
Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup

Kurzfassung

November 2018

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Stadt Münster - Tiefbauamt
Zum Heidehof 72, 48157 Münster
Herr Dr. Robecke 0251 16131-14

Unterschrift

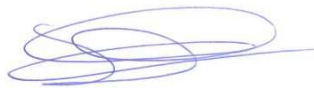
Aufgestellt durch:

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
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Schütte

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure
Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Tel.: 0211 44991-0, Fax: 0211 44991-1055, info@hydro-ingenieure.de
Bearbeiter: Dr.-Ing. Xin Wu

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
Bearbeiter: Dipl.-Biol. Doris Schäpers
Katharina Kasper M.Sc.

Vechta, den



ppa. M. Schütte

Düsseldorf, den

K. Alt

Aachen, den 09.11.2018



ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	7
1.1	Allgemeines	7
1.2	Kläranlage Münster-Hiltrup	8
2	Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet	9
3	Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination	9
3.1	Oxidative Verfahren:	9
3.2	Physikalische Verfahren:	10
3.3	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	10
4	Messprogramm zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup und Verfahrensvorauswahl	12
4.1	Untersuchungen des Vorfluters	12
4.2	Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs.....	12
4.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	17
4.4	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	17
4.5	Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	18
4.6	Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken.....	18
4.7	Variante 3: Ozonbehandlung	20
4.8	Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	22
4.9	Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration	23
5	Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	23
5.1	Investitionen.....	23
5.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	25
5.3	Jahreskosten	26
5.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation.....	27
5.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster-Hiltrup	28
5.6	Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen	33
5.7	Fazit	33

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. **Fraunhofer Umsicht.** Mikroplastik. [Online] [Zitat vom: 2. Oktober 2017.] <https://www.initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/allgemein>.
6. —. Fraunhofer Umsicht nimmt Stellung: Thema Mikroplastik. [Online] [Zitat vom: 2. Oktober 2017.] <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/nachhaltigkeit/ag-nachhaltigkeit/positionspapiere/mikroplastik.html>.
7. **Ralf Bertling.** Mikroplastik in der aquatischen Umwelt. *WWT.* 2015.
8. **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland.** *Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen : Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie.* Helgoland : s.n., 2014.
9. **Fraunhofer UMSICHT.** *Vierte Reinigungsstufe: Stand und Ausblick.* [Online] [Zitat vom: 06. Februar 2017.] <http://initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/4-reinigungsstufe>.
10. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
11. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
12. **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.
13. **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.

14. **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.
15. **Remy, C. und Miehe, U.** Energieaufwand und CO₂-Fußabdruck von Aktivkohleadsorption und Ozonung zur Spurenstoff-Entfernung in Berlin. [Hrsg.] KomS BW. *Tagungsband: 5 Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffe KomS BW, KOM-M.NRW und VSA Plattform*. 2017, S. 37-59.
16. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015)*. 2015.
17. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2015.
18. **Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer.** *Studie - Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp*. 2013.
19. **Tobias Nöthe, Hans Fahlenkamp, Clemens von Sonntag, Alfred Golloch, Thomas Ries, Christoph B. Hannich.** *Einsatz und Wirkungsweise oxidativer Verfahren zur Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen, Teil 2a - Versuche zur Elimination relevanter Spurenschadstoffe*. 2005.
20. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** *Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen*. 2012.
21. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon*. Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
22. **Rita Triebskorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser et al.** SchussenAktiv - Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*. 2013, Bd. 6, 8.
23. **Hollender, Juliane.** *Kontinuierliche Entfernung von Spurenstoffen aus Abwasser mit Ozon: Vorstellung einer Pilotstudie und Auswahl biologischer und chemischer Methoden zur Beurteilung der Eliminationseffizienz*. Vortrag beim Infotag Eawag : s.n., 2009.
24. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch*. [Vortrag] Wetzikon : s.n., 2013.
25. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** *Schlussbericht - Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen*. Dresden/Oppin : s.n., 2012.
26. **G. Kolisch, Y. Taudien, C. Bornemann.** Potential der Spurenstoffelimination mit Pulver- und Kornaktivkohle in bestehenden Filteranlagen. *Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, 32. Bochumer Workshop*. 2014, Bd. 67.

27. **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.
28. **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.

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 potentiell 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 zeigt sich, dass es 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. 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. (4) Darüber hinaus ist das kommunale Abwassersystem für eine Vielzahl anderer, bislang nicht europaweit geregelter Stoffe wie beispielsweise Arzneimittel der Haupteintragspfad. (4)

Neben den Spurenstoffen wird immer mehr Mikroplastik (synthetische Polymere < 5mm) in der aquatischen Umwelt gefunden, welches die Ökosysteme belastet und über den natürlichen Wasserkreislauf in die Nahrungskette gelangen kann (5; 6). Problematisch sind hierbei die Persistenz des Mikroplastiks und seine hydrophoben Eigenschaften, wodurch organische Schadstoffe und Schwermetalle adsorbiert werden können. Die Kläranlage bildet dabei ein zentrales Element zwischen der Freisetzung im Haushalt und der Einleitung im Gewässer und ist eine wesentliche punktuelle Eintragsquelle für Mikroplastik in die Umwelt (7; 8). Die Kläranlage könnte somit auch als Abscheider dienen, besonderes Potential hat hier die vierte Reinigungsstufe (9). Momentan sind die meisten Kläranlagen aber nicht in der Lage Mikroplastik

vollständig aus dem Abwasser herauszufiltern bzw. passiert das Mikroplastik sogar ungehindert die Reinigungsstufen (7).

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 Kläranlage Münster-Hiltrup in Auftrag zu geben. Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um die Kurzfassung dieser Studie. Sie stellt die wesentlichen Inhalte der Studie dar.

1.2 Kläranlage Münster-Hiltrup

Bei der KA Hiltrup handelt es sich um eine mechanisch-biologische Anlage. Das Einzugsgebiet der Kläranlage wird im Wesentlichen im Trennsystem entwässert.

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt (10):

- Ausbaugröße 30.000 EW
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,d}$) 11.000 m³/d
- Trockenwetterzufluss Spitze ($Q_{T,d,max.}$) 710 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 1.000 m³/h

Zurzeit ist die Anlage mit 27.000 EW belastet. Die Jahresabwassermenge (JAM) wurde anhand der Ablaufmengenmessungen der Jahre 2014 und 2015 mit 1.740.159 m³/a angenommen.

Die KA Hiltrup besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe, Hochlastbecken, Belebungsbecken, Nachklärbecken und Schönungsteich. Als Vorfluter dient der Emmerbach. Klär- und Überschussschlamm werden zwischengespeichert und hauptsächlich zur anaeroben Verwertung auf der Kläranlage Am Loddenbach transportiert.

In Abbildung 1-1 ist ein vereinfachtes Fließschema der KA Hiltrup dargestellt.

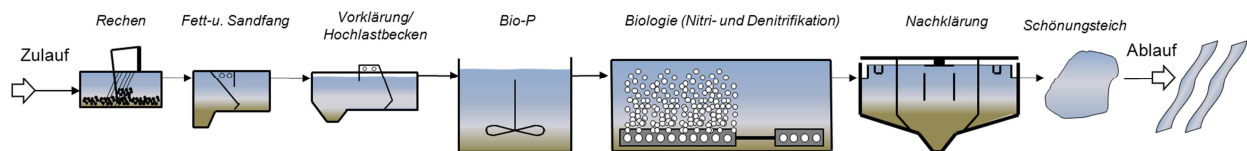


Abbildung 1-1: Vereinfachtes Fließschema der KA Münster-Hiltrup

2 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet

Im in der Kläranlage Münster-Hiltrup behandelten Abwasser sind keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch das einleitende Krankenhaus wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions-, Reinigungs- und Röntgenkontrastmitteln erwartet. Medikamentenrückstände und Röntgenkontrastmittel können jedoch auch mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen werden. 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 den Emmerbach wird u.a. durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft. Der Eintrag wird durch das eingeleitete Abwasser der KA Münster-Hiltrup zwar verstärkt, jedoch ist eine Verbesserung des chemischen Zustandes (unter Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe) allein durch eine 4. Reinigungsstufe nicht sicher.

