

---

# Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

---

## KURZBERICHT

Mai 2017

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Stadt Münster, Tiefbauamt

Zum Heidehof 72, 48157 Münster

---

Unterschrift

Aufgestellt durch:

INGENIEURBÜRO FRILLING+ROLFS GMBH

Beratende Ingenieure VBI

Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik

Rombergstraße 46 – 49377 Vechta

Tel.: 04441 8704-0, Fax: 04441 8704-80, [info@fr-vechta.de](mailto:info@fr-vechta.de)

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Michael Schütte

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

Tel.: 0241 963-1890, Fax: 0241 963-1899, [info@atemis.net](mailto:info@atemis.net)

Bearbeitung: Dipl.-Biol. Doris Schäpers

Dipl.-Ing. (FH) Anna Schusser

Vechta, im Mai 2017      Aachen, im Mai 2017

ppa. 

---

ppa. M. Schütte

---

ppa. M. Merten

## Inhaltsverzeichnis

<b>Literaturverzeichnis:</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Einleitung und Veranlassung</b> .....	<b>5</b>
1.1 Allgemeines .....	5
1.2 Hauptkläranlage Münster.....	6
<b>2 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination</b> .....	<b>7</b>
3.1 Oxidative Verfahren: .....	7
3.2 Physikalische Verfahren: .....	7
3.3 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	8
<b>4 Messprogramm zur Spurenstoffelimination auf der HKA Münster und Verfahrensvorauswahl</b> .....	<b>9</b>
4.1 Vorliegende Untersuchungen auf Spurenstoffe .....	9
4.2 Beschreibung und Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der HKA Münster .....	10
4.3 Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe .....	15
4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand .....	16
4.5 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung .....	16
4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken.....	17
4.7 Variante 3: Ozonbehandlung .....	19
4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration).....	21
<b>5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte</b> .....	<b>23</b>
5.1 Investitionen.....	23
5.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten .....	24
5.3 Jahreskosten .....	26
5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation.....	26
5.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster .....	28
5.1 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen .....	31

## Literaturverzeichnis:

1. **Umweltbundesamt.** [Online] <http://www.umweltbundesamt.de/>.
2. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).** *Bericht: Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW.* Düsseldorf : s.n., 2014.
3. *Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen.* **Ternes, T.** Wasser Berlin : s.n., 2006.
4. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge.* 2015.
5. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
6. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
7. **M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhauser, L. Salhi, U. von Gunten, C. Mc Ardell, P. Longrée, B. Beck, H. Siegrist.** *Berichterstattung - Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut.* Bern : Bafu, 2013.
8. **Frank Benstöm, Andreas Nahrstedt, Marc Böhler, Gregor Knopp, David Montag, Hansruedi Siegrist, Johannes Pinnekamp.** Granulierte Aktivkohle - Ein Review halb- und großtechnischer Untersuchungen. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser.* 2016, Bd. 239.
9. **Johanna Obrecht, Michael Thomann, Jean-Marc Stoll, Kerstin Frank, Markus Sobaskiewicz, Markus Boller, Peter Freisler.** PAK-Dosierung ins Belebungsbecken - Alternative zur nachgeschalteten Pulveraktivkohleadsorption. *Aqua & Gas.* 2015, Bd. 2.
10. **Marc Böhler, Julian Fleiner, Christa S. McArdell, Cornelia Kienle, Max Schlachtler, Hansruedi Siegrist.** Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach ozonung - ReTREAT. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser.* 2016, Bd. 239.
11. **Christian Götz, Sabine Bergmann, Christoph Ort, Heinz Singer, Robert Kase.** *Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser- Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein- Westfalen.* s.l. : Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), D, 2012.
12. **Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.

# 1 Einleitung und Veranlassung

## 1.1 Allgemeines

Chemikalien kommen in fast allen Wirtschaftszweigen und Bereichen des täglichen Lebens zum Einsatz. Die Anzahl der entwickelten organischen chemischen Verbindungen beträgt inzwischen mehr als 50 Millionen. Bei Herstellung, Verwendung und Entsorgung gelangen chemische Stoffe auch in die Umwelt. Dies geschieht vor allem über Chemikalien enthaltende Produkte – etwa indem Landwirte gezielt Pflanzenschutzmittel ausbringen oder wenn Chemikalien aus Anstrichen, Baustoffen oder Alltagsprodukten ausdünsten oder ausgewaschen bzw. wie bei Arzneimitteln ausgeschieden werden. Etliche dieser Chemikalien werden in Gewässern, Kläranlagen, Sedimenten, Böden oder auch in Vogeleiern gefunden. Einige von ihnen stellen ein Risiko für Tiere, Pflanzen oder die menschliche Gesundheit dar, wenn ihre Konzentration in der Umwelt zu hoch ist. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat rund 5.000 Substanzen als potenziell umweltgefährdend eingestuft. (1), (2)

Mit Mikroschadstoffen sind in der Regel anthropogene Spurenstoffe gemeint, die künstlich hergestellt werden und nicht durch natürliche physikalisch-chemische oder biologische Prozesse entstanden sind. Dabei handelt es sich u.a. um Arzneimittel, Industriechemikalien, Pflanzenschutzmittel, aber auch um Körperpflegeprodukte und Haushaltschemikalien. Da diese Stoffe in der Regel in sehr niedrigen Konzentrationen in der Umwelt nachgewiesen werden, spricht man von Spurenstoffen.

Es gibt diverse Eintragsquellen für Mikroverunreinigungen gibt. Dabei handelt es sich sowohl um diffuse Eintragsquellen, wie Leckagen in der Kanalisation oder die Landwirtschaft, wo z.B. durch Abschwemmungen von Düngemitteln und Pestiziden Substanzen in die Gewässer gelangen, als auch um punktuelle Eintragsquellen. Kommunale Kläranlagen gehören neben der Industrie zu den nennenswerten punktuellen Eintragsquellen. Für viele in Oberflächengewässern nachgewiesene Spurenstoffe konnten Kläranlagenabläufe als Eintragsquelle identifiziert werden. (3) Auch das Positionspapier des Umwelt-Bundesamtes von März 2015 fasst zusammen, dass kommunales Abwasser für eine Reihe von Stoffen einen wichtigen Eintragspfad in die Umwelt darstellt. Zu diesen Stoffen gehören u.a. Diuron und Isoproturon, Nonylphenol, PAK, DEHP sowie die Schwermetalle Nickel, Blei, Quecksilber und Cadmium. Darüber hinaus ist das kommunale Abwassersystem für eine Vielzahl anderer, bislang nicht europaweit geregelter Stoffe wie beispielsweise Arzneimittel der Haupteintragspfad. (4)

Aufgrund der besonderen Relevanz des Gewässerschutzes in NRW fördert das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) NRW zurzeit die Durchführung von Machbarkeitsstudien zur Mikroschadstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen. Die Stadt Münster hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für die Hauptkläranlage Münster in Auftrag zu geben.

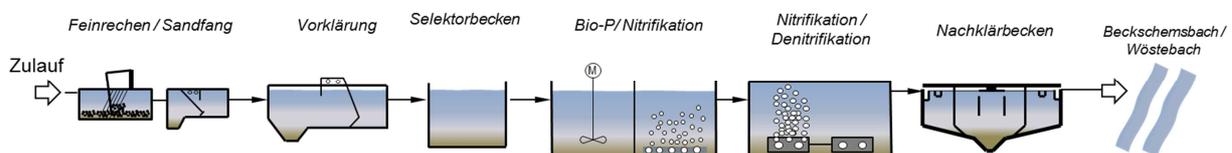
## 1.2 Hauptkläranlage Münster

Die Hauptkläranlage Münster-Coerde wird durch die Stadt Münster betrieben. Es handelt sich um eine mechanisch-biologische Anlage. Behandelt werden die Abwässer aus dem alten Stadtgebiet Münster einschließlich der Vororte Gievenbeck, Nienberge, Albachten, Roxel, Handorf, Mariendorf und Sprakel. Die Entwässerung des Einzugsgebiets erfolgt im Wesentlichen im Mischsystem. Die Jahresabwassermenge im Jahr 2015 betrug 21.067.356 m<sup>3</sup> (5).

Die Ausbaugröße der HKA Münster beträgt momentan 300.000 EW. Der Ausbau auf 335.000 EW durch Einsatz von Membrankontaktoren zur Prozesswasserbehandlung ist bereits genehmigt und in der Umsetzung. Die aktuelle Auslastung liegt beim CSB zwischen 286.000 und 320.000 EW.

Die Hauptkläranlage Münster besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe und einer schwachbelasteten Belebungs-kaskade mit simultaner Nitrifikation / Denitrifikation und erhöhter Phosphorelimination im Hauptstromverfahren einschließlich vorgeschaltetem Selektorbecken. Der Belebtschlamm wird im Nachklärbecken vom gereinigten Abwasser abgetrennt und danach in einer anaerob-mesophilen Schlammfäulung mit anschließender maschineller Schlammentwässerung behandelt. Der entwässerte Schlamm wird landwirtschaftlich entsorgt.

Ein vereinfachtes Fließbild der Hauptkläranlage Münster zeigt Abbildung 1-1.



**Abbildung 1-1: Vereinfachtes Fließbild der HKA Münster**

Die Stadt Münster als Betreiberin der Hauptkläranlage Münster hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschieden, eine Machbarkeitsstudie für die HKA Münster in Auftrag zu geben. Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um die Kurzfassung dieser Studie. Sie stellt die wesentlichen Inhalte der Studie dar.

## 2 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

In der Hauptkläranlage Münster werden keine relevanten Abwassermengen von industriellen Einleitern behandelt. Durch die einleitenden Krankenhäuser und Kliniken wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions-, Reinigungs- und Röntgenkontrastmitteln erwartet.

Medikamentenrückstände und Röntgenkontrastmittel werden zusätzlich auch mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen. Durch die Arzneimittelaufnahme der Bevölkerung sowie die ggf. nicht fachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln ist mit einem Eintrag dieser Stoffe ins Abwasser und damit in die Kläranlage zu rechnen. Weitere Chemikalien- und Spurenstoffeinträge ins Abwasser sind möglich, z.B. durch Reinigungsmittel, Körperpflegeprodukte, durch Imprägniermittel, die aus Kleidung ausgewaschen

werden, etc. Des Weiteren ist z.B. durch die Auswaschung von Bioziden aus Fassadenanstrichen oder durch das Abspülen von Abrieb auf Straßen mit einem Eintrag von Stoffen in die Kanalisation oder in die Umwelt zu rechnen.

Der Eintrag verschiedener Stoffe in die Vorfluter Wöstebach und Beckschembach wird im Wesentlichen durch das eingeleitete Wasser von der Hauptkläranlage Münster verursacht. Andererseits wird auch durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen ein Eintrag in die Vorfluter verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft.

