Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf dem Gruppenklärwerk Bedburg-Kaster

Kurzfassung

April 2018

Verfasser:

Gefördert durch:

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

Auftraggeber:

Erftverband

Am Erftverband 6, 50126 Bergheim

Herr Beyerle, 02271-88-1243

_____

Unterschrift

Aufgestellt durch:

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.

Aachen, den 04.04.2018

_____

ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Veranlassung 5
1.1 Allgemeines 5
1.2 GKW Bedburg-Kaster 6
2 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet 6
3 Verfahren zur Mikroschadstoffelimination 7
3.1 Oxidative Verfahren: 7
3.2 Physikalische Verfahren: 7
3.3 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen 8
4 Messprogramm zur Mikroschadstoffelimination auf dem GKW Kaster und Verfahrensvorauswahl 9
4.1 Untersuchungen des Vorfluters 9
4.2 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs 10
4.3 Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe 13
4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand 14
4.5 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung 14
4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken 15
4.7 Variante 3: Ozonbehandlung 17
4.8 Variante 4.1: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration) 19
4.9 Variante 4.2: GAK-Filter in bestehender Flockungsfiltration 20
5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte 22
5.1 Investitionen 22
5.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten 23
5.3 Jahreskosten 24
5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation 25
5.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Kaster 26

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 : Bundesamtfür Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.

7. **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.

8. **M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhausser, 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.

9. **Frank Benstöm, Andreas Nahrstedt, Marc Böhler, Gregor Knopp, David Montag, Hansruedi Siegrist, Johannes Pinnekamp.** Granulierte Aktivkohle - Ein Review halb- und großtechnischer Untersuchungen. *Gewääserschutz - Wasser - Abwasser.* 2016, Bd. 239.

10. **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.

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. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 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 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 existieren diverse Eintragsquellen für Mikroverunreinigungen. 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 Mikroschadstoffe 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)

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. Der Erftverband hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für das GKW Bedburg-Kaster 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 GKW Bedburg-Kaster

Beim GKW Kaster handelt es sich um eine mechanisch-biologische Anlage. Das Einzugsgebiet der Kläranlage wird im Wesentlichen (ca. 80 %) im Mischsystem entwässert.

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt 66.000 EW, sie wurde im Jahr 2015 jedoch nur mit 48.500 EW belastet (5).

Aus der Grundlagenermittlung von 2010 können folgende Werte zusammengefasst werden:

- Tageswassermenge (Q_D) 10.560 m³/d
- Trockenwetterzufluss (Q_t) 715 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 1.872 m³/h

Das GKW Kaster besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe und einer einstufigen, zweistraßigen Belebungsanlage, die als Dreier-Kaskade (anaerb/anoxisch/aerob) mit Nährstoffelimination (Bio-P, Nitrifikation/Denitrifikation) ausgebildet ist. Verbleibender Phosphor wird mittels Simultanfällung entfernt. Der Belebtschlamm wird im Nachklärbecken vom gereinigten Abwasser abgetrennt. Im Anschluss an die Nachklärung wird das Abwasser über den ursprünglich als Flockungsfiltration geplanten Sandfilter geleitet. Das GKW Kaster wird mit einer Simultanfällung betrieben, die eine hinreichende Eliminationsleistung erzielt, um die Überwachungswerte sicher einzuhalten. Der Sandfilter dient heute dazu einen eventuellen Schlammflockenabtrieb aus der Nachklärung zu verhindern. Der auf dem Klärwerk anfallende Schlamm wird anaerob behandelt und anschließend maschinell entwässert.

Ein vereinfachtes Fließbild des GKW Kaster zeigt Abbildung 1-1.

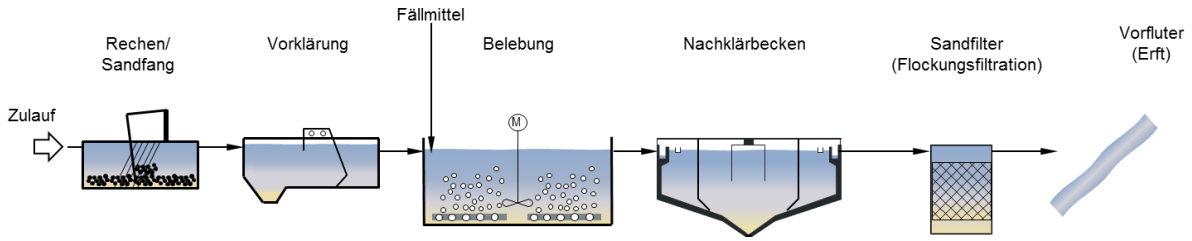

Abbildung 1-1: Vereinfachtes Fließbild des Gruppenklärwerks Bedburg-Kaster

2 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet

Im in der Kläranlage Kaster behandelten Abwasser sind keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch die einleitenden Krankenhäuser wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions-, Reinigungs- und Röntgenkontrastmitteln erwartet.