In der Nähe der Kläranlage Münster-Hiltrup liegen keine FFH-, Naturschutz- oder Vogelschutzgebiete. Auch der Vorfluter Emmerbach durchfließt unterhalb der Kläranlage keine dieser Schutzgebiete. Das in der Nähe der Kläranlage befindliche Trinkwasserschutzgebiet „Hohe Ward“ wird nicht durchflossen, sondern lediglich tangiert. Der Emmerbach durchfließt unterhalb die Landschaftsschutzgebiete LSG-4012-0008 „Hohe Ward“ und LSG-4012-015 „Werseniederung“. Entlang des Emmerbachs finden sich unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Münster-Hiltrup auch zwei nach § 62 LG geschützte Biotope: das GB-4012-121, „Emmerbach vom Albersloher Weg bis zum Dortmund-Ems-Kanal“ schützt den in diesem Abschnitt natürlich oder naturnah verlaufenden Emmerbach über eine längere Strecke. Das GB-4012-0023 „Feuchtbrache am Emmerbach südlich der Kleingartenanlage“ umfasst ein Röhrichtgebiet entlang des Ufers des Emmerbachs.

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 biologi-

schen 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 Umkehrosiose 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 Umkehrosioseverfahren sind theoretisch in der Lage die gesamte Anzahl an Mikroverunreinigungen und Mikroplastik 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 (11). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenen 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. (12) Auch im Hinblick auf die Mikroplastikelimination ist eine anschließende Filtration empfehlenswert.

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 wesentlich schlechtere Eliminationsleistungen als beim Einsatz der Pulveraktivkohle festgestellt (13). Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (14) 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 (14).

Eine von Remy und Miehe durchgeführte Untersuchung des ökologischen Einflusses zeigt für das konkrete Beispiel einer Modellkläranlage der Größenklasse 5 eine erheblich bessere ökologische Bilanz der GAK-Filtration im Vergleich zu den anderen Verfahren. Am schlechtesten wurde die PAK bewertet, da hier nach aktuellem Stand keine Regeneration der eingesetzten Aktivkohle möglich ist. Die Ozonung liegt zwischen den beiden Methoden. Berücksichtigt wurden der Energiebedarf sowie der CO₂-Footprint, jeweils in Kombination mit einer Raumfiltration (bei GAK vor-, ansonsten nachgeschaltet) und einer abschließenden UV-Behandlung. (15) Die Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen ist jedoch nicht ohne weiteres gegeben, so dass diese Untersuchungen lediglich einen Hinweis geben.

4 Messprogramm zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup und Verfahrensvorauswahl

4.1 Untersuchungen des Vorfluters

Auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (16), wurde für den Vorfluter, den Zulauf der Biologie und Ablauf der Nachklärung ein Messprogramm festgelegt. Die Analytik wurde durch die Wessling GmbH durchgeführt. Gemessen wurde sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der KA Münster-Hiltrup in den Emmerbach. Das Messprogramm, die untersuchten Parameter sowie die vollständigen Analyseergebnisse finden sich in der Langfassung der Studie.

Für die meisten Spurenstoffe zeigt sich eine Zunahme nach der Einleitung. Dies gilt insbesondere für TCP, Benzotriazol, die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol und Iohexol sowie die Humanpharmaka Metoprolol und Diclofenac. Einzig die allgemeinen chemischen Parameter zeigen keine deutliche Zu- bzw. teilweise sogar eine Abnahme. TCP und Benzotriazol stammen vermutlich aus der einleitenden Industrie, während vornehmlich die Röntgenkontrastmittel, aber auch die Humanpharmaka, aus dem angeschlossenen Krankenhaus stammen dürften. Mit Ausnahme der Röntgenkontrastmittel sowie von Diclofenac wurden die Referenzwerte unterschritten. Einige der Röntgenkontrastmittel überschritten bereits oberhalb der Einleitstelle den Referenzwert, hier ist eine weitere Zunahme zu beobachten. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nur um eine einzelne Stichprobe handelt – eine zuverlässige Bewertung kann auf dieser Basis nicht getroffen werden.

4.2 Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Das durchgeführte Messprogramm wurde zuvor mit der Bezirksregierung Münster abgestimmt. Insgesamt wurden im Rahmen eines Screenings bis zu 69 Parameter untersucht. Basierend auf den Ergebnissen

wurde ein Monitoring durchgeführt. Im Rahmen des Screenings wurde u.a. auf verschiedene Arzneimittelwirkstoffe, Röntgenkontrastmittel und Biozide getestet. Untersucht wurden außerdem einige allgemeine chemische Parameter (ACP) wie pH-Wert und Nährstoffgehalte. Probenahmen für das Screening erfolgten jeweils am 04./05.05.2016, 12.12.2016 und am 10.02.2017. Die Untersuchung der Proben wurde durch das Labor Wessling durchgeführt.

Im Anschluss an das Screening wurde ein Monitoring durchgeführt. Hierfür wurden 13 Parameter im Ablauf und 6 Parameter im Zulauf bestimmt. Für das Monitoring wurden im Zeitraum vom 29.06.-13.07.2017 je 5 Proben des Zulaufs der Belebung und des Ablaufs der Nachklärung gezogen. Die Messprogramme und die untersuchten Parameter sind der Langfassung der Studie zu entnehmen.

Aus dem Vergleich der Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Spurenstoffe berechnet werden. Falls ein Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, wurde die Bestimmungsgrenze zur Berechnung der Eliminationsraten herangezogen. Diese Eliminationsraten entsprechen der Verringerung der Spurenstoffkonzentrationen während der Behandlung in der Kläranlage. Sie entstehen jedoch teilweise nur in einem sehr geringen Umfang durch den Abbau der Spurenstoffe; vielmehr dürften sie in einigen Fällen durch eine Adsorption der Spurenstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Hohe Eliminationsraten finden sich z.B. für die Steroidhormone (1. Probenahme: Estron 94 %, 17-beta-Estradiol 86 %), Ciproflaxin (1. Probe-nahme 93 %, 3. Probenahme 92 %) oder die Süßstoffe Acesulfam K, Cyclamat und Saccharin (90-100 %). Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Amidotrizoesäure (1. Probenahme -10 %, 2. Probenahme -38 %) und Guanylharnstoff (nur 2. Probenahme, -51.900 %). Bei Guanylharnstoff handelt es sich um ein Abbauprodukt von Metformin. Metformin wurde im Rahmen der Untersuchungen nicht bestimmt, so dass zu vermuten ist, dass signifikante Konzentrationen vorlagen, die über Guanylharnstoff abgebaut wurden. So erklärt sich die Zunahme dieses Stoffes. Bei anderen Konzentrationsanstiegen könnte es sich theoretisch um eine Metabolitenrückbildung während der biologischen Behandlung des Abwassers handeln, wahrscheinlicher ist jedoch, dass das Rohabwasser wegen der hohen Schmutzkonzentrationen wesentlich schwieriger zu analysieren ist, was durch Matrixeffekte möglicherweise zu Ungenauigkeiten in den Analyseergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei der ausgewerteten Messung um Stichproben handelt, so dass statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

In Tabelle 4-1 sind einige wichtige Ergebnisse der Messungen im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup sowie Referenzwerte (Mittelwerte vergleichbarer Anlagen sowie Jahresmittelwerte aus UQN/OGewV bzw. Orientierungswerte) zusammengefasst. Zusätzlich finden sich die gemessenen Bromidkonzentrationen, da diese für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Analysen, bei denen erhöhte Werte gefunden wurden