In unmittelbarer Nähe zur Hauptkläranlage Münster liegt das Vogelschutzgebiet „Rieselfelder Münster“, durch das beide Vorfluter hindurch fließen. Der Ableiter zum Beckschembach liegt außerdem in unmittelbarer Nähe zum Naturschutzgebiet „Gelmerheide“. Die Ems liegt im Bereich der Mündungsstelle des Beckschembaches darüber hinaus im FFH- und Naturschutzgebiet „Emsaue“.

### **3 Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination**

Um eine weitergehende Elimination von Spurenstoffen zu erreichen, können prinzipiell verschiedene adsorptive, oxidative und physikalische Verfahren eingesetzt werden.

#### **3.1 Oxidative Verfahren:**

Bei der Oxidation werden die Abwasserinhaltsstoffe durch die Zugabe eines Oxidationsmittels chemisch verändert (oxidiert). Die Ausgangsstoffe werden durch Veränderungen in der chemischen Struktur oder die Aufspaltung von Molekülen in Reaktionsprodukte umgewandelt und teilweise einer weiteren biologischen Umsetzung zugänglich gemacht. Die Ausgangsstoffe verlieren damit normalerweise ihre ursprüngliche Wirkung.

Zu den oxidativen Verfahren zählen neben einer Ozon-Behandlung auch die Chlorung mit Chlor und Chlordioxid, die Dosierung von Ferrat, die Photolyse und weitere Verfahren der erweiterten Oxidation (AOP = advanced oxidation processes).

#### **3.2 Physikalische Verfahren:**

Zu den physikalischen Verfahren gehören die adsorptiven Verfahren mit Aktivkohle in granulierter oder pulverisierter Form. Auch eine physikalische Behandlung des Abwassers mit einer Nanofiltration oder einer Umkehrosmose führt zu einer Abscheidung von Mikroschadstoffen.

Bei der Adsorption werden die Abwasserinhaltsstoffe mit dem sogenannten Adsorbens (z.B. Aktivkohle) in Kontakt gebracht. Das Adsorbens verfügt über eine große Oberfläche, an die sich die Abwasserinhaltsstoffe anlagern können. Die zu eliminierenden Inhaltsstoffe werden dann mit dem beladenen Adsorbens aus dem System entfernt.

Bei der Filtration erfolgt die Abtrennung der Abwasserinhaltsstoffe über eine selektive Membran. Da es sich bei den für die Spurenstoffelimination relevanten Stoffen um Einzelmoleküle handelt, müssten zu deren Elimination mindestens Nano- und Ultrafiltrationsmodule eingesetzt werden. Dabei wird das Abwasser mit großen Drücken durch die Membran gepresst. Nur Wasser und kleinste Moleküle treten durch die Membran durch. Die zurückgehaltenen Stoffe verbleiben im sogenannten Retentat, das entsorgt werden muss, das gereinigte Abwasser fließt in den Vorfluter ab.

### 3.3 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen

Bei der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung wurde bisher eine Vielzahl von Verfahren in Pilotversuchen oder halbtechnischen sowie großtechnischen Anlagen eingesetzt, um verschiedenste Abwasserinhaltsstoffe zu entfernen. Einige der Verfahren sind geeignet, eine große Bandbreite an Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser zu entfernen. Andere sind zu spezifisch und können nur wenige Substanzen erfolgreich eliminieren. Für einige Verfahren liegen noch nicht genug Kenntnisse vor, um einen Einsatz abschließend zu bewerten. Ist die Breitbandwirkung nicht gegeben, ist das Verfahren generell nicht geeignet, um eine ausreichende Spurenstoffelimination aus Abwasser zu bewirken.

Nano- und Umkehrososeverfahren sind theoretisch in der Lage die gesamte Anzahl an Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Auch technisch wären diese Verfahren auf Kläranlagen zu integrieren. Die hohen Kosten und die großen Mengen an Konzentrat, die bei diesen Verfahren anfallen, schließen diese Verfahren zurzeit jedoch für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen aus. Auch zukünftig wird die Konzentratentsorgung flächendeckend logistisch und wirtschaftlich nicht eingerichtet werden können.

Die Photolyse scheidet für die Spurenstoffelimination aus Abwasser aus, da nur sehr wenige Verbindungen entfernt werden können. Der Einsatz von Chlor und Chlordioxid kommt aus zwei Gründen für die Spurenstoffelimination aus Abwasser nicht in Frage. Zum einen ist durch den relativ großen Anteil organischer Verbindungen auch im gereinigten Abwasser die Gefahr der Bildung von problematischen Nebenprodukten wie z.B. AOX möglich. Zum anderen ist auch eine Breitbandwirkung des Verfahrens nicht gegeben.

Für das Verfahren der Ferrat- Dosierung liegen noch nicht genügend Erfahrungen vor, um eine zuverlässige Aussage über die Eignung zu machen, zusätzlich sprechen heute noch ökonomische Gründe gegen den Einsatz, weil Ferrat bisher nur in „Kleinstmengen“ produziert wird und entsprechend teuer ist. Aufgrund der Kombinationsmöglichkeit mit einer weitergehenden Phosphorelimination ist dieses Verfahren durchaus vorteilhaft. Weitere Untersuchungen müssen jedoch abgewartet werden.

Für die AOP-Verfahren liegen beim Einsatz für die Spurenstoffelimination aus Abwasser ebenfalls noch zu wenige Erfahrungen vor. Nach jetzigem Kenntnisstand verursacht der Einsatz dieser Verfahren jedoch zu hohe Kosten.

Nach heutigem Kenntnisstand ist insbesondere der Einsatz von Aktivkohle oder Ozon für eine weitergehende Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet und auch in bestehende Anlagen integrierbar.

Sowohl die Behandlung des Abwassers mit Aktivkohle als auch mit Ozon erwies sich in Pilotversuchen und in der Großtechnik als geeignet, eine große Zahl von Mikroverunreinigungen weitgehend aus dem Abwasser zu entfernen. Daneben wurde nachgewiesen, dass nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen (z.B. Hormonaktivität) verringert werden (6). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenden Spurenstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die ursprünglichen Spurenstoffe sie aufweisen. Für diese Transformationsprodukte muss sichergestellt sein, dass sie nicht mit dem gereinigten Abwasser in den Vorfluter eingeleitet werden. Dies kann durch biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration erfolgen, wobei bei der Ozonung entstehende N-Oxide nur von GAK-Filtern zuverlässig zurückgehalten werden.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass weder mit dem Einsatz von Aktivkohle noch mit dem Einsatz von Ozon alle Mikroverunreinigungen vollständig zu entfernen sind.

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granuliert Aktivkohle (GAK). Beim Einsatz der Pulveraktivkohle werden die besten Eliminationsleistungen erreicht, wenn die Dosierung der PAK in ein Kontaktbecken mit ausreichender Verweilzeit und einer ausreichend hohen PAK Dosierrate erfolgt und eine Rezirkulation der PAK betrieben wird. Es ist auch möglich, die PAK in den Flockungsraum eines Filters zu dosieren. Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle wurden teilweise sehr unterschiedliche Eliminationsleistungen festgestellt (7). Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (8) liegen die durchsetzbaren Bettvolumina in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt des Abwassers bei 5.000 bis 10.000 BV (DOC 14 bis 17 mg/l) bzw. 4.700 bis 24.000 BV (5 bis 11 mg/l DOC). Zu beachten ist jedoch bei der Betrachtung der erreichbaren Bettvolumina, dass eine Parallelschaltung der GAK-Adsorber zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit zu einer längeren Standzeit der GAK-Filter führt als die Betrachtung eines einzelnen Adsorbers (8).

## **4 Messprogramm zur Spurenstoffelimination auf der HKA Münster und Verfahrensvorauswahl**

### **4.1 Vorliegende Untersuchungen auf Spurenstoffe**

Die Vorfluter der Hauptkläranlage Münster – Wöstebach und Beckschembach – sowie die Ems und die Münstersche Aa, in die die eigentlichen Vorfluter jeweils kurz nach dem Kläranlagenablauf münden, wurden in den vergangenen Jahren regelmäßig untersucht. Die Untersuchungen wurden vom Umweltlabor ACB durchgeführt. Diese Messungen zeigen für die Parameter  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  und P keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Konzentrationen in der Münsterschen Aa und Ems vor und hinter den jeweiligen Einleitstellen von Wöstebach bzw. Beckschembach. Es wurden sowohl Konzentrationserhöhungen als auch Konzentrationsabnahmen festgestellt.

Die Messungen der Münsterschen Aa zeigen bis zum Jahr 2013 zum Teil deutliche Unterschiede ober- und unterhalb der Mündungsstelle des Wöstebachs insbesondere im Hinblick auf die Parameter Chlorid, Eisen, Mangan und EDTA. Da diese Parameter ab dem Jahr 2014 nicht mehr untersucht wurden, kann die aktuelle Situation nicht beurteilt werden. Im Gegensatz dazu zeigen die Messungen in der Ems ober- und unterhalb der Einmündungsstelle des Beckschembaches (bis auf einige Auffälligkeiten der Parameter Eisen, Mangan und teilweise EDTA) keine wesentlichen Veränderungen durch die Einleitung der Hauptkläranlage Münster. Dies liegt vermutlich einerseits daran, dass die Belastung der Ems bereits oberhalb der Kläranlage höher ist als die Belastung der Münsterschen Aa oberhalb der Kläranlage. Andererseits ist die Ems auch bezogen auf die Wassermenge ein stärkerer Vorfluter als die Münstersche Aa.