Mikroschadstoffe wie Medikamentenrückstände und Röntgenkontrastmittel können jedoch auch mit dem häuslichen Abwasserstrom eingetragen werden. Durch die Arzneimitteleinnahme 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 Mikroschadstoffeinträge 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 Erft wird also durchaus auch durch die Einleitung der Kläranlage Kaster verursacht. Andererseits sind für eine Strategie zur Minderung des Mikroschadstoffeintrages möglichst viele andere Faktoren, wie die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen, zu berücksichtigen.

In der direkten Umgebung des GKW Kaster liegt das Naturschutzgebiet „NSG Erft zwischen Bergheim und Bedburg/ BM-041“ und das „NSG Ehemalige Klaerteiche Bedburg / BM-040“. Die Naturschutzgebiete reichen bis ca. 800 m an das GKW heran, die Erft durchfliest diese allerdings vor der Einleitstelle des GKW Kaster. Nach der Einleitstelle tangiert die Erft vor der Mündung in den Rhein nach knapp 17 km nur noch das kleine Naturschutzgebiet „NSG An der schwarzen Brücke/ NE-011“ bei Wevelinghoven im Rhein-Kreis Neuss.

3 Verfahren zur Mikroschadstoffelimination

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

3.1 Oxidative Verfahren:

Bei der Oxidation werden die Abwasserinhaltstoffe 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 Abwasserinhaltstoffe über eine selektive Membran. Da es sich bei den für die Mikroschadstoffelimination 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 Mikroschadstoffelimination aus Abwasser zu bewirken.

Nano- und Umkehrosmoseverfahren 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 Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen aus. Auch zukünftig wird die Konzentratentsorgung flächendeckend logistisch und wirtschaftlich nicht eingerichtet werden können.

Die Photolyse scheidet für die Mikroschadstoffelimination aus Abwasser aus, da nur sehr wenige Verbindungen entfernt werden können. Der Einsatz von Chlor und Chlordioxid kommt aus zwei Gründen für die Mikroschadstoffelimination 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 Mikroschadstoffelimination 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 Mikroschadstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die ursprünglichen Mikroschadstoffe 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. (7)

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granulierte 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 (8). Neuere Erkenntnisse zeigen, dass GAK und PAK vergleichbare Eliminationsleistungen erzielen können. Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (9) 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 und Bewirtschaftung 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 (9).

Grundsätzlich ist zu beachten, dass weder mit dem Einsatz von Aktivkohle noch mit dem Einsatz von Ozon alle Mikroverunreinigungen vollständig zu entfernen sind.

4 Messprogramm zur Mikroschadstoffelimination auf dem GKW Kaster und Verfahrensvorauswahl

4.1 Untersuchungen des Vorfluters

Es wurden ober- und unterhalb der Einleitstelle Untersuchungen des Vorfluters Erft durchgeführt.

Der Erftverband hat ein umfangreiches Messprogramm in Vorfluter, Kläranlagenzulauf und -ablauf durchgeführt. Insgesamt wurden im Vorfluter 212 Parameter untersucht, zum einen allgemeine chemische Parameter (ACPs), zum anderen Mikroschadstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel, Antibiotika oder auch Röntgenkontrastmittel.

Es erfolgten acht Probenahmen. Die untersuchten Parameter nebst vollständigen Analysenergebnissen finden sich in der Langfassung der Studie.

Die meisten Konzentrationsänderungen im Vorfluter lagen im Bereich bis max. 50 % Zunahme. Eine starke Zunahme ist bei Phenazon zu beobachten, einem Schmerzmittel, das vor der Einleitung des Klärwerks nicht nachweisbar ist, nach der Einleitung aber mit im Mittel 0,21 µg/l vorliegt. Verglichen mit dem angegebenen Referenzwert handelt es sich jedoch um eine eher geringe Konzentration. Überschreitungen der Referenzwerte zeigen neben Diclofenac insbesondere die Röntgenkontrastmittel, die um den Faktor 3-4 über den Referenzwerten liegen. Auf Grund der beiden einleitenden Krankenhäuser ist es nicht verwunderlich, dass die auffälligen Konzentrationen in erster Linie bei den Arzneimitteln und Röntgenkontrastmitteln zu verzeichnen sind.