		Mittelwert	MW Abl	Max Abl	Orientierungs- wert (OW) oder Jahres- Mittelwert (JMW)**
		Ablauf NKB	Referenz*		
Parameter	Einheit				
Saccharin	mg/l	0,00043	0,0003	0,00074	
Sucralose	mg/l	0,0079	0,0022	0,0051	
Iopamidol	mg/l	0,13	0,0021	0,0077	0,0001
Iomeprol	mg/l	0,00066	0,0054	0,028	0,0001
Amidotrizoesäure	mg/l	0,025	0,0015	0,0049	0,0001
Iopromid	mg/l	0,00077	0,0051	0,028	0,0001
Benzotriazol	µg/l	6,1	5,11	10	10
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	0,80	0,69	1	10
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	1,0	0,73	1,4	10
Carbamazepin	µg/l	0,61	0,68	1,229	0,5
Diclofenac	µg/l	3,4	2,22	4,4	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,93	0,42	1,1	0,15
Ibuprofen	µg/l	0,26			0,01
Metoprolol	µg/l	6,7	2,02	5,1	7,3
Sotalol	µg/l	0,53	0,40	0,75	0,1
Clarithromycin	µg/l	0,55	0,26	1,2	0,02
Bromid	mg/l	0,11			

* Referenzwerte vergleichbarer Anlagen
(Literatur und Erfahrungswerte ATEMIS)

< MW Referenz	< OW
> MW, < Max. Referenz	>/= OW
> Max. Referenz	

** (Anlage D4 zur WRRL NRW, www.flussgebiete.nrw.de,
Stand 04/2014); angepasst nach OGewV 2016 (soweit relevant)

Die Ergebnisse zeigen für einige Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Iopamidol, Amidotrizoesäure). Relevant sind auch die Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind. Nach der Auslegungsempfehlung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (17) ist bei einer Bromidkonzentration von 0,1-0,15 mg/l eine Dosierate von max. 0,5 mg Ozon/mg DOC einzusetzen. Soll eine höhere Dosierate gewählt werden, so müssen vorher Untersuchungen durchgeführt werden. Um ein regelmäßiges Überschreiten einer Konzentration von 0,15 mg/l auszuschließen, sollte im Rahmen einer weiteren Be-

trachtung der Ozonung ein Messprogramm durchgeführt werden. In Anbetracht des umfangreichen Messprogramms wurde jedoch insgesamt nur eine geringe Anzahl an Spurenstoffen nachgewiesen, die die vorliegenden Vergleichswerte überschreiten.

Auf Basis der Screening-Ergebnisse wurde ein Monitoring durchgeführt. Die gesamten Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in der Langfassung der Studie. Clarithromycin konnte, im Gegensatz zum Screening, im Monitoring nicht nachgewiesen werden. Die restlichen Ergebnisse weichen nicht wesentlich von den Messwerten des Screenings ab.

In Tabelle 4-2 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup 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. Amidotrizoesäure).

Tabelle 4-2: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup 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
Antibiotika						
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
Betablocker						
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
weitere Humanpharmaka						
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizoesäure	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	Gut	k.A.	mäßig
Zuckerersatzstoffe						
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
Cyclamat	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
weitere Spurenstoffe						
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

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen ausgewertet (Quellen: (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24), (25), (26), Erfahrungswerte Ingenieurbüro ATEMIS)

Zusammenfassend ist die Aktivkohle der Ozonung hinsichtlich der Mischung der gefundenen Stoffe leicht überlegen. Nicht betrachtet wurde hier das spezifische Gefährdungspotenzial, das von den einzelnen Stoffen ausgeht. Darüber hinaus handelt es sich bei den Analysen um Momentaufnahmen, die keine sichere Prognose für die zukünftige Entwicklung zulassen. 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.

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Münster-Hiltrup haben gezeigt, dass anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein eindeutiges Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Es wurden Bromidkonzentrationen von bis zu 200 µg/l gemessen. Diese können eine Ozonbehandlung am Standort ggf. in Frage stellen, jedoch liegt bisher keine ausreichende Datenbasis vor, so dass die Ozonbehandlung im Rahmen dieser Studie mitbetrachtet wird.

Da auf der Kläranlage Münster-Hiltrup keine besonderen Rahmenbedingungen (z.B. Nutzung von Bestandsbauwerken) gelten, die bestimmte Verfahren begünstigen oder ausschließen würden, werden im folgenden Kapitel alle gängigen Methoden zur Spurenstoffelimination betrachtet (PAK, Ozon, GAK).

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Münster-Hiltrup geeignet sind und im Rahmen der Studie untersucht wurden:

- 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: Ozon-Behandlung und GAK-Filtration

Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 4 wird auf 500 m³/h bemessen. Für die beiden PAK-Verfahren wird vorgesehen, dass sich an die 4. Reinigungsstufe eine Flockungsfiltration anschließt. Diese wird nach dem behandelten Abwasserstrom von entweder 500 m³/h (PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken) oder 850 m³/h (PAK-Dosierung in die Belebung) ausgelegt. Als biologische Nachbehandlung für die Ozonungsanlage wird der Nachreinigungsteich genutzt. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von 350 m³/h vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 5 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 4-1).

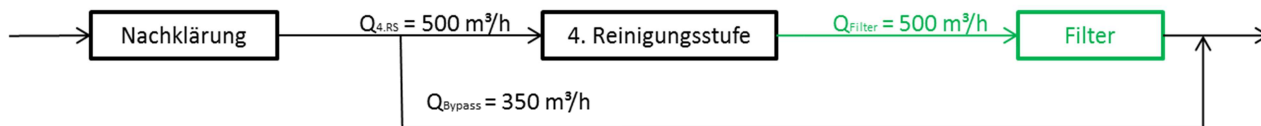


Abbildung 4-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration. Grün: Optional; nur bei PAK-Dosierung vorzusehen

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

Auf der Kläranlage Münster-Hiltrup stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind nicht vorhanden, so dass eine (teilweise) Stilllegung des Nachreinigungsteiches notwendig wäre. Die sich ergebende Fläche ist in Abbildung 4-2 gezeigt.