#### 4.2 Beschreibung und Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der HKA Münster

Für die Vorfluter wurde das folgende Messprogramm durchgeführt (Tabelle 4-1):

**Tabelle 4-1: Messprogramm Münstersche Aa / Ems**

<b>Untersuchungsparameter Vorfluter (Ems / Münstersche Aa)</b>	
<b>Stoffgruppe</b>	<b>Parameter</b>
ACP's	pH-Wert, Leitfähigkeit, NH <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> -N, F, Br, NO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> -N, PO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> -P, N <sub>ges.</sub> , Kjeldahl-N, P <sub>ges.</sub> , SO <sub>4</sub> , Cl, Säurekapazität
Schwermetalle	Ag
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Naphthalin, Acenaphtylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren
Octyl- / Nonylphenole	4-tert.-Octylphenol, 4-n-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE), 4-Nonylphenol-dioethoxylat (NP2OE), 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE), 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE), Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, 4-n-Octylphenol, 4-Nonylphenol
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28), 2,4,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47), 2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154), 2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183), Decabromdiphenylether (BDE 209)
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Bezafibrat, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Phenazon, Clarithromycin, Naproxen, Bisoprolol, Oxazepam
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure, Iopromid
Steroid-Hormone	17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol, Estron (E1)
Süßstoffe	Acesulfam K, Saccharin, Cyclamat, Sucralose
Organozinnverbindungen	Tributylzinn
Pflanzenschutzmittel-Rückstände	Benzotriazol, Diuron, Isoproturon, Terbutryn, Atrazin, Simazin, Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorhexan (gamma-(Lidan))

Die Ergebnisse zeigen deutliche Veränderungen der Münsterschen Aa, insbesondere im Bereich der Medikamentenrückstände, Süßstoffe und Röntgenkontrastmittel. Die gelegentlich gefundenen Konzentrationsabnahmen können entweder (insbesondere bei den ACP's) durch Verdünnung der in der Münsterschen Aa enthaltenen Konzentrationen durch den Wöstebach oder (insbesondere bei Betrachtung der Medikamentenrückstände) durch Zufallsfehler, die durch die geringe Probenanzahl verursacht werden, entstehen. Auffällig ist, dass die Zunahmen in der Ems weniger deutlich ausfallen, was zum einen durch die höhere bereits vorhandene Belastung, zum anderen auch durch die größere Wassermenge verursacht wird. Besonders bei den Röntgenkontrastmitteln und dem Parameter Tributylzinn kommt es jedoch auch in der Ems nach der Einmündung des Beckschembaches zu signifikanten Konzentrationszunahmen.

Auch für den Kläranlagenablauf wurden Untersuchungen durchgeführt. Das Messprogramm findet sich in Tabelle 4-2.

**Tabelle 4-2: Untersuchte Parameter im Ablauf der Hauptkläranlage Münster**

<b>Untersuchungsparameter Ablauf</b>	
<b>Stoffgruppe</b>	<b>Parameter</b>
ACP's	pH-Wert, Leitfähigkeit, NH <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> -N, F, Br, NO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> -N, PO <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> -P, N <sub>ges.</sub> , Kjeldahl-N, P <sub>ges.</sub> , SO <sub>4</sub> , Cl, Säurekapazität
Summenparameter	AOX, BSB5, Cyanid, ges., Phenol-Index nach Destillation, TOC
Schwermetalle	Hg <sup>1)</sup> , As <sup>1)</sup> , Pb <sup>1)</sup> , Cd <sup>1)</sup> , Cr <sup>1)</sup> , Cu <sup>1)</sup> , Ni <sup>1)</sup> , Sn <sup>1)</sup> , Ag, Zn <sup>1)</sup>
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)phtalat (DEHP)
Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	Benzol <sup>1)</sup> , Toluol <sup>1)</sup> , m-,p-Xylol <sup>1)</sup> , o-Xylol <sup>1)</sup>
Chlorphenole	Pentachlorphenol <sup>1)</sup>
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	Dichlormethan <sup>1)</sup> , Trichlormethan <sup>1)</sup> , Tetrachlormethan <sup>1)</sup> , Trichlorethen <sup>1)</sup> , Tetrachlorethen <sup>1)</sup> , 1,2-Dichlorethan <sup>1)</sup>
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	PCB Nr. 28 <sup>1)</sup> , PCB Nr. 52 <sup>1)</sup> , PCB Nr. 101 <sup>1)</sup> , PCB Nr. 138 <sup>1)</sup> , PCB Nr. 153 <sup>1)</sup> , PCB Nr. 180 <sup>1)</sup>
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Naphthalin, Acenaphtylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)	2,3,7,8-TCDD <sup>1)</sup> , 1,2,3,7,8,-PeCDD <sup>1)</sup> , 1,2,3,4,7,8-HxCDD <sup>1)</sup> , 1,2,3,6,7,8-HxCDD <sup>1)</sup> , 1,2,3,7,8,9-HxCDD <sup>1)</sup> , 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD <sup>1)</sup> , OctaCOO <sup>1)</sup> , Summe TetraCDD <sup>1)</sup> , Summe PentaCDD <sup>1)</sup> , Summe HexaCDD <sup>1)</sup> , Summe HeptaCDD <sup>1)</sup>
Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)	2,3,7,8-TCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,7,8-PeCDF <sup>1)</sup> , 2,3,4,7,8-PeCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,4,7,8-HxCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,6,7,8-HxCDF <sup>1)</sup> , 2,3,4,6,7,8-HxCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,7,8,9-HxCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF <sup>1)</sup> , 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF <sup>1)</sup> , OctaCDF <sup>1)</sup> , Summe TetraCDF <sup>1)</sup> , Summe PentaCDF <sup>1)</sup> , Summe HexaCDF <sup>1)</sup> , Summe HeptaCDF <sup>1)</sup>
Octyl- / Nonylphenole	4-tert.-Octylphenol, 4-n-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE), 4-Nonylphenol-dioethoxylat (NP2OE), 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE), 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE), Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, 4-n-Octylphenol, 4-Nonylphenol
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28), 2,4,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47), 2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154), 2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183), Decabromdiphenylether (BDE 209)
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Bezafibrat, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Phenazon, Clarithromycin, Naproxen, Bisoprolol, Oxazepam
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure, Iopromid
Steroid-Hormone	17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol, Estron (E1)
Süßstoffe	Acesulfam K, Saccharin, Cyclamat, Sucralose
Organozinnverbindungen	Tributylzinn
Pflanzenschutzmittel-Rückstände	Benzotriazol, Diuron, Isoproturon, Terbutryn, Atrazin, Simazin, Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorhexan (gamma-(Lidan))

<sup>1)</sup> nur im ersten Messdurchgang

In Tabelle 4-3 sind einige wichtige Ergebnisse der Analysen des Kläranlagenablaufes sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS zusammengefasst. Gelb unterlegt sind Ergebnisse, die über dem Mittelwert vergleichbarer Anlagen liegen, orange markiert sind Ergebnisse, die den Maximalwert anderer Anlagen überschreiten. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Spurenstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

**Tabelle 4-3: Ergebnisse der Analysen, bei denen erhöhte Werte gefunden wurden**

Parameter	Einheit	Ablauf HKA, 7.8.15	Ablauf HKA, 27.8.15	Mittelwert HKA	MW Referenz	MAX Referenz
<i>Kationen, Anionen und Nichtmetalle</i>						
Br	mg/l	0,4	0,32	0,36		
<i>Schwermetalle</i>						
Cu	mg/l	0,0032			<BG	
<i>Nonylphenole</i>						
Bisphenol A	µg/l	0,38	0,26	0,3	<BG	
<i>Arzneimittel-Rückstände</i>						
Sulfamethoxazol	µg/l	0,74	0,36	0,6	0,41	1,1
Bezafibrat	µg/l	<0,2	0,21	0,2	0,13	0,38
Metoprolol	µg/l	3,2	2,7	3,0	1,98	5,1
Naproxen	µg/l	0,47	0,29	0,4	0,39	3,7
Oxazepam	µg/l	1,2	<0,2	0,7	0,15	0,35
<i>Pflanzenschutzmittel-Rückstände</i>						
Benzotriazol	µg/l	10	7,9	9,0	5,5	18
Terbutryn	µg/l	0,16	0,22	0,19	0,06	0,152
<i>Süßstoffe</i>						
Saccharin	µg/l	0,15	0,67	0,41	0,26	0,74
Sucralose	µg/l	5,1	4,2	4,65	1,89	4,1
<i>Röntgenkontrastmittel</i>						
Iopamidol	µg/l	2,4	1,6	2,0	2,14	7,7
Iomeprol	µg/l	28	22	25,0	7,60	84
Amidotrizoesäure	µg/l	3,4	2,4	2,9	1,38	4,9
Iopromid	µg/l	23	28	25,5	0,61	2,58

Die Ergebnisse zeigen für einige Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Bisphenol A, Terbutryn, Sucralose und Iopromid). Auffällig sind auch die recht hohen Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers (Varianten 3 und 5) wichtig sind. In Anbetracht des umfangreichen Messprogramms wurde jedoch insgesamt nur eine geringe Anzahl an Spurenstoffen nachgewiesen, die die vorliegenden Vergleichswerte überschreiten.

In Tabelle 4-4 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination der im Ablauf der HKA Münster nachgewiesenen Spurenstoffe zusammengefasst. Es zeigt sich, dass keines der Verfahren alle nachgewiesenen Spurenstoffe gleich gut entfernen kann. Für

einige Stoffe gibt es zurzeit überhaupt keine befriedigenden Eliminationsverfahren (z.B. Amidotrizesäure).

**Tabelle 4-4: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der HKA Münster gefundenen Spurenstoffe**

Bewertung der Eliminationsleistung						
	Ozon-Behandlung	PAK 4. RS, ohne Rezirkulation in Biol.	PAK 4. RS, mit Rezirkulation in Biol.	PAK Dosierung in Belebung	GAK	Kläranlage ohne vierte Reinigungsstufe
<b>Antibiotika</b>						
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
<b>Betablocker</b>						
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
<b>Hormone</b>						
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
<b>weitere Humanpharmaka</b>						
Naproxen	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	k.A.	mäßig	mäßig
Oxazepam	Gut	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
<b>Röntgenkontrastmittel</b>						
Amidotrizesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig
<b>Zuckerersatzstoffe</b>						
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
<b>weitere Spurenstoffe</b>						
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht

Gut = Eliminationsleistung zwischen 75 und 100 %; mäßig = Eliminationsleistung zwischen 40 und 75%; schlecht = Eliminationsleistung zwischen 0 und 40%; k.A. = keine Angaben/ nicht (ausreichend) untersucht

Auch wenn ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt wurde, könnten weitere Spurenstoffe enthalten sein. Hinzu kommt, dass es sich bei den Messungen lediglich um Stichproben handelt. Eine abschließende Beurteilung und eindeutige Verfahrensvorauswahl ist auf der Grundlage dieser Daten allein nicht zu treffen. Zusätzlich ist vor dem Hintergrund, dass auch in Zukunft immer neue Substanzen mit verschiedenen chemisch-physikalischen Eigenschaften entwickelt werden und in Umlauf gelangen, eine Festlegung auf ein bestimmtes Vorzugsverfahren schwierig. Im Blickpunkt sollte deshalb immer die potenzielle Breitbandwirkung der Verfahren stehen.

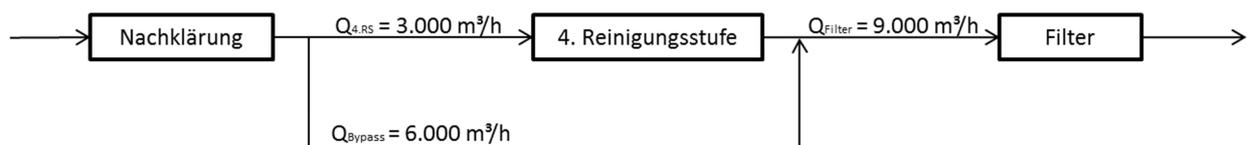
Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken, dabei kann die Aktivkohle zusätzlich auch rezirkuliert werden, um eine möglichst vollständige Beladung der Aktivkohle zu erreichen (Variante 2). Bei dieser Variante wird mit die beste Eliminationsleistung erzielt, jedoch ist auch die Verfahrensführung (Führung des Abwassers aus der Nachklärung in das Kontaktbecken, dann Sedimentationsbecken, dann Filtration) aufwändiger als bei den anderen Verfahren.