4.2 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Das Messprogramm wurde vom Erftverband durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für die Studie zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden 163 Parameter untersucht, neben einigen ACPs waren darunter hauptsächlich Mikroschadstoffe analog zu den Untersuchungen im Vorfluter. Es wurden jeweils acht Proben des Zu- und Ablaufs untersucht.

Aus dem Vergleich der Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Mikroschadstoffe berechnet werden. Diese Eliminationsraten entsprechen der Verringerung der Mikroschadstoffkonzentrationen während der Behandlung in der Kläranlage. Sie entstehen jedoch vermutlich nicht nur durch den Abbau der Mikroschadstoffe, sondern dürften teilweise auch durch eine Adsorption der Mikroschadstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Eine besonders hohe Reduktion ist bei den östrogen-wirksamen Stoffen, Coffein, Ibuprofen (je 100 %) und Metformin (99 %) gegeben. Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Phenazon (-404 %), Linuron (-360 %) und Dimethenamid (-131 %). Bei den 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 Analysenergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei den ausgewerteten Messungen um Stichproben handelt und dass daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

In Tabelle 4-1 sind die Konzentrationen der Mikroschadstoffe, die im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster nachgewiesen werden konnten, sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS zusammengefasst. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Mikroschadstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 4-1: Ergebnisse der Mikroschadstoffanalysen

Bezeichnung	Mittlere Konzentration [µg/l]	Referenz andere KA	
		Mittelwert	Maximalwert
östrogen wirksame Stoffe	0,00		
Aclonifen	0,12		
Bentazon	0,02	<0,05	<0,05
CPA	0,06		
Clomazon	0,08	<0,02	<0,02
Clopyralid	0,03		
2,4-D	0,06	<0,05	<0,05
Desethylterbuthylazin	0,18	0,2	0,3
2,4-Dichlorbenzoesäure	0,09		
Dimethenamid	0,81		
Dimethomorph	0,19		
Diuron	0,10	0,1	0,4
Epoxiconazol	0,10		
Ethofumesat	0,08	<0,02	<0,02
Fenpropimorph	0,12		
Flufenacet	0,23	<0,02	<0,02
Imidacloprid	0,10	0,3	0,7
Isoproturon	0,18	5,2	15,1
Linuron	0,23	<0,02	<0,02
MCPA	0,18	0,1	0,1
Mecoprop (=MCPP)	0,35		
Metamitron	0,60	<0,02	<0,02
Metribuzin	0,49	<0,02	<0,02
Prosulfocarb	3,21	<0,02	<0,02
Simazin	0,23	0,0900	0,0900
Tebuconazol	0,26	<0,02	<0,02
Terbuthylazin	0,22	<0,02	<0,02
Terbuthylazin-2-hydroxy	0,08	0,0202	0,0204
Terbutryn	0,08	0,1	0,2
Acridin	0,08		
1H-Benzotriazol	6,58	5,1	10,0
1H-Benzotriazol-4-Methyl	1,22	0,7	1,0
Bisphenol A	0,07	1,3	9,7
Coffein	0,16		
DEET	0,23	0,1	0,1
HHCB	1,59	0,6	0,6
Triclosan	0,03	0,1	0,1
Triphenylphosphinoxid	0,06		
TDCPP	0,24	1,1	2,5
TCEP	0,18	0,9	2,1
TCPP	1,96	1,3	1,3
Atenolol	0,21	0,2471	1,0750
Bezafibrat	0,10	0,1	0,4
Bisoprolol	0,92	0,3	2,2
Carbamazepin	1,05	0,9	1,8
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	1,75	2,0	2,0
Clarithromycin	0,41	0,3	1,2
Diclofenac	3,08	2,2	4,9
4-Hydroxy-diclofenac	0,19		
Erythromycin	1,37	0,2	0,2
Gabapentin	5,96		
Ibuprofen	0,06	0,2	0,3
Iminostilben	0,81		
Metformin	1,17		
Metoprolol	2,27	1,9	5,3
Naproxen	0,20	0,2	0,8
Phenazon	0,74	0,2	0,5
Propranolol	0,11	0,02	0,02
Roxithromycin	0,27	0,1	0,1
Sotalol	0,28	0,4	0,8
Sulfadiazin	0,22	0,0540	0,0540
Sulfamethoxazol	0,27	0,4	1,1
Trimethoprim	0,45	0,2	0,2
Amidotrizoesäure	9,61	3,7	29,0
Iohexol	2,73	1,0	4,2
Iomeprol	1,48	4,6	28,0
Iopamidol	17,96	5,3	84,0
Iopromid	1,00	3,3	28,0