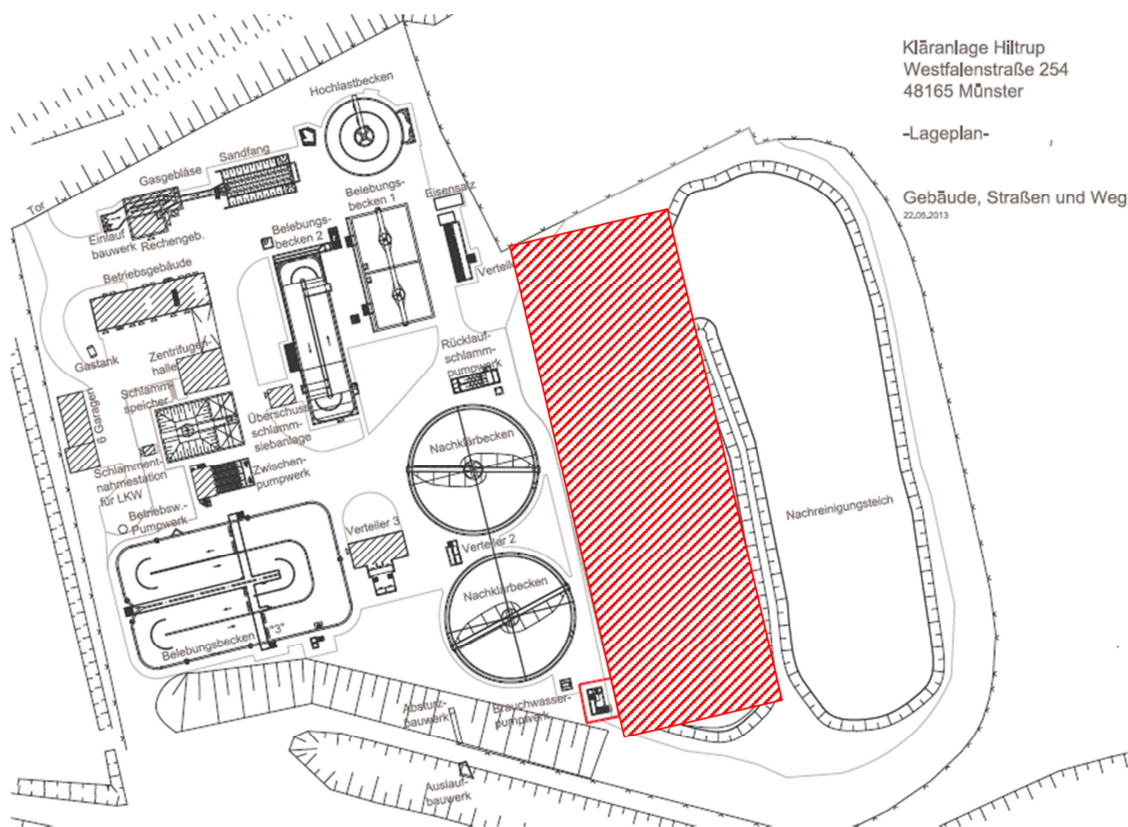


Abbildung 4-2: Erweiterungsgebiet (schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für die Varianten 3 (Ozonung), 4 (GAK-Filtration) und 5 (Ozonung und GAK-Filtration) ist ein Zwischenpumpwerk erforderlich. Der Nachreinigungsteich ist nach Angaben des Betreibers zur Einhaltung der geforderten Überwachungswerte nicht erforderlich. Hinsichtlich der betrachteten Varianten wird er ledig-

lich für die Ozonung benötigt und könnte nach Angaben des Betreibers auch vollständig stillgelegt werden. Unter dieser Voraussetzung können die Varianten 1 und 2 im Freigefälle durchflossen werden.

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 KA Münster-Hiltrup besteht aus mehreren Belebungsbecken unterschiedlicher Größe, er besitzt ein Gesamtvolumen von 9.380 m³. Hier kann eine PAK-Dosierung erfolgen, wie die schematische Zeichnung der Verfahrensvariante in Abbildung 4-3 zeigt. Eine Vollstromfiltration zur Abtrennung der PAK ist notwendig.

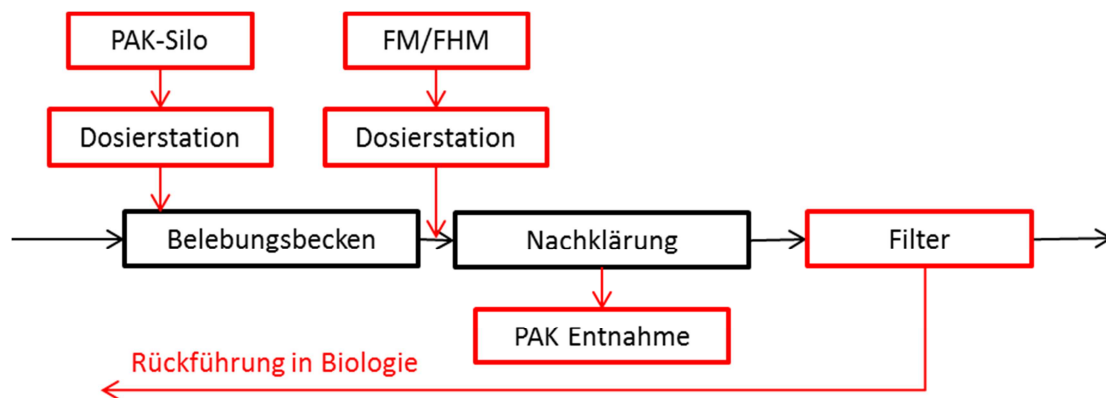


Abbildung 4-3: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit den Abwasserstrom der Kläranlage Münster-Hiltrup 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 dem folgenden Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene PAK vom behandelten Abwasser getrennt. Eine Teilstromfiltration ist zur Abtrennung von Rest-PAK aus dem Ablauf der Sedimentationsstufe notwendig.

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

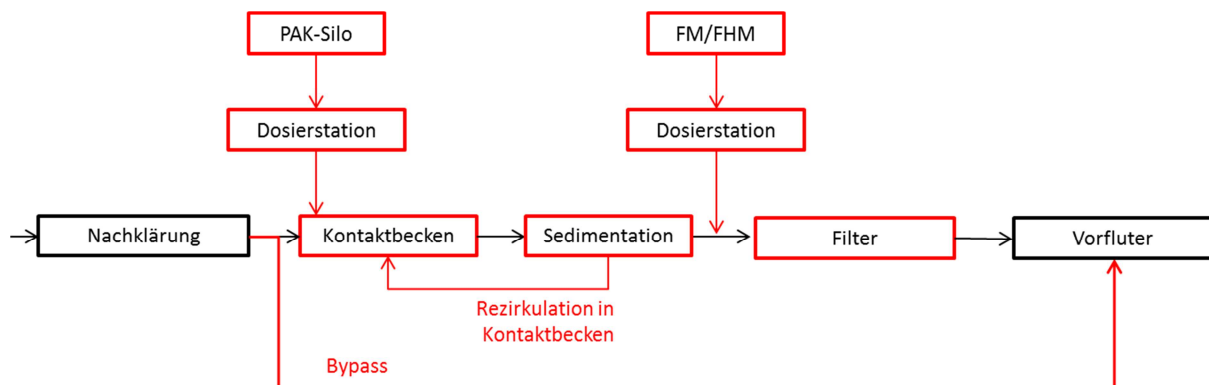


Abbildung 4-4: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

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

Der Durchfluss durch die 4. Reinigungsstufe erfolgt im Freigefälle, da der Nachreinigungsteich vollständig stillgelegt wird. Die Kontaktbecken werden als drei rechteckige Becken mit einem Volumen von jeweils ca. 83 m³ ausgeführt und als Kaskade betrieben.

Nachgeschaltet befindet sich das Sedimentationsbecken, das als Rechteckbecken mit einem Volumen von 1.000 m³ ausgeführt wird. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehen (Q = 350 m³/h + Reserve). Im Anschluss wird die Flockungsfiltration (Teilstrom) durchströmt.

Die Pläne sind in Abbildung 4-5 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 4-6 als Längsschnitt gezeigt.