Zusätzlich wird für die Hauptkläranlage Münster auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) sowie der Einsatz granulierter Aktivkohle (Variante 4) untersucht. Als eine Kombination dieser beiden Varianten wird die Variante 5 betrachtet. Da Variante 5 eine reine Kombination zweier Varianten ist, findet hier eine rein qualitative Untersuchung statt – die spezifischen Kosten werden nicht in den Vergleich einbezogen.

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Hauptkläranlage Münster geeignet sind und nachfolgend untersucht werden:

- Variante 1: PAK-Dosierung direkt in die Belebung
- Variante 2: PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken mit anschließendem Sedimentationsbecken
- Variante 3: Ozon-Behandlung
- Variante 4: GAK-Filtration
- (Variante 5: Ozonbehandlung mit nachgeschalteter GAK-Filtration)

Optional wird für alle Verfahren vorgesehen, dass sich an die 4. Reinigungsstufe eine Flockungsfiltration anschließt. Diese dient, je nach Variante, zur Abscheidung der PAK, zur Bereitstellung eines biologisch aktiven Filters bzw. zur Abscheidung von Restsuspensa. Dabei wird die Flockungsfiltration für eine Vollstrombehandlung von 9.000 m<sup>3</sup>/h ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 4 wird auf 3.000 m<sup>3</sup>/h bemessen. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von 6.000 m<sup>3</sup>/h vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 4 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 4-1).



---

**Abbildung 4-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration**

#### 4.3 Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe

Auf der Hauptkläranlage Münster stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind nördlich des Kläranlagengebietes vorhanden. Sie sind in Abbildung 4-2 gezeigt.

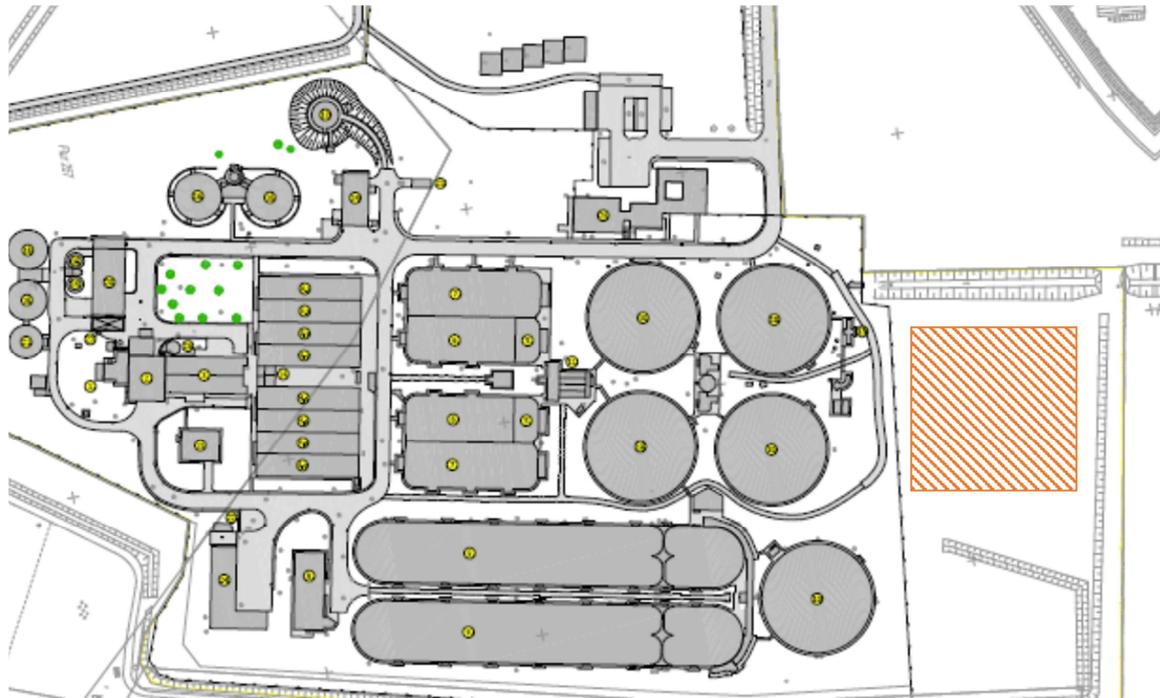


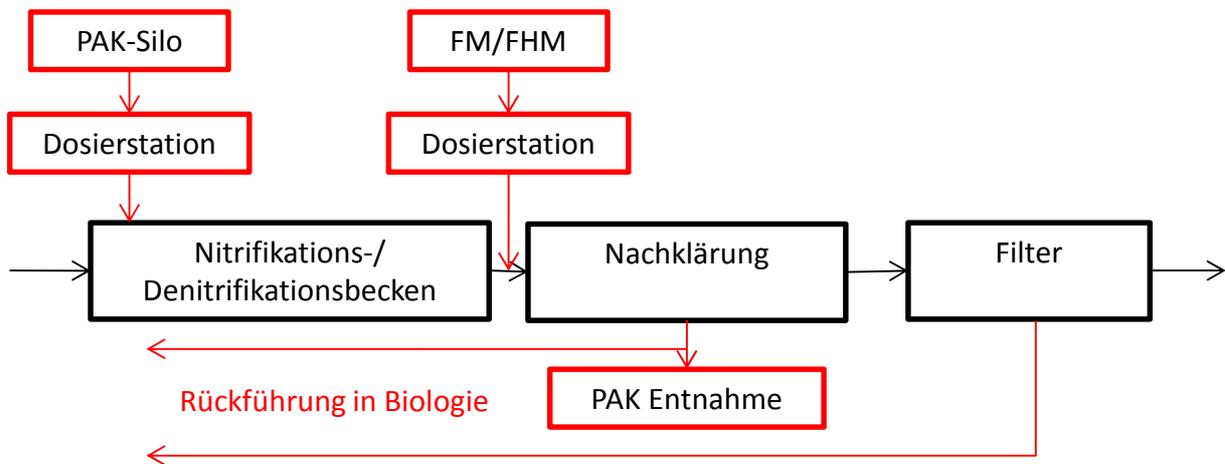
Abbildung 4-2: Erweiterungsgebiet (schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

#### 4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Bei den Varianten 1-3 ist eine Führung des Abwasserstroms im Freigefälle möglich. Nur bei den Varianten 4 (GAK-Filtration des Abwassers) und 5 (Ozonung mit anschließender GAK-Filtration) ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der GAK-Filter erforderlich.

#### 4.5 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung

Bei einer Dosierung von Pulveraktivkohle direkt in die Belebung wird die vorhandene Belebung als Kontaktbecken für die PAK und die Nachklärung als Sedimentationsstufe für die PAK genutzt. Der biologische Teil der Hauptkläranlage Münster besteht aus 2 Selektorbecken, 2 Bio-P- / Anaerobbecken, 2 Nitrifikationsbecken, 2 Nitrifikations- und Denitrifikationsbecken und 5 Nachklärbecken. Möglich ist eine PAK-Dosierung in die Nitrifikations- / Denitrifikationsbecken ( $V = 2 * 22.500 \text{ m}^3$ ) und die Abscheidung der PAK in der Nachklärung ( $V = 5 * 7.800 \text{ m}^3$ ). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 4-3 gezeigt.



**Abbildung 4-3: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1)**

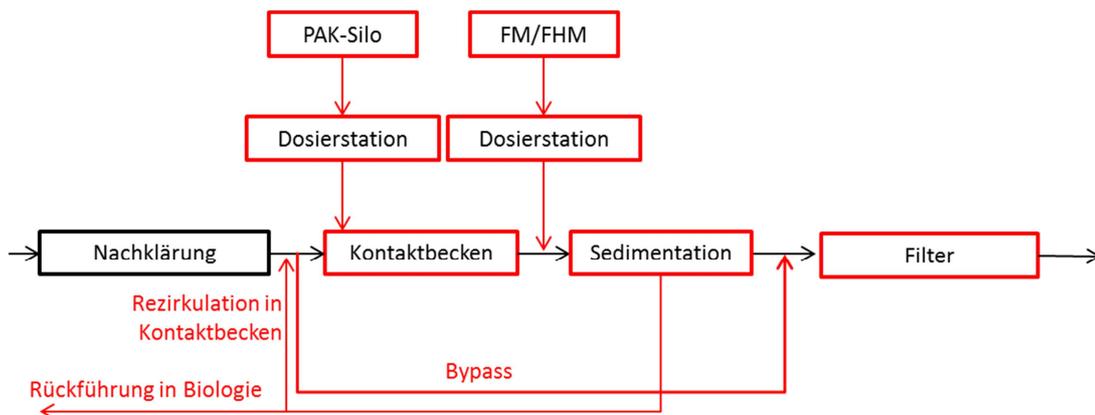
#### Anordnung der Flockungsfiltration

Bei dieser Variante muss ein zuverlässiger Rückhalt der eingesetzten PAK gewährleistet werden. Daher wird im Anschluss eine Flockungsfiltration geplant. Diese umfasst 16 Scheibentuchfilter mit einer Filterfläche von jeweils 90 m<sup>2</sup>. Das Abwasser kann der Flockungsfiltration im Freigefälle zugeführt werden.

#### 4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit den Abwasserstrom der Hauptkläranlage Münster mittels Pulveraktivkohle (PAK) zu behandeln, ist die PAK-Dosierung in eine separate Behandlungsstufe, die sich an die Nachklärung anschließt. Das gereinigte Abwasser wird in ein Kontaktbecken geleitet, in welches die PAK dosiert wird. In den folgenden Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene PAK vom behandelten Abwasser getrennt. Eine Filtration ist zur Abtrennung von Rest-PAK aus dem Ablauf der Sedimentationsstufe und zur weitergehenden Phosphorelimination vorgesehen.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für die Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 4-4 dargestellt.