	</= MW andere KA
	> MW und </= Max andere KA
	> Max andere KA

rot	Nur ein Referenzwert vorhanden
fett	**Indikatorsubstanz nach Kompentenzzentrum Mikroschadstoffe NRW**

Die Datenlage für einige Parameter ist nur sehr dünn, so dass die Vergleichswerte hier mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Zur sicheren Vergleichbarkeit sind weitere Daten erforderlich.

In Tabelle 4-2 sind die möglichen Verfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster nachgewiesenen Mikroschadstoffe zusammengefasst. Es zeigt sich, dass keines der Verfahren alle nachgewiesenen Mikroschadstoffe gleich gut entfernen kann. Für einige Stoffe gibt es zurzeit überhaupt keine befriedigenden Eliminationsverfahren (z.B. Amidotrizoesäure).

Tabelle 4-2: Bewertungsmatrix zur Mikroschadstoffelimination der im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster gefundenen Mikroschadstoffe

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						
Atenolol	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
Hormone						
17 beta-Estradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
17 alpha -Ethinylestradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
weitere Humanpharmaka						
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht
Naproxen	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	Gut	mäßig	mäßig
Phenazon	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	k.A.
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
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

Insgesamt wurde auf dem GKW Bedburg-Kaster ein sehr umfassendes Spektrum an Mikroschadstoffen untersucht. Die Analysenergebnisse tragen dazu bei, eine bessere Bestandsaufnahme hinsichtlich der Mikroschadstoffeinträge in Oberflächengewässer aus kommunalen Kläranlagen zu ermöglichen.

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 des GKW Bedburg-Kaster haben gezeigt, dass alleine anhand der enthaltenen Mikroschadstoffe kein Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Eine wesentliche Besonderheit des GKW Kaster ist die bestehende Flockungsfiltration. Eine Umnutzung dieser ist nach Angaben des Erftverbandes möglich, da sie zur Erlangung der Überwachungswerte eigentlich nicht benötigt wird. Die Filtrationsanlage wird lediglich zum Suspensa-Rückhalt genutzt. Deshalb wird die Umrüstung der Flockungsfiltration zur GAK-Filtration als eine Variante betrachtet.

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Bedburg-Kaster 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 4.1: GAK-Filtration (Neubau)
- Variante 4.2: GAK-Filtration in bestehender Flockungsfiltration

Am Standort ist eine Flockungsfiltration vorhanden, die, abgesehen von der Variante 4.2, für die Vor- oder Nachbehandlung des Abwassers der 4. Reinigungsstufe genutzt wird.

Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebung, erfolgt automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Der Vollstrom wurde mit 1.900 m³/h angesetzt. Bei den Varianten 2 - 4.2 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms, wodurch ein Teilstrom von 730 m³/h behandelt wird.

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

Auf dem GKW Bedburg-Kaster steht eine Flockungsfiltration zur Verfügung, die evtl. umgerüstet oder in das Konzept der Mikroschadstoffelimination eingebunden werden kann. Eine Erweiterungsfläche für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe ist nord-östlich der Nachklärbecken vorhanden. Sie ist in Abbildung 4-1 gezeigt.

