                   |
|                  | Terbutylazin 2 CGA 324007       | < 20                  | < 20                  | < 20                  |
|                  | 2,4,5-T                         | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | 2,4-D                           | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | 2,4-DB                          | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Benazolin                       | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Bentazon                        | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Bromacil                        | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Bromoxynil                      | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Dichlorprop                     | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Dinoseb                         | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Dinoterb                        | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Fenoprop                        | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
|                  | Fenoxaprop                      | < 50                  | < 50                  | < 50                  |
| Fluazifop        | < 50                            | < 50                  | < 50                  |                       |
| loxynil          | < 50                            | < 50                  | < 50                  |                       |
| MCPA             | 90                              | < 50                  | < 50                  |                       |
| MCPB             | < 50                            | < 50                  | < 50                  |                       |
| Mecoprop         | < 50                            | < 50                  | < 50                  |                       |