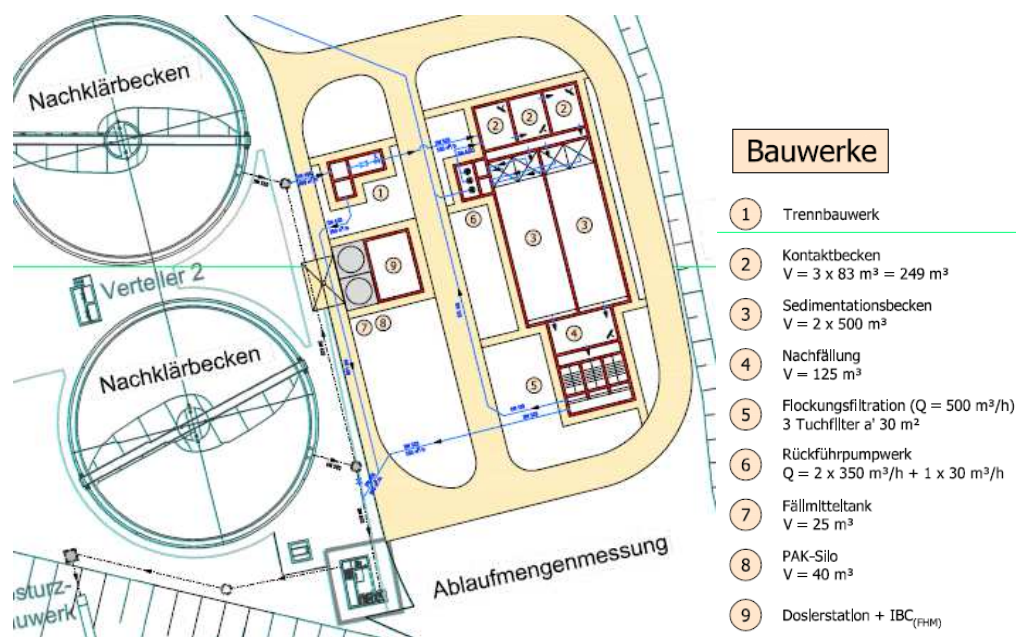


Abbildung 4-5: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

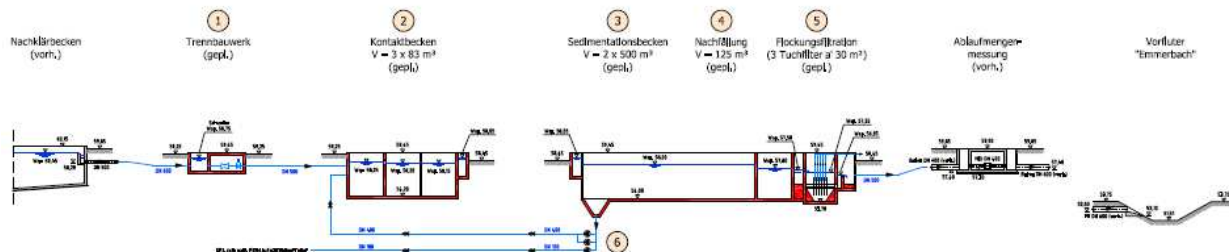


Abbildung 4-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

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 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 (14). Am Standort Hiltrup ist derzeit geplant, die verbliebene Hälfte des Nachreinigungsteiches zu nutzen. Voraussetzung hierfür ist, dass eine hinreichende Elimination der bei der Ozonung gebildeten Transformationsprodukte gewährleistet werden kann. Dies müsste im Zuge einer weiteren Planung geprüft werden.

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 4-7 gezeigt.

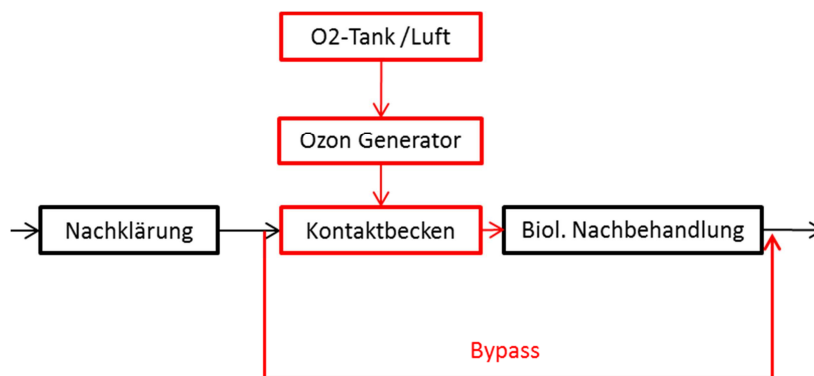


Abbildung 4-7: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Anordnung der Ozonanlage:

Es wird ein Zulaufpumpwerk benötigt. Das Abwasser durchläuft anschließend den Ozonreaktor. Nach der Ozonung wird das gereinigte Abwasser zwecks biologischer Nachreinigung in die verbliebene Hälfte des Nachreinigungsteiches geleitet.

Die Pläne sind in Abbildung 4-8 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 4-9 als Längsschnitt gezeigt.

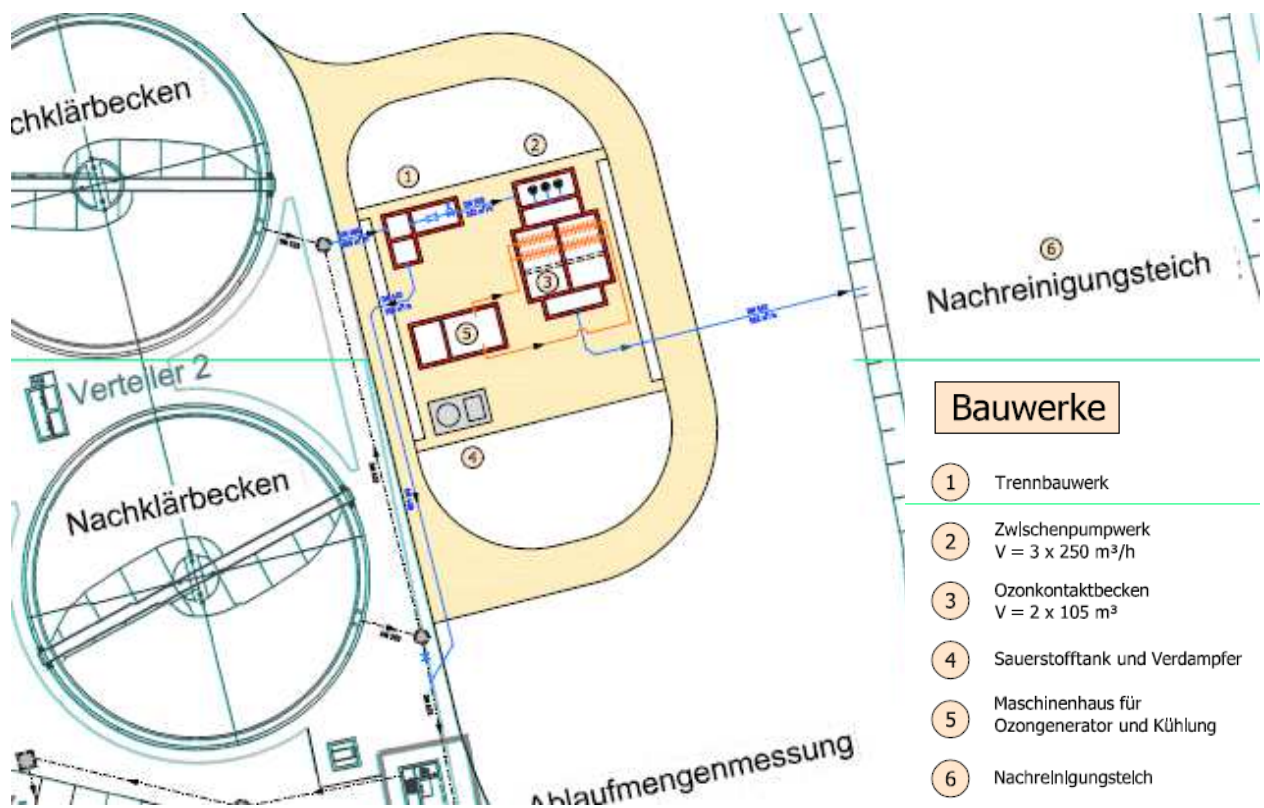


Abbildung 4-8: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

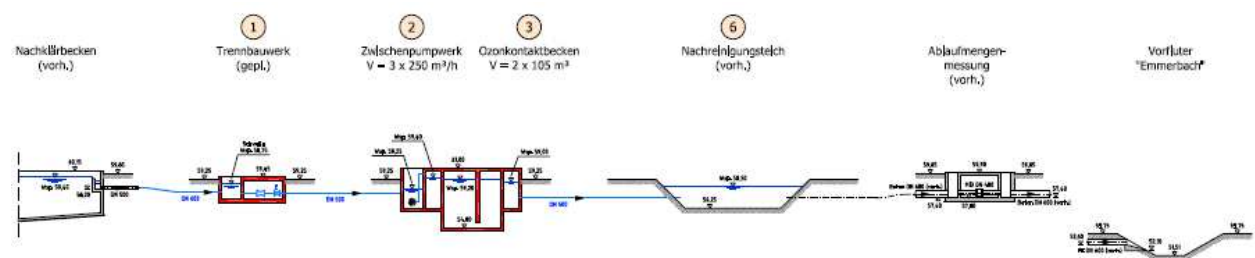


Abbildung 4-9: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der KA Münster-Hiltrup kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden. Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung wird deshalb direkt den GAK-Filtern zugeführt. Um die angesetzten Bettvolumina zu erreichen, sollte eine optimierte Filterbewirtschaftung angestrebt werden. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden. Prinzipiell ist eine Ausführung der GAK-Filtration als Betonbauwerk oder auch in kommerziell verfügbaren, vorgefertigten Stahlbehältern möglich. Es werden im Rahmen dieser Studie Druckfilterbehälter als Filterzellen vorgesehen, da hier geringere Kosten zu erwarten sind. Ob dies tatsächlich zutrifft, sollte im Rahmen einer weiteren Planung geprüft werden.