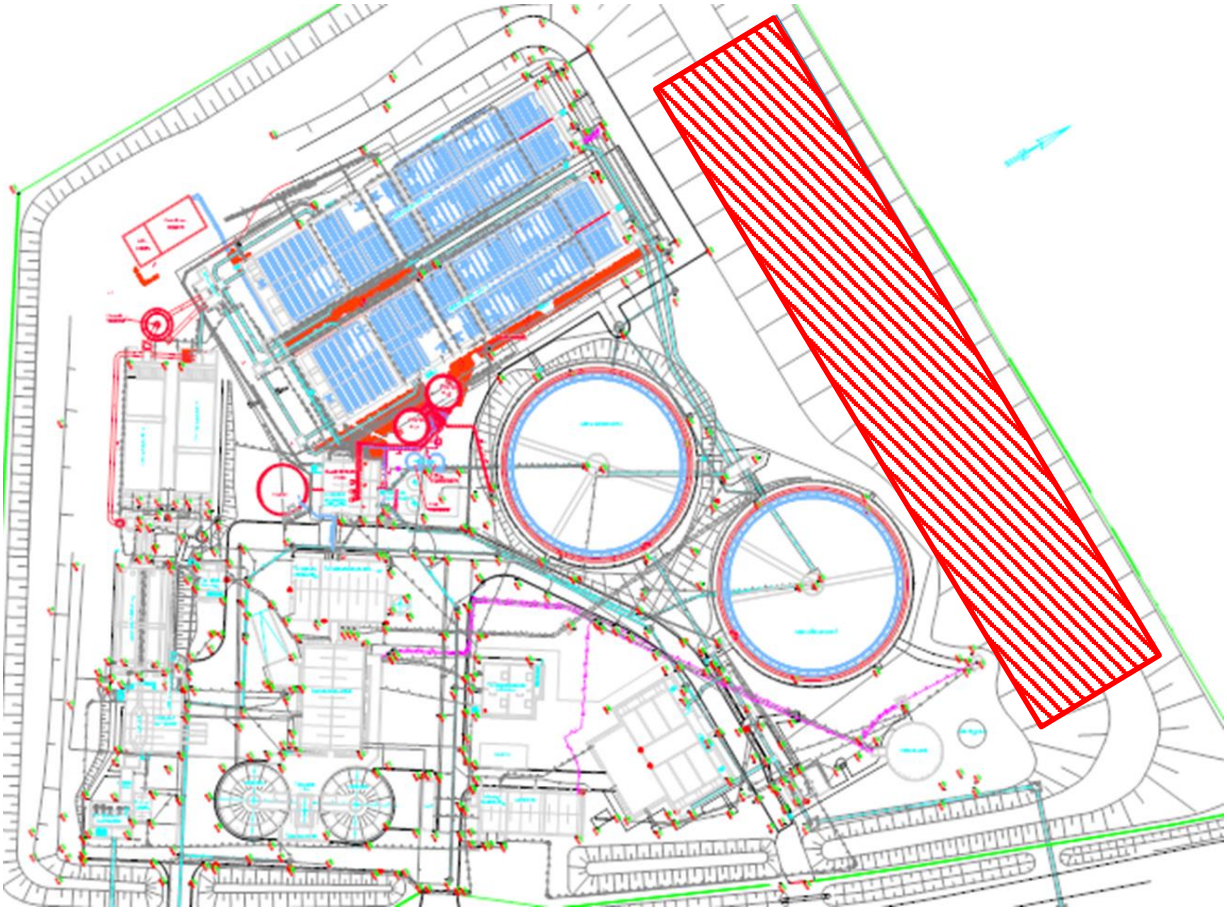

Abbildung 4-1: Erweiterungsgebiet (rot schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für alle Varianten außer Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) und Variante 4.2 (Umrüstung der Flockungsfiltration) ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der Becken bzw. 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 des GKW Bedburg-Kaster besteht aus 2 Belebungsbecken (Vornitrifikation, Anaerobstufe, vorgeschaltete Denitrifikationsstufe, Nitrifikationsstufe), er besitzt ein Gesamtvolumen von 11.900 m³. Hier kann eine PAK-Dosierung erfolgen, wie die schematische Zeichnung der Verfahrensvariante in Abbildung 4-2 zeigt.

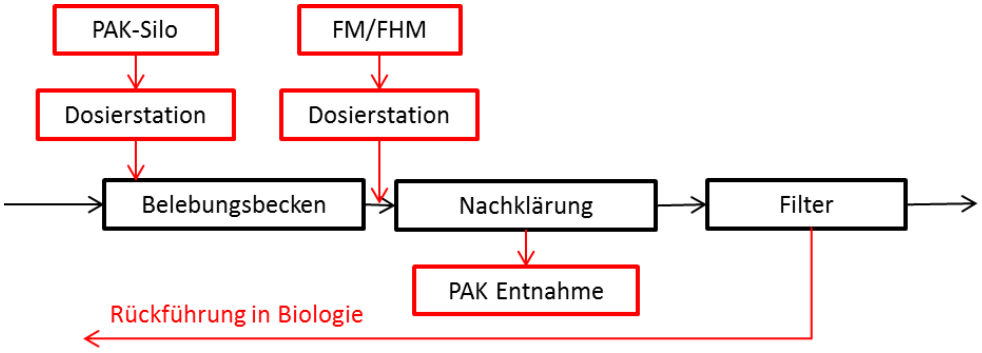

Abbildung 4-2: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit, den Abwasserstrom des GKW Bedburg-Kaster mittels Pulveraktivkohle (PAK) zu behandeln, ist die PAK-Dosierung in eine separate Behandlungsstufe, die sich an die Nachklärung anschließt. Das gereinigte Abwasser wird in Kontaktbecken geleitet, in welche die PAK dosiert wird. Im nachfolgenden Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene PAK vom behandelten Abwasser getrennt. Eine Filtration (Bestand) 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 4-3 dargestellt.