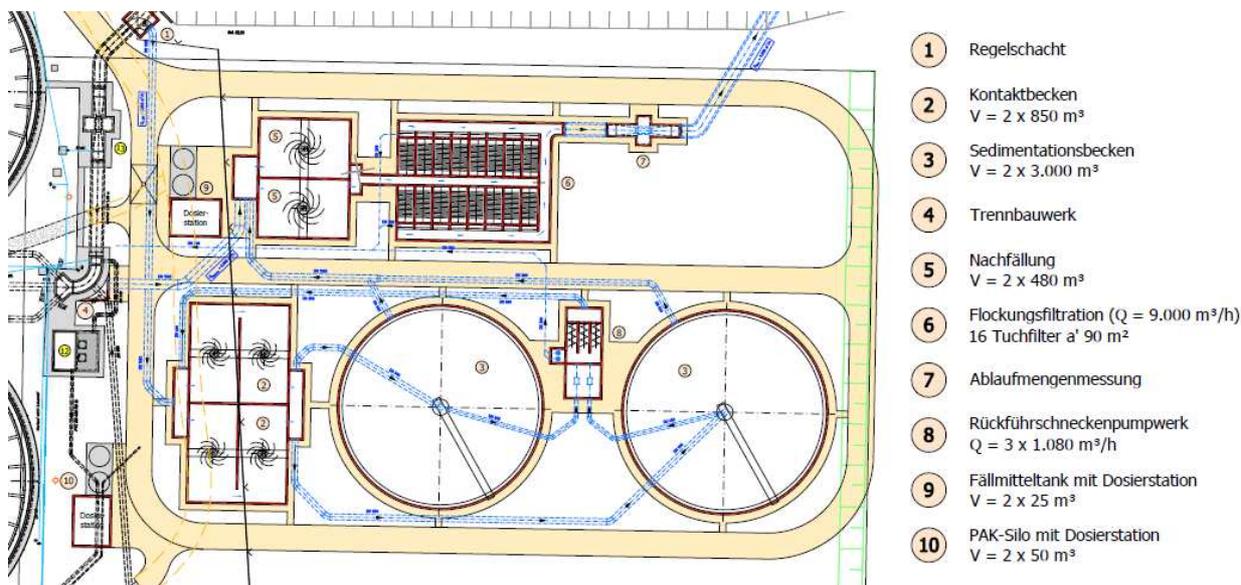
**Abbildung 4-4: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2)**

Anordnung der PAK-Dosierung (Kontakt- und Sedimentationsbecken) und Flockungsfiltration

Das Abwasser wird der 4. Reinigungsstufe im Freigefälle zugeführt. Die Kontaktbecken werden als zwei rechteckige Becken mit jeweils einer Leitwand und 2 Rührwerken ausgeführt. Sie haben jeweils ein Volumen von 850 m<sup>3</sup>. Vor der Ausführung sollte die optimale Beckengeometrie z.B. unter Nutzung der Strömungssimulation detailliert untersucht werden.

Nachgeschaltet befinden sich die Sedimentationsbecken, die als Rundbecken ausgeführt werden. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Schneckenpumpwerk vorgesehenen ( $Q = 3 \cdot 1.080$  m<sup>3</sup>/h inkl. Reserve). Die nachgeschaltete Flockungsfiltration ist für die Vollstrombehandlung ausgelegt und umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m<sup>2</sup>.

Die Verfahrensvariante PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 4-5 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 4-6 als Längsschnitt gezeigt.



**Abbildung 4-5: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt**

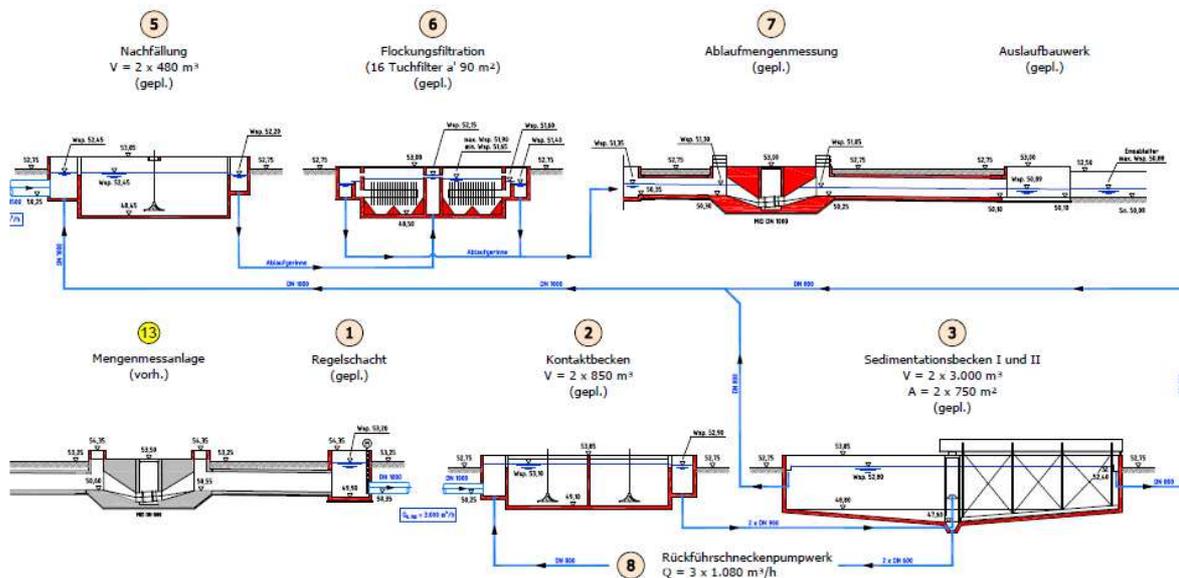


Abbildung 4-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

#### 4.7 Variante 3: Ozonbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. Um eine effektive Ausnutzung des Ozons für die Mikroschadstoffelimination sicher zu stellen, ist eine niedrige organische Hintergrundbelastung Voraussetzung. Eine effektive Nachklärung ist deshalb für die nachfolgende Ozonbehandlung von elementarer Bedeutung. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignen sich z.B. biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration (8).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 4-7 gezeigt.

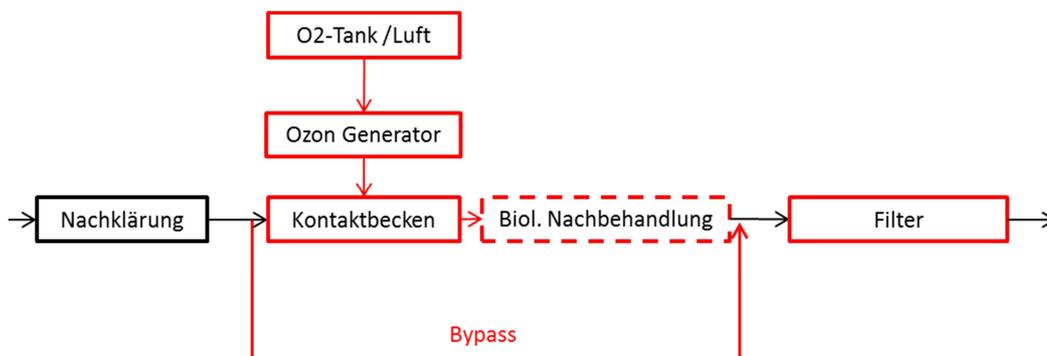
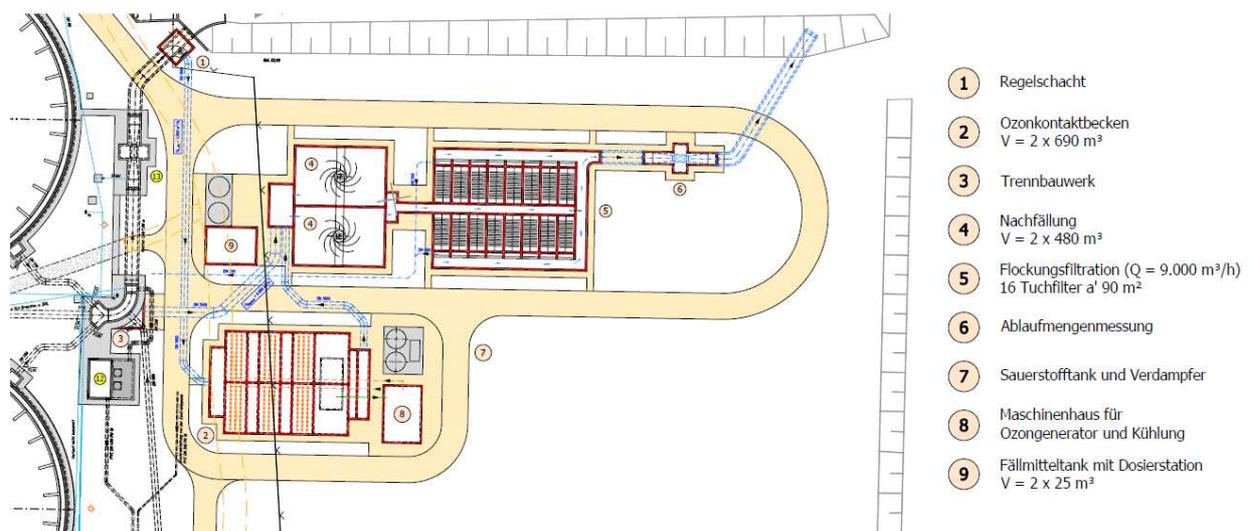


Abbildung 4-7: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3)

Anordnung der Ozonanlage und Flockungsfiltration:

Auch bei dieser Variante wird das Abwasser der 4. Reinigungsstufe im Freigefälle zugeführt. Das Abwasser durchläuft den Ozonreaktor und danach die Flockungsfiltration. Auch hier wird die Flockungsfiltration als Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m<sup>2</sup>. Für den Ozonerzeuger, die Sauerstofftanks sowie die notwendige Kühleinheit wird ein neues Betriebsgebäude benötigt.

Ein Lageplanausschnitt für die Variante 3 (Ozon) ist in Abbildung 4-8 gezeigt, ein Längsschnitt in Abbildung 4-9.