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

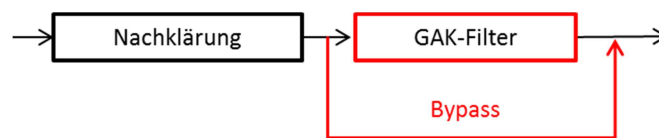


Abbildung 4-10: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Anordnung der GAK-Filtration:

Für die Variante 4 (GAK-Filtration) wird für das Anheben des Abwassers auf die GAK-Filter ein neues Zwischenpumpwerk benötigt. Das Abwasser wird auf die 6 parallel betriebenen Filter verteilt. Da der Nachreinigungsteich für diese Variante nicht benötigt wird, wird er vollständig stillgelegt und das gereinigte Abwasser in den Vorfluter geleitet.

Ein Ausschnitt des Lageplans für Variante 4 ist in Abbildung 4-11 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 4-12.

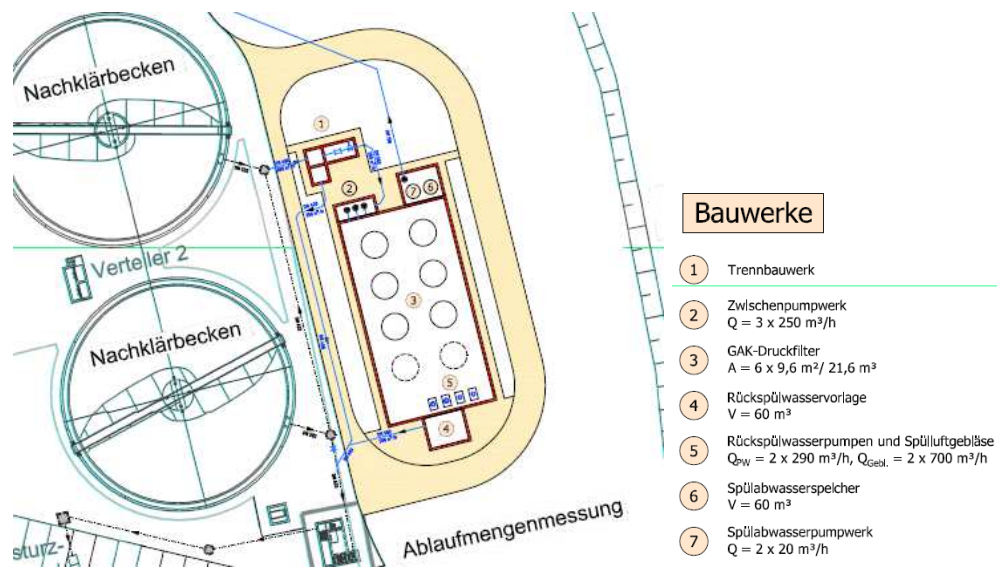


Abbildung 4-11: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

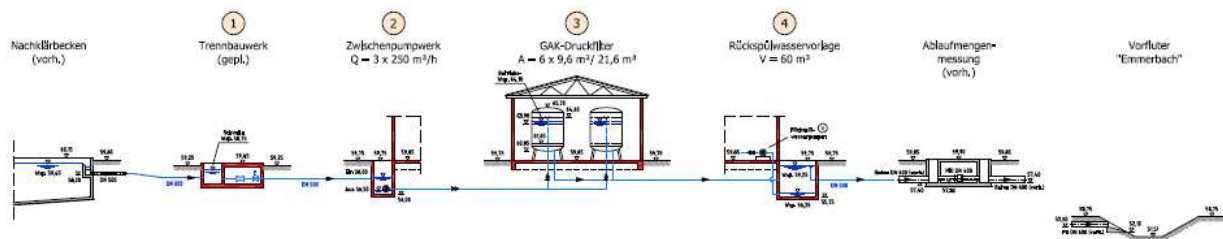


Abbildung 4-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

4.9 Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration

Nach der Ozonung muss, wie bereits zuvor beschrieben, eine Nachbehandlung erfolgen, um evtl. erzeugte, toxische Transformationsprodukte zu entfernen. Hierfür kommt auch eine GAK-Filtration in Frage. Vorteil dieser Anordnung ist, dass Stoffe, die über die Ozonung nicht abgebaut werden können, ggf. durch die GAK zurückgehalten werden. Es handelt sich bei der hier betrachteten Variante um eine Kombination der Varianten 3 und 4, wobei die biologische Nachreinigung im Teich entfallen kann.

5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

5.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen werden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen PAK-Varianten ist eine Tuchfiltration für den behandelten Abwasserstrom enthalten.
- Für Varianten 1+2 wird neuer Fällmitteltank an der 4. Reinigungsstufe berücksichtigt.

- Für Variante 3 wird eine Hälfte des Nachreinigungsteiches stillgelegt, für die restlichen Varianten erfolgt eine vollständige Stilllegung.
- Die Nachreinigung nach der Ozonung erfolgt im verbliebenen Teil des Nachreinigungsteichs.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem Container.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei Variante 3, 4 und 5 (Ozonung, GAK-Filtration, Ozonung + GAK-Filtration) muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe zu beschicken.
- Für die Unterbringung der GAK-Filterbehälter sowie der neuen Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse für Variante 4 und 5 ist ein Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Hochbauteil eingeplant.

Bei der Variante 1 ist gegebenenfalls eine Ertüchtigung der Nachklärbecken erforderlich.

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 Investitionen

	Variante 1 PAK-Dosierung in die Belebung	Variante 2 PAK-Dosierung in	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	862.400 €	1.510.800 €	753.850 €	1.270.450 €
Maschinentechnik- Kosten	820.000 €	910.000 €	445.000 €	698.750 €
EMSR-Technik-Kosten	246.000 €	273.000 €	133.500 €	209.600 €
Baunebenkosten	433.900 €	606.100 €	299.800 €	490.300 €
Investitionskosten netto	2.362.300 €	3.299.900 €	1.632.150 €	2.669.100 €
Investitionskosten brutto	2.811.137 €	3.926.881 €	1.942.259 €	3.176.229 €

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 die Variante 3 (Ozonung) mit 1.942.259 € am niedrigsten. Die Kostenschätzung geht davon aus, dass der Nachreinigungsteich zur Nachbehandlung genutzt werden kann. Sollte dieser nicht geeignet sein, so würden die Kosten durch eine zusätzliche Nachbehandlung deutlich ansteigen. Die Varianten 1 (PAK in die Belebung) und 4 (GAK-Filtration) liegen mit 2.811.137 € und 3.176.229 € dicht beieinander. Die höchsten Kosten wurden mit 3.926.881 € für die Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) abgeschätzt.

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, Flockungshilfsmittel) und den Schlamm Entsorgungskosten zusammen. Bei der Berechnung der Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten wurden die folgenden spezifischen Kosten (netto) angesetzt:

Energiekosten:	0,185 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 Sauerstoffanlage)
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 1.740.159 m³/a. Für die Varianten 2-4 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 1.733.390 m³/a angesetzt.

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

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

Bei Variante 4 (GAK) wurde ein Bettvolumen von 10.000 BVT angesetzt. Damit ergibt sich für die Kläranlage Münster-Hiltrup eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von ca. 8,2 Monaten.