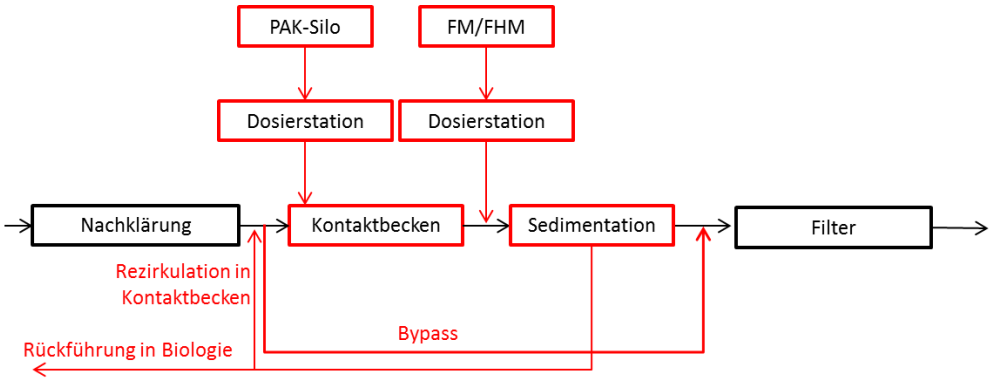

Abbildung 4-3: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

<u>Anordnung der PAK-Dosierung (Kontakt- und Sedimentationsbecken) und Flockungsfiltration</u>

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe ist ein Zwischenpumpwerk vorgesehen. Die Kontaktbecken werden als Kaskade mit drei rechteckigen Becken mit einem Volumen von jeweils ca. 35 m³ ausgeführt.

Nachgeschaltet befindet sich das Sedimentationsbecken, das als Rundbecken mit einem Volumen von 1460 m³ ausgeführt wird. Für die Rückführung der PAK in die Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehenen (Q = 511 m³/h + Reserve).