**Abbildung 4-8: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt**

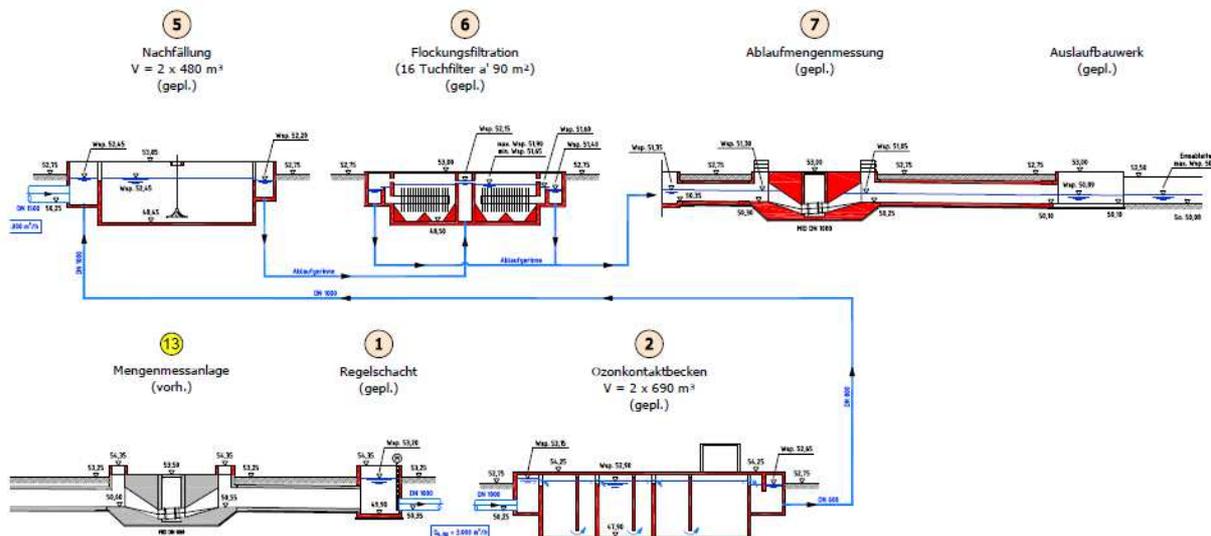


Abbildung 4-9: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

#### 4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden. Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung wird dabei den GAK-Filtern zugeführt. Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung muss eine Vorfiltration des Abwassers erfolgen, um die GAK-Filter vor einer zu schnellen Verblockung zu schützen und zu häufige Rückspülungen des GAK-Filters zu verhindern. Vor der Umsetzung dieser Variante am Standort Münster muss detailliert untersucht werden, wo die Flockungsfiltration optimal angeordnet werden sollte. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für den Einsatz der GAK-Filtration ist in Abbildung 4-10 dargestellt.

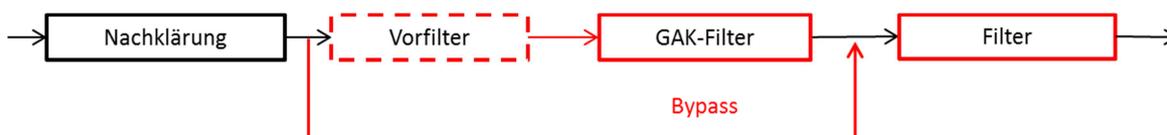


Abbildung 4-10: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

#### Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Im Fall der Variante 4 wird das Abwasser der GAK-Filtration über ein Zwischenpumpwerk zugeführt. Das Abwasser wird auf die 16 parallel betriebenen Filter verteilt. Die Flockungsfiltration kann vor oder nach

der GAK-Filtration betrieben werden. Wird diese vor der GAK-Filtration betrieben, erhöht sich jedoch die Standzeit der GAK. Die Flockungsfiltration ist auf eine Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m<sup>2</sup>.

Der Lageplanausschnitt für Variante 4 ist in Abbildung 4-11 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 4-12.

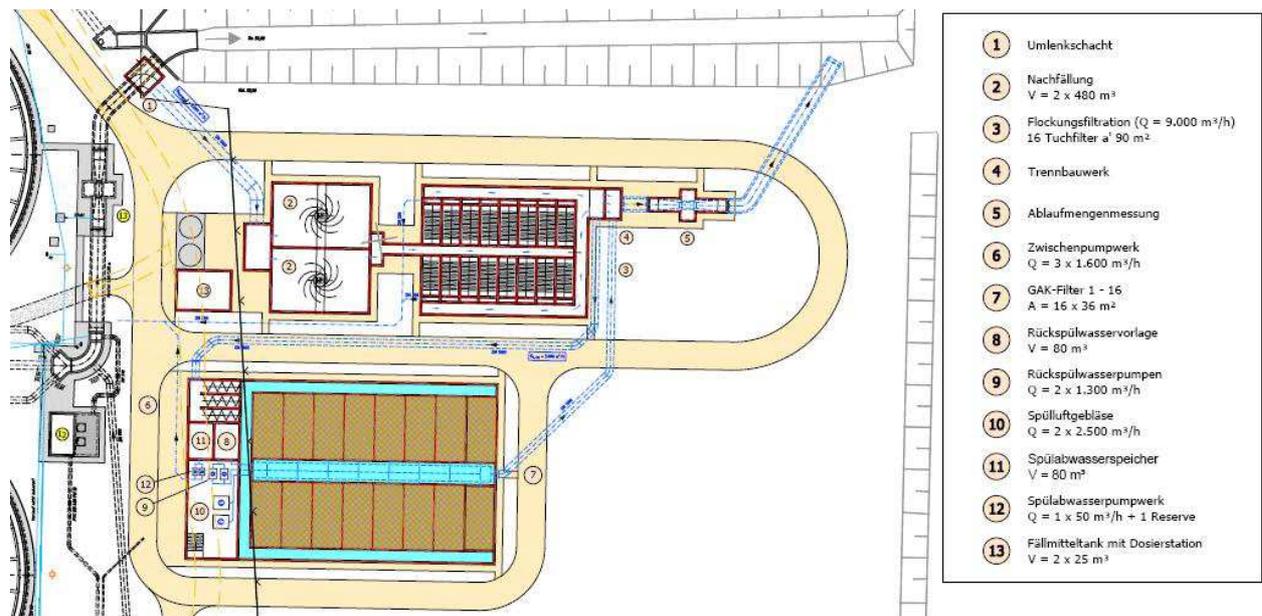


Abbildung 4-11: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplan

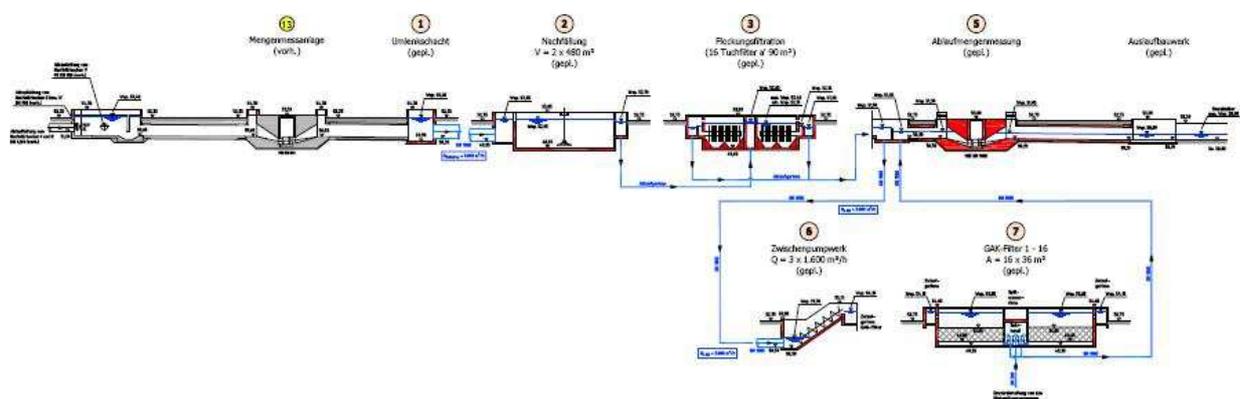


Abbildung 4-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

## 5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

### 5.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen Varianten ist eine Abschlussfiltration mittels Tuchfiltration für den Vollstrom enthalten (u.a. im Hinblick auf eine weitergehende P-Elimination).
- Zwei neue Fällmitteltanks ( $V = 2 \times 25 \text{ m}^3$ ) werden an der 4. Reinigungsstufe errichtet.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem separaten Maschinenhaus.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei Variante 4 (GAK-Filtration) muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe zu beschicken.
- Für die Unterbringung der neuen Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse für Variante 4 ist ein Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Hochbauteil eingeplant.

Bei der Variante 1 ist gegebenenfalls eine Ertüchtigung der 5 Nachklärbecken erforderlich. Die dafür erforderlichen Investitionen betragen netto rund  $5 \times 300.000 \text{ €} = 1.500.000 \text{ €}$ , sie werden bei der Kostenschätzung und der wirtschaftlichen Bewertung nicht berücksichtigt.

Die Investitionen für die verschiedenen Verfahrensvarianten wurden anhand der Anlagenvorbemessung und der Lagepläne abgeschätzt und sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

**Tabelle 5-1: Zusammenstellung der geschätzten Investitionskosten (inkl. Tuchfiltration)**

	Variante 1 PAK-Dosierung in die Belebung	Variante 2 PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	1.847.000,00 €	4.195.000,00 €	3.016.000,00 €	4.482.000,00 €
Maschinentechnik- Kosten	3.597.000,00 €	4.235.000,00 €	4.403.000,00 €	4.728.200,00 €
EMSR-Technik-Kosten	719.000,00 €	847.000,00 €	881.000,00 €	946.000,00 €
Baunebenkosten	1.078.000,00 €	1.624.000,00 €	1.453.000,00 €	1.777.000,00 €
Investitionskosten netto	7.241.000,00 €	10.901.000,00 €	9.753.000,00 €	11.933.200,00 €
Investitionskosten brutto	8.616.790,00 €	12.972.190,00 €	11.606.070,00 €	14.200.508,00 €

Die Kostenangaben basieren auf den Submissionsergebnissen aus der Ausschreibung vergleichbarer Anlagen und auf Anfragen von Richtpreisen für Hauptkomponenten bei verschiedenen Lieferanten.

Die Investitionen sind für Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) mit 8.616.790 Euro brutto mit Abstand am niedrigsten. Bei dieser Variante sind die geringsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für

Variante 3 (Ozon) sind Investitionen von 11.606.070 Euro brutto erforderlich. Die Investitionen für die Aktivkohlevarianten liegen bei 12.972.190 Euro brutto für Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und bei 14.200.508 Euro brutto für Variante 4 (GAK).

Für die Ozonbehandlung und die GAK-Filtration wäre streng genommen verfahrenstechnisch keine Flockungsfiltration notwendig. Würde man diese Kosten entfallen lassen, dann ergäben sich Investitionen von ca. 5.600.000 Euro brutto für die Ozonbehandlung und ca. 8.200.000 Euro brutto für die GAK-Filtration. Die Filtration wurde für die Ozonung allerdings als biologisch aktiver Filter zur Entfernung möglicher Transformationsprodukte vorgesehen. Entfällt diese Filtration, so müsste ersatzweise eine biologische Nachbehandlung berücksichtigt werden. Bei der GAK-Filtration wurde davon ausgegangen, dass die Filtrationsstufe – falls erforderlich - der GAK-Filtration vorgeschaltet wird, um Restsuspensa zu entfernen. Würde die Filtrationsstufe entfallen, müsste mit kürzeren Rückspülintervallen gerechnet werden, die u.U. einen zuverlässigen Betrieb unmöglich machen würden.

Vor dem Hintergrund der Vorgaben der Bezirksregierung Münster hinsichtlich der Phosphorelimination auf anderen Kläranlagen in NRW wird jedoch für alle Verfahrensvarianten eine Flockungsfiltration berücksichtigt.