Bei der Ozonungsanlage werden 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]	10.887	23.083	74.903	21.489
Personal	[€/a]	15.684	19.605	15.684	15.684
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	54.076	68.154	33.549	53.954
Sauerstoff	[€/a]	0	0	15.881	0
PAK/GAK	[€/a]	50.167	24.986	0	83.371
FHM, FM	[€/a]	12.408	5.464	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	25.418	14.679	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	168.641	155.971	140.018	174.498

Aus Tabelle 5-2 geht hervor, dass bei Variante 3 (Ozonung) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von ca. 140.000 Euro brutto/a zu rechnen ist. Die zweitniedrigsten Betriebskosten weist die Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) mit ca. 156.000 € auf.

5.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Kostenberechnung zugrunde gelegt. 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]	162.689	214.777	105.952	171.680
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	69.760	87.759	49.233	69.638
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	98.881	68.213	90.785	104.860
Jahreskosten	[€/a]	331.331	370.748	245.970	346.178

Es zeigt sich, dass die Variante 3 (Ozonung) mit ca. 246.000 Euro mit Abstand die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die restlichen Varianten liegen hinsichtlich der Jahreskosten relativ dicht beieinander.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser liegen für die Varianten 1, 2 und 4 eng zusammen mit 0,19 Euro netto bis 0,21 Euro netto. Die günstigsten Kosten werden bei Variante 3 mit 0,14 €/m³ erreicht.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen unter 14 Euro netto pro Jahr (9,11 Euro netto (Variante 3) bis 13,73 Euro netto (Variante 2)).

5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für die Kläranlage Münster-Hiltrup einige Annahmen getroffen, die die Kosten wesentlich beeinflussen. So wurde z.B. davon ausgegangen, dass Teile des bestehenden Nachreinigungsteichs als biologische Nachbehandlung für die Ozonung verwendet werden. Darüber hinaus wurde für alle Varianten die ganze oder teilweise Stilllegung des Nachreinigungsteiches vorgesehen. Sollte sich im Laufe einer weiteren Planung herausstellen, dass eine oder mehrere dieser Annahmen nicht zutreffen, könnten sich die Kosten für eine 4. Reinigungsstufe deutlich erhöhen.

Der P_{ges} -Überwachungswert wurde mit Bescheid vom 28.11.2017 von 2 mg/l auf 1 mg/l abgesenkt. Dieser Wert kann aller Voraussicht nach auch ohne eine Flockungsfiltration sicher eingehalten werden. Im Rahmen dieser Studie wurde davon ausgegangen, dass in absehbarer Zeit keine weitere Verschärfung des P-Überwachungswertes zu erwarten ist. Auf eine weitere Nachbehandlung, wie z.B. eine Flockungsfiltration, wurde daher verzichtet. Auch eine Vorfiltration vor der GAK-Filtration wurde nicht berücksichtigt. Sollten sich die Bedingungen ändern, z.B. durch reduzierte Überwachungswerte, so wäre bei einer weiteren Planung ggf. eine Vollstrom-Flockungsfiltration vor der GAK-Filtration bzw. nach der Ozonung vorzusehen. Die Investitionskosten würden so um jeweils ca. 1.600.000 € (brutto) steigen. Für die PAK-Behandlung im Kontaktbecken sollte im Falle von weiter gesenkten Überwachungswerten eine Vollstrom- an Stelle der momentan geplanten Teilstromfiltration vorgesehen werden. Hierdurch würden sich zusätzliche Investitionskosten in Höhe von ca. 300.000 € (brutto) ergeben. Der verhältnismäßig kleine Unterschied der Investitionskosten von Teil- und Vollstrombehandlung kommt durch die geringe Differenz zwischen Teil- und Vollstrom zustande.

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 (BVT = 10.000). Hierbei wurde berücksichtigt, dass keine Vorfiltration stattfindet – eine solche könnte die BVT deutlich erhöhen. Mit den angesetzten 10.000 BVT ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von ca. 8,2 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen 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 eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) erreicht werden (14).

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

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-Hiltrup

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

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 (27). 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 auch der Einsatz von GAK denkbar (12).

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 (13). Es wird davon ausgegangen, dass z.B. durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine Verbesserung der Adsorptionsleistung erreicht wird (14), so dass die GAK-Filtration als Verfahren für die Spurenstoffelimination zunehmend an Bedeutung gewinnt.

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. Hierfür wurde in dieser Studie der bestehende Nachreinigungsteich vorgesehen. Ob dieser zur diesem Zweck geeignet ist, muss im Zuge einer weiteren Planung detailliert geprüft werden. Auch der Einsatz eines GAK-Filters ist denkbar (12); 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 Kläranlagenablauf mit bis zu 0,2 mg/l in einem Bereich lagen, ab dem das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW in seiner Auslegungsempfehlung eine Einzelfallbetrachtung empfiehlt, ob eine Ozonung am Standort umgesetzt werden kann. 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 notwendig, 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 der Eignung der Verfahren für den Standort Münster-Hiltrup

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

Die Kläranlage Münster-Hiltrup hat derzeit eine Ausbaugröße von 30.000 EW und wird zurzeit, bezogen auf den CSB, mit ca. 27.000 EW belastet. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der Kläranlage Münster-Hiltrup 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 des angeschlossenen Krankenhauses 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 Kläranlage Münster-Hiltrup befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen, das Trinkwasserschutzgebiet Hohe Ward wird jedoch tangiert. Beim Vorfluter Emmerbach handelt es sich um einen schwachen Vorfluter. Er durchfließt unterhalb der Kläranlage mehrere Landschaftsschutzgebiete und geschützte Biotope.

Die in den vorherigen Abschnitten dieses Kapitel erläuterten Punkte wurden zur besseren Quantifizierbarkeit in einer Bewertungsmatrix dargestellt. Für jedes der 16 Kriterien wurden -2 bis +2 Punkte vergeben. Diese Punkte wurden mit einem Gewichtungsfaktor zwischen 1 und 2 berücksichtigt.

Erläuterung zu den Kriterien:

- Breitbandwirkung in Bezug auf die Eliminationsleistung und Eliminationsleistung spezifisch für die Kläranlage Münster-Hiltrup: Die Hauptargumente für die Umsetzung der Maßnahme wurden mit dem Faktor 2 gewertet.
- P-Elimination: Der Einsatz einer Flockungsfiltration erhöht die P-Eliminationsleistung der Kläranlage.

- Flexibilität hinsichtlich neuer Anforderungen an Mikroschadstoffelimination: Es werden regelmäßig neue Stoffe synthetisiert, die ins Abwasser gelangen können; ebenso können neue Qualitätsanforderungen an die Mikroschadstoffelimination gestellt werden.
- Eliminationseffizienz: Die Eliminationseffizienz beschreibt das Verhältnis der Einsatzstoffmenge zur Eliminationseffektivität.
- Vorhandene Betriebserfahrung: Je mehr Pilotanlagen und/oder großtechnische Anlagen gebaut und betrieben wurden, desto sicherer lässt sich sagen, ob das angestrebte Reinigungsziel mit einer bestimmten Technologie erreicht werden kann. Auch die Kostenschätzung für gut erprobte Verfahren ist genauer.
- Platzbedarf: Die Bewertung dieses Kriteriums erfolgt, weil der Ressourcenverbrauch generell so gering wie möglich gehalten werden soll.
- Einfluss auf die Schlammensorgung: Bei einigen Verfahrensvarianten ist eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes nicht mehr möglich. Die landwirtschaftliche Verwertung wird allerdings zukünftig voraussichtlich von untergeordneter Bedeutung sein.
- Wartungsaufwand: Maß für den spezifischen Wartungsaufwand der 4.RS.
- Transformationsprodukte: Die Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung ist zu erwarten. Eine Gefährdung durch entstehende Nebenprodukte konnte noch nicht sicher ausgeschlossen werden. Eine abgesicherte Einschätzung dazu steht allerdings bisher noch aus.
- Bromatbildung: Erste Messungen zeigten eine verhältnismäßig hohe Bromidkonzentration im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup, so dass eine verstärkte Bromatbildung bei der Ozonung zu befürchten ist. Aufgrund dieser Relevanz wurde die Bromatbildung in die Bewertung aufgenommen.
- CO₂-Footprint: Der Parameter wurde als Maß für die Umweltverträglichkeit der Verfahren berücksichtigt. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus einer Bewertung des ökologischen Einflusses verschiedener Verfahren der Spurenstoffelimination (15), siehe Kap. 3.3.
- Gefahrenstoffe auf der KA: Gefahrenstoffe erhöhen das Unfallrisiko und den Schulungsaufwand.
- Flexibilität Änderung Ausbaugröße: Sollte die Kläranlage zukünftig ausgebaut werden, bzw. sollten sich die bemessungsrelevanten Zulaufmengen/-frachten erhöhen, müsste auch die Ausbaugröße der 4. Reinigungsstufe angepasst werden.
- Mikroplastikelimination: Ob es einen Grenzwert für Mikroplastik geben wird, ist noch unklar.