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

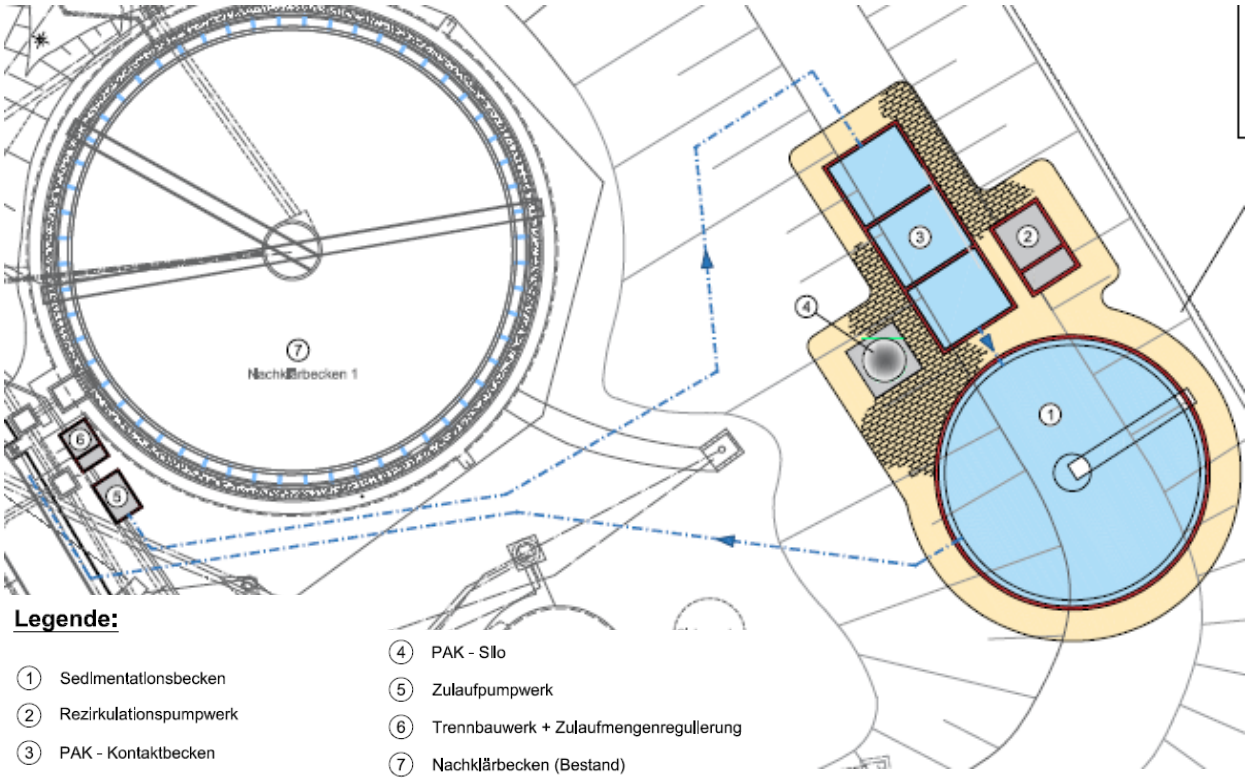

Abbildung 4-4: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

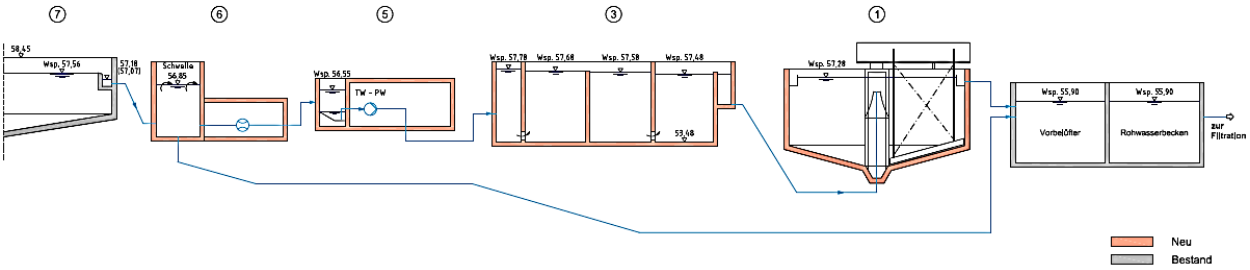

Abbildung 4-5: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

4.7 Variante 3: Ozonbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. 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 (9).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 4-6 gezeigt.

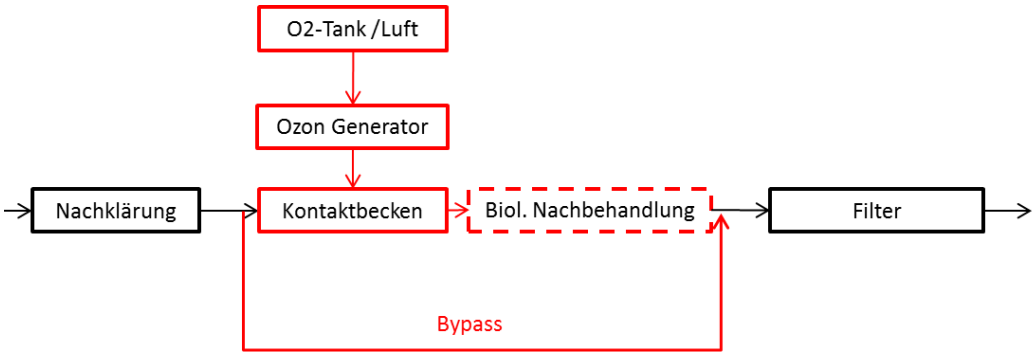

Abbildung 4-6: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

<u>Anordnung der Ozonanlage und Flockungsfiltration:</u>

Das Abwasser durchläuft den Ozonreaktor und danach die vorhandene Flockungsfiltration. Für die Unterbringung des Ozonerzeugers wird eine Containerlösung vorgesehen.

Ein Lageplanausschnitt für die Variante 3 (Ozon) ist in Abbildung 4-7 gezeigt, ein Längsschnitt in Abbildung 4-8.