## 5.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten

Die jährlichen Betriebsmittel- und Verbrauchsmittelkosten setzen sich aus den Personalkosten, den Energiekosten, dem Verbrauch an Hilfsstoffen und Chemikalien (PAK, GAK, Fällmittel, Fällungshilfsmittel) und den Schlamm Entsorgungskosten zusammen. Bei der Berechnung der Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten wurden die folgenden spezifischen Kosten (netto) angesetzt:

Energiekosten:	0,168 Euro/kWh
Personalkosten für Facharbeiter:	40.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.500 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)
Schlamm Entsorgung:	320 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 19.215.851 m<sup>3</sup>/a. Für die Varianten 2-3 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von

17.698.216 m<sup>3</sup>/a angesetzt. Bei in Zukunft steigenden Abwassermengen erhöhen sich die Kosten entsprechend.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs wurden die Hauptverbraucher wie Pumpen, Rührwerke, Räumler und der Ozongenerator berücksichtigt.

Bei den Varianten mit PAK Dosierung (Varianten 1 und 2) wurde der zusätzliche Schlammanfall durch die PAK- und Fällmitteldosierung abgeschätzt. Die resultierenden Entsorgungskosten wurden in die Kostenschätzung mit aufgenommen.

Bei Variante 4 (GAK) wurde ein Bettvolumen von 15.000 BTV angesetzt. Damit ergibt sich für die Hauptkläranlage Münster eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von ca. 10,7 Monaten. Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die neue Filtrationsanlage (Tuchfiltration) ggf. vor der GAK-Filtration platziert wird und damit eine weitgehende AFS-Reduktion vor der GAK-Filtration erreicht wird. Falls vor der GAK-Filtration keine Vorfiltration des Ablaufs der Nachklärung stattfindet, müsste mit einer kürzeren GAK-Filterstandzeit gerechnet werden. Diese würde dann voraussichtlich zwischen 6 und 9 Monaten liegen.

Bei der Ozonungsanlage wurden Kosten in Höhe von 0,22 Euro/kg Sauerstoff angesetzt. Die spezifischen Kosten beinhalten auch die Miete für die Sauerstofflagereinheit.

Bei den Personalkosten wurden je nach Verfahren zwischen 16 – 20 Arbeitsstunden / Woche für die Betreuung der 4. Reinigungsstufe veranschlagt.

Tabelle 5-2 zeigt eine Zusammenfassung der auf das Jahr 2013 als Bezugsjahr umgerechneten Betriebskosten.

**Tabelle 5-2: Betriebskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013**

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Energie	[€/a]	45.316	81.963	438.322	81.148
Personal	[€/a]	15.762	19.703	15.762	15.762
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	190.277	253.907	244.120	280.518
Sauerstoff	[€/a]	0	0	266.598	0
PAK/GAK	[€/a]	559.521	257.666	0	573.163
FHM, FM	[€/a]	138.388	56.343	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	283.491	155.877	0	0
<b>Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€/a]</b>	<b>1.232.756</b>	<b>825.459</b>	<b>964.803</b>	<b>950.592</b>

Aus Tabelle 5-2 geht hervor, dass bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von 825.456 Euro netto/a zu rechnen ist. Die Betriebskosten der Variante 4 (GAK-Filtration) mit 950.592 Euro netto/a und Variante 3 (Ozonung) mit 964.803 Euro netto/a liegen

in einem ähnlichen Bereich. Die höchsten Betriebskosten weist Varianten 1 (PAK in Belebung) mit 1.232.756 Euro netto/a auf

### 5.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Berechnung der Kosten zugrunde gelegt. Die Kosten wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien auf das Bezugsjahr 2013 umgerechnet. Eine Zusammenstellung der Jahreskosten enthält Tabelle 5-3.

**Tabelle 5-3: Jahreskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013**

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Kapitalkosten	[€/a]	534.825	750.198	700.549	825.661
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	206.039	273.610	259.882	296.281
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	1.026.717	551.849	704.920	654.311
Jahreskosten	[€/a]	1.767.581	1.575.657	1.665.352	1.776.253

Die Jahreskosten liegen bei allen Varianten in einem ähnlichen Bereich. Es zeigt sich, dass die Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) mit 1.575.700 Euro netto die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Variante 3 (Ozon) liegt mit 1.665.400 Euro netto nur sehr wenig darüber. Variante 4 (GAK-Filtration) und Variante 1 (PAK in die Belebung) weisen Jahreskosten von 1.776.300 Euro und 1.767.600 Euro netto auf.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m<sup>3</sup> Abwasser liegen für alle Varianten um 0,10 Euro netto (0,09 Euro netto (Varianten 1,2 und 3) und 0,10 Euro netto (Variante 4)). Die spezifischen Kosten je Einwohner liegen bei unter 10 Euro netto pro Jahr (5,63 Euro netto (Variante 2) bis 6,34 Euro netto (Variante 4)).

### 5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für die HKA Münster verschiedene Annahmen getroffen, die die Kostensituation wesentlich beeinflussen.

Insgesamt sind die ermittelten Investitionen verhältnismäßig hoch. Dieses liegt unter anderem daran, dass wie schon zuvor erläutert bei allen Varianten eine Flockungsfiltration (hier als Tuchfiltration) bei der Kostenberechnung berücksichtigt wurde. Diese könnte theoretisch bei den Varianten 3 (Ozon) und 4 (GAK-Filtration) entfallen und im Falle der Variante 3 (Ozon) durch eine andere biologische Nachbehandlung ersetzt werden (z.B. Wirbelbett), wodurch sich die Investitionen verringern würden. Hinsichtlich des Ziels der Verbesserung der Kläranlagenablaufwerte auch im Hinblick auf die allgemeinen chemisch-

physikalischen Parameter (ACP's) wie  $P_{ges}$ , CSB bzw. TOC kann der Verzicht auf eine Flockungsfiltration in Variante 3 nicht favorisiert werden. Bei Variante 4 (GAK-Filtration) wird die Flockungsfiltration ggf. vor die GAK-Filtration geschaltet. Durch die höhere Spülhäufigkeit, die durch hohe AFS-Werte im Zulauf zur GAK-Filtration verursacht werden würde, könnte ein sicherer Filterbetrieb anderenfalls u.U. nicht gewährleistet werden (8).

Des Weiteren ergeben sich hohe Investitionen, weil auf der Kläranlage keine Bestandsbauwerke zur Unterbringung von Anlagenteilen genutzt werden können. Für die Aufstellung neuer Aggregate (z.B. Pumpen oder Ozonerzeuger) werden Gebäude in Massivbauweise vorgesehen und keine Containerlösungen. Einsparpotenziale wären hier vorhanden, werden jedoch nicht als Vorzugslösung angesehen.

Einen besonders hohen Anteil an den Betriebsmittelkosten verursachen die Verbräuche an Chemikalien und Hilfsmitteln. Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle wurden über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Für die granulierten Aktivkohle wurde eine Annahme für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BTV = 15.000). Damit ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von ca. 10,7 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch drastisch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Die Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination gibt derzeit als Ziel eine Elimination von 80 % zwischen dem Zulauf der biologischen Stufe und dem Ablauf der Kläranlage nach der 4. Reinigungsstufe vor (21). Zurzeit bestehen dazu jedoch noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden in Zukunft auch von den gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen. Ebenso haben die angesetzten Nutzungszeiten bzw. Bettvolumina einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten, so dass diese in Abhängigkeit einer längeren oder kürzeren Standzeit deutlich anders ausfallen können. Eine Verminderung der Kosten kann evtl. durch die Regeneration des eingesetzten GAK-Materials oder durch eine Reihenschaltung der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) möglich sein (8).

Auch für die Variante 3 (Ozon) gilt, dass der Stromverbrauch und der Sauerstoffbedarf je nach erforderlichem Reinigungsziel stark variieren können, womit auch die Betriebsmittelkosten sich deutlich verändern können.

Auch zeigt die Vielzahl der veröffentlichten Studien und Forschungsvorhaben, dass bei allen Verfahrensvarianten noch Optimierungspotenzial vorhanden ist. Neue Erkenntnisse durch Anlagen, die jetzt in Betrieb sind und zukünftig in Betrieb gehen, werden die Verfahrensführungen und Betriebsweise voraussichtlich weiter beeinflussen und damit Auswirkungen auf die Kostensituation haben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kostenschätzung nach heutigem Wissensstand noch mit Unsicherheiten behaftet ist, da zum einen Langzeiterfahrungen fehlen und zum anderen derzeit noch keine gesetzlichen Vorgaben für die zu erreichenden Reinigungsziele vorliegen.

## 5.5 **Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster**

Neben den voraussichtlich anfallenden Kosten sind für die Verfahrenswahl noch weitere Kriterien von Bedeutung. Bei diesen Kriterien handelt es sich beispielsweise um die voraussichtlich erzielbare Reinigungsleistung der verschiedenen Verfahren und den Betriebsaufwand, der verursacht wird.

Bei der Verfahrensbewertung muss berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten Spurenstoffe ausreichende Informationen zur Eliminationsleistung und zur optimalen Verfahrensführung vorliegen. Bei den hier in der Studie untersuchten Verfahrensvarianten handelt es sich jedoch durchweg um Verfahren, die eine Breitbandwirkung hinsichtlich der Spurenstoffelimination aufweisen.

### Eliminationsleistungen

Hinsichtlich der voraussichtlichen Eliminationsleistung sind nach bisherigen Erkenntnissen die PAK-Dosierung (nachgeschaltet hinter der Nachklärung), die Ozonbehandlung und die GAK-Filtration (bei optimaler Bewirtschaftung der Filter) als effektivste Verfahren zu nennen.

Bei der PAK-Dosierung werden die besten Eliminationsraten erzielt, wenn die PAK in ein separates Kontaktbecken mit nachfolgender Sedimentationseinheit dosiert wird und die PAK zusätzlich rezirkuliert wird (Variante 2). Im Hinblick auf die Zugabe der PAK direkt in die bestehende Belebung (Variante 1) stehen noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit zur Verfügung. Aufgrund der Konkurrenzsituation der Spurenstoffe mit den Abwasserinhaltsstoffen und mit dem Schlamm in der Belebung um die Bindungsplätze an der PAK wurden für diese Verfahrensweise bisher eher niedrige Eliminationsraten bei gleichzeitig hohen PAK-Dosiermengen angenommen. Gute Eliminationsleistungen bei einer akzeptablen PAK-Dosiermenge von ca. 18 mg PAK/l wurden bei aktuellen Untersuchungen auf der ARA Flos in Wetzikon (Schweiz) ermittelt (9). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Bei der Ozonung ist zu beachten, dass die entstehenden Transformationsprodukte oft sehr reaktiv sind und ebenfalls Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Sie müssen daher vor der Einleitung des Abwassers in den Vorfluter entfernt werden. Dazu ist neben einer biologischen Nachbehandlung in biologisch aktiven Filtern auch der Einsatz von GAK denkbar (10).