Für die Kläranlage Münster-Hiltrup ergab sich die folgende Verteilung (Abbildung 5-1):

Verfahren	PAK in Belebungsbecken	PAK in Kontaktbecken	Ozonung	GAK	Ozonung + GAK	Faktor
Eliminationsleistung / Breitbandwirkung	0,5	1	1	1	2	2,0
Eliminationsleistung spezifisch KA Münster-Hiltrup	1	1	1	1	2	2,0
Eliminationseffizienz	-1	1	1	1,5	1	1,0
Platzbedarf	2	-1	1	1	0,5	1,0
Einfluss auf Anlage z.B. Schlammensorgung	-1	-1	0	0	0	1,0
Betriebs/Wartungsaufwand	-1	-1	-0,5	-0,5	-1	1,0
Transformationsprodukte	0	0	-0,5	0	0	1,0
Bromatbildung	1	1	-1	1	-1	1,0
CO ₂ -Footprint	-1,5	-1	-0,5	-0,5	-1	1,0
Gefahrenstoffe auf KA	0	0	-0,5	0	-0,5	1,0
Reaktivierung AK	-1	-1		1	1	1,0
Flexibilität Änderung Ausbaugröße	1	-1	-1	-1	-1	1,0
Flexibilität neue Anforderungen Mikroschadstoffe	0,5	1	-1	-1	0	1,0
P-Elimination in FF	1	1	0	0	0	1,0
Mikroplastik-elimination in FF	1	1	0	0	0	1,0
vorhandene Betriebserfahrung	-0,5	1	1	1	-0,5	1,0
Gesamtpunkte	3,50	3,50	2,00	6,50	5,50	

Abbildung 5-1: Bewertungsmatrix Verfahrensvarianten

Hinsichtlich der nicht-monetären Faktoren geht die GAK-Filtration mit 6,5 Punkten als bestgeeignetste Variante aus dem Ranking hervor.

Voraussichtliche Kosten

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die Ozonung mit rund 246.000 Euro. Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten liegen alle wesentlich höher. Es ist jedoch vor der weiteren Planung zu prüfen, ob die Bromidkonzentrationen im Ablauf auch über den Jahresgang konstant unter 0,15 mg/l liegen. Werden zwischenzeitlich (wesentlich) höhere Konzentrationen erreicht, könnte dies die Eignung des Verfahrens in Frage stellen.

Notwendigkeit der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster-Hiltrup

In der Studie „Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen“ (28) 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. Eine gesetzliche Grundlage gibt es allerdings 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. Für die Kläranlage Münster-Hiltrup trifft von den oben genannten Punkten lediglich zu, dass sie in einen schwachen Vorfluter einleitet.

5.6 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

Sollte sich die Annahme, dass die Hälfte des bisherigen Nachreinigungsteiches zur biologischen Nachbehandlung ausreicht, bestätigen, so ist die Ozonung als günstigstes Verfahren anzusehen. Verfahrenstechnisch ist hier die drohende Bildung (persistenter) Transformationsprodukte zu beachten. Sollten diese im Nachreinigungsteich nicht ausreichend eliminiert werden können, so ist ggf. eine andere Art der Nachbehandlung (biologisch aktiver Filter, Wirbelbett) notwendig. Dies würde die Investitions- und Betriebskosten wesentlich erhöhen, so dass diese im Bereich der für die anderen Varianten abgeschätzten Kosten lägen. Die Bromidkonzentration muss vor einer weiteren Planung im Rahmen eines Messprogrammes über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Ggf. sind Laborversuche zur Bromatbildung notwendig.

Die Betrachtung relevanter, nicht-monetärer Faktoren weist die GAK-Filtration als geeignetstes Verfahren aus. Diese Bewertung kann jedoch stark variieren, wenn die aufgeführten Kriterien durch Änderungen der äußeren Umstände anders gewichtet werden.

Hinsichtlich der Reinigungsleistung kann kein klares Vorzugsverfahren bestimmt werden, da bisher noch keine gesetzlichen Vorgaben zur Reinigungsleistung existieren. Für die untersuchten Varianten 2 - 4 ist allerdings nach aktuellem Stand eine vergleichbare Eliminationsleistung zu erwarten. Die beste Eliminationsleistung weist die Variante 5 auf, jedoch ist hier mit sehr hohen Kosten zu rechnen.

5.7 Fazit

Eine Schwierigkeit für Planer und Betreiber besteht immer noch darin, dass keine gesetzlichen Vorgaben zum Reinigungsziel einer 4. Reinigungsstufe festgelegt sind. Um eine wirklich belastbare Auswahl einer Verfahrensvariante treffen zu können, müssten anhand von Leitparametern Reinigungsziele für eine 4. Reinigungsstufe definiert werden.

Als Vorzugsverfahren für die Kläranlage Münster-Hiltrup kommt aufgrund der berechneten Jahreskosten die Variante 3 (Ozonung) infrage, wenn der Nachreinigungsteich zur Entfernung der entstehenden Transformationsprodukte ausreicht. Die Bromidkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung sind jedoch vor

einer etwaigen Umsetzung vorab zu überprüfen. Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass eine (teilweise) Stilllegung des Nachreinigungsteiches nicht zu einer Verschlechterung des Reinigungsergebnisses führt. Die vorliegenden Daten deuten jedoch darauf hin, dass bei allen Betriebszuständen bereits im Ablauf der Nachklärung die relevanten Überwachungswerte eingehalten werden. Desweiteren ist im Hinblick auf andere, nicht monetäre Faktoren, auch die Variante 4 zu empfehlen. Hier wäre jedoch mit deutlichen Mehrkosten zu rechnen. Die Wichtung der Wirtschaftlichkeit gegenüber den anderen Faktoren ist noch festzulegen.

Da der Nutzen der 4. Reinigungsstufe auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden muss – der Betrieb der 4. Reinigungsstufe verursacht einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz – wäre es für den Betreiber der Kläranlage sinnvoll, wenn Betriebserfahrungen der schon bestehenden Anlagen und bald in Betrieb gehender Anlagen sowie Ergebnisse von Forschungsprojekten der kommenden Jahre abgewartet werden können, um dann ggf. in Zukunft in Abstimmung mit den Behörden eine effektive und zuverlässige Verfahrenstechnik am Standort auszuwählen und umzusetzen.

Da bisher keine gesetzlichen Vorgaben zur Reinigungsleistung existieren, ist die Auswahl eines Vorzugsverfahrens mit Unsicherheiten behaftet. Nach bisherigem Stand sind für die Varianten 2-4 vergleichbare Eliminationsraten zu erwarten. Es ist in den kommenden Jahren mit Entscheidungen bezüglich gesetzlicher Vorgaben zur Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe zu rechnen. Dies wird die Planungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber erheblich erhöhen, da dann auch mit den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erfahrungen die standortspezifisch effektivste Verfahrenstechnik zum Einsatz kommen kann.

Vor dem Hintergrund der unklaren gesetzlichen Entwicklung wird empfohlen, mit dem Bau einer 4. Reinigungsstufe abzuwarten, bis entsprechende Regelungen existieren.