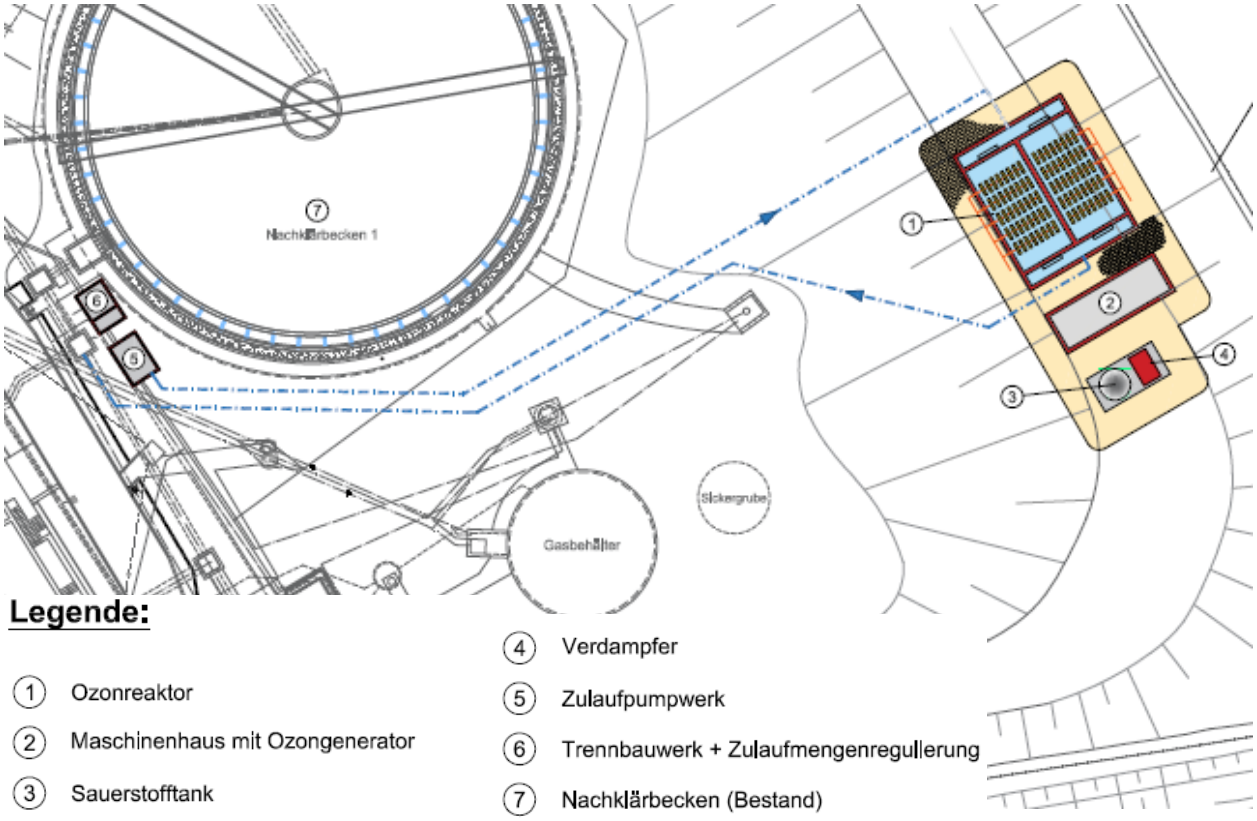

Abbildung 4-7: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

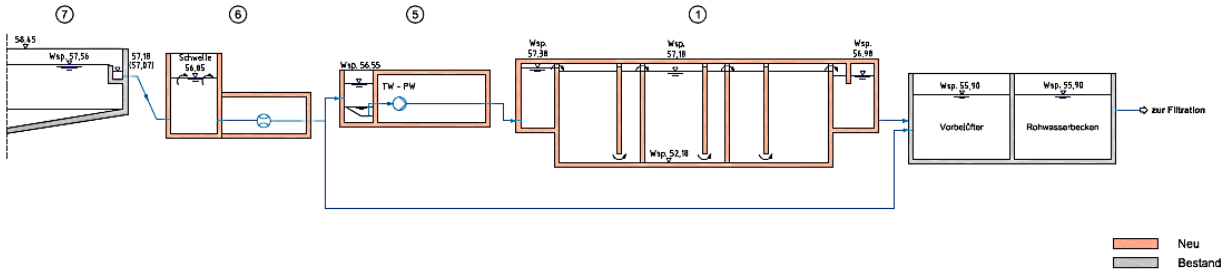

Abbildung 4-8: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

4.8 Variante 4.1: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Mikroschadstoffelimination auf dem GKW Bedburg-Kaster kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden. Das gereinigte Abwasser aus der Flockungsfiltration wird dabei den GAK-Filtern zugeführt. 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 4-9 dargestellt.

Abbildung 4-9: Mögliche Verfahrensführung Variante 4.1 (GAK)

<u>Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:</u>

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. Die bestehende Flockungsfiltration