Beim Einsatz der granulierten Aktivkohle wird von sehr unterschiedlichen Eliminationsleistungen berichtet. Während auf der KA Obere Lutter bei Gütersloh sowie auf der KA Gütersloh-Putzhagen von guten Eliminationsleistungen berichtet wurde, wurde bei Untersuchungen auf der ARA Neugut (Schweiz) die Spurenstoffelimination mittels GAK als nicht ausreichend bewertet, da schon nach kurzen Filterlaufzeiten eine Verschlechterung der Eliminationsleistung für einige Spurenstoffe festgestellt wurde (7). Unter der Annahme, dass das GAK-Filtermaterial sehr häufig ausgetauscht wird oder mehrere GAK-Adsorber hintereinander geschaltet werden würden, könnten bessere Eliminationsleistungen erzielt werden. Dieses ist zurzeit jedoch wirtschaftlich nicht darzustellen. Seit einiger Zeit wird z.B. durch eine optimierte Bewirt-

schaftung von parallelgeschalteten GAK-Filtern eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine Verbesserung der Adsorptionsleistung erreicht (8).

Es wird zur Zeit davon ausgegangen, dass sowohl bei der PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken, bei der Ozonung und bei der GAK-Filtration vergleichbare Eliminationsraten erreicht werden können.

#### Betriebsaufwand

Allgemein wird der Wartungsaufwand für den Betrieb von GAK-Filtern als relativ gering eingestuft. Auch der Betrieb der Ozonanlage ist nicht übermäßig aufwändig. Es ist jedoch zu beachten, dass das Personal für den Umgang mit der Sauerstofflagereinheit und der Ozonanlage speziell geschult werden muss. Wegen der aufwändigen Dosiertechnik bei den PAK-Anlagen ist dort mit einem höheren Wartungs- und Betriebsaufwand zu rechnen. Dies gilt insbesondere in Abhängigkeit von der gewählten Dosierart (volumetrisch oder gravimetrisch).

#### Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern wieder abgebaut werden. Für den Standort Münster wird eine biologisch aktive Filtrationsanlage im Anschluss an die Ozonung geplant, so dass vor diesem Hintergrund der Einsatz einer Ozonung möglich ist. Auch der Einsatz eines GAK-Filtern ist denkbar (10); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Es wird jedoch vor einer Umsetzung der Ozon-Variante empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen, insbesondere da die bei den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen gefundenen Bromidgehalte im Abwasser mit 0,4 mg/l bzw. 0,32 mg/l relativ hoch lagen.

#### Voraussichtliche Kosten und Eignung der Verfahren

Die ermittelten Jahreskosten liegen für die Hauptkläranlage Münster sehr nah beieinander. Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die PAK-Dosierung in die Belebung (Variante 2). Das nächstgünstigste Verfahren ist die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3). Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass mit Hilfe dieser Varianten ausreichende Eliminationsleistungen erreicht werden können.

Bei der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) ist unbedingt zu beachten, dass die im Ablauf der Hauptkläranlage Münster im Rahmen dieser Studie gefundenen Bromid-Konzentrationen relativ hoch liegen. Da es sich bei den hier durchgeführten Untersuchungen nur um Stichproben handelt, ist eine weitere Beobachtung des Bromid-Gehalts vor der Entscheidung für eine Ozonanlage unbedingt erforderlich. Daneben ist auch die sichere Elimination der gebildeten Transformationsprodukte vor der Einleitung des gereinigten Abwassers erforderlich, ggf. muss hier eine GAK-Filtration eingesetzt werden.

Bei Umsetzung der Varianten 1 und 2 ist darauf zu achten, dass keine Aktivkohle in den Vorfluter gelangt. Dies wird durch die geplante Flockungsfiltration gewährleistet. Daneben kann der Schlamm bei diesen Varianten nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden.

#### Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass am Standort Münster grundsätzlich verschiedenen Verfahren zur Spurenstoffelimination umgesetzt werden können, die zu einer Verbesserung der Ablaufqualität der Kläranlage führen werden.

Die Hauptkläranlage Münster hat derzeit eine Ausbaugröße von 300.000 EW und wird zurzeit mit 280.000 EW belastet. Durch den Einsatz von Membrankontaktoren soll zukünftig ein Ausbau der Kläranlage auf 335.000 EW erfolgen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der Hauptkläranlage Münster untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Kläranlage eine sehr gute Reinigungsleistung aufweist.

Bei den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage konnten nach heutigem Kenntnisstand nur wenige Auffälligkeiten festgestellt werden. Die meisten untersuchten Stoffkonzentrationen lagen unterhalb der Konzentrationen, die in Abläufen anderer Kläranlagen gefunden wurden oder zumindest deutlich unter den maximalen, bei anderen Kläranlagen gemessenen Werten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Aufgrund der angeschlossenen Krankenhäuser ist mit einem erhöhten Eintrag von Medikamentenrückständen zu rechnen, wobei die gefundenen Konzentrationen an Medikamenten nach heutigem Kenntnisstand in den meisten Fällen nur gering erhöht waren. Die Hauptkläranlage Münster befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen. Bei den Vorflutern Wöstebach und Beckschembach handelt es sich um schwache Vorfluter, die oberhalb der Einleitstelle der Hauptkläranlage Münster kaum Wasser führen. Beide Vorfluter durchfließen unterhalb der Kläranlage das Vogelschutzgebiet „Rieselfelder Münster“.

Der Wöstebach leitet in die Münstersche Aa ein, der Beckschembach in die Ems. Deutliche Veränderungen nach Einleitung des Kläranlagenablaufs zeigen sich in der Münsterschen Aa, insbesondere im Bereich der Medikamentenrückstände, Süßstoffe und Röntgenkontrastmittel. In der Ems, als wesentlich stärkerer Vorfluter, sind nach der Einleitung des Kläranlagenablaufs vergleichsweise weniger Veränderungen festzustellen.

In der Studie „Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen“ (11) wird beschrieben, dass es hinsichtlich der Verbesserung der Gewässersituation in NRW voraussichtlich vorrangig sinnvoll ist, zunächst Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe auszustatten, die:

- mehr als 100.000 angeschlossene Einwohner aufweisen
- oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen einleiten

- oder in schwache Vorfluter einleiten.

Durch Maßnahmen auf den betreffenden Kläranlagen kann eine wesentliche Verringerung der Spurenstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Angesichts der Größenklasse (280.000 angeschlossene Einwohner) und der sensiblen Umgebung der Kläranlage (Schutzgebiet Rieselfelder Münster, deutliche Veränderung der Münsterschen Aa), ist die behördliche Forderung nach einer 4. Reinigungsstufe für das Hauptklärwerk Münster wahrscheinlich. Eine gesetzliche Grundlage gibt es jedoch bis dato nicht. Der Nutzen der 4. Reinigungsstufe muss jedoch auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden. So verursacht der Betrieb der 4. Reinigungsstufe einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz.

Um z.B. die Münstersche Aa in ihrem Unterlauf zu entlasten, könnte die gesamte gereinigte Abwassermenge nur noch über den Beckschembach zur Ems abgeleitet werden. Im Jahr 1986 wurde vom Ingenieurbüro Wieferig und Frilling dazu eine „Hydraulische Untersuchung der Vorflut der Hauptkläranlage Münster – Ems-Ableiter – „ durchgeführt und festgestellt, dass ein Ausbau des Beckschembaches als alleiniger Ableiter mit überschaubarem Aufwand möglich wäre. Ob dieses weiter Gültigkeit besitzt, ist bei Bedarf zu überprüfen und nachzuweisen. Da heute schon eine Vernässung tiefergelegener, landwirtschaftlich genutzter Fläche festzustellen ist, ist bei voller Ableitung des Kläranlagenablaufes über der Beckschembach zur Ems mit einer Verschärfung der Vernässung zu rechnen.

### 5.1 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

Als Vorzugsverfahren für die Hauptkläranlage Münster kommen aufgrund der berechneten Jahreskosten und der zu erwartenden Eliminationsleistungen die Varianten 2 (PAK in Kontaktbecken) und 3 (Ozonbehandlung) infrage.

Für die Variante 4 wurden zwar höhere Jahreskosten als bei den Varianten 2 und 3 abgeschätzt. Da jedoch einige zur Zeit in Betrieb befindliche Anlagen durch eine verbesserte Verfahrensführung gute Eliminationsraten bei hohen Standzeiten der GAK zeigen, sollte diese Variante am Standort Münster weiter untersucht werden.

Bei der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) ist zu bedenken, dass die entstehenden Transformationsprodukte vor der Einleitung in die (sehr schwachen) Vorfluter sicher abgetrennt/eliminiert werden müssen. Dazu ist nach derzeitigem Wissensstand eine biologische Nachbehandlung mittels eines Filters eingeplant, es ist jedoch nicht auszuschließen, dass nach Auswertung der Betriebserfahrungen derzeitiger Anlagen eine GAK-Filtration oder Wirbelbett notwendig wird. Auf jeden Fall würde die Entscheidung für eine Ozonanlage erfordern, dass die Bromid-Konzentration im Ablauf der Hauptkläranlage Münster genauer untersucht und beobachtet wird, da diese bei den untersuchten Proben relativ hoch zwischen 0,32 mg/l und 0,4 mg/l lag.

Ein Vorteil der adsorptiven Verfahren ist, dass (im Gegensatz zur Umwandlung der Spurenstoffe in Transformationsprodukte bei der Oxidation mit Ozon) bei den adsorptiven Verfahren die Spurenstoffe aus dem

Abwasser entfernt werden. Grundsätzlich ist eine Kombination verschiedener Verfahren (wie z.B. Ozonierung und GAK, Variante 5) insofern sinnvoll, als das nicht nur die Breitbandwirkung der 4. Reinigungsstufe, sondern auch ihre Eliminationseffizienz optimiert wird.

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht die Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor. Der Unterschied zu Variante 3 (Ozonierung), aber auch zu Variante 4 (GAK-Filtration), liegt unterhalb der Schätzgenauigkeit, sie sind somit als gleichwertig zu betrachten. Es wird daher empfohlen, die Variante 2 (PAK-Dosierung) sowie die Variante 3 (Ozonierung) und die Variante 4 (GAK), abhängig von den geforderten Reinigungs-/Eliminationszielen weiter zu betrachten. Um die Eignung der Verfahren und die voraussichtlich anfallenden Betriebskosten besser einschätzen zu können, sollten ausgewählte Verfahren in wissenschaftlich betreuten Vorversuchen vertieft betrachtet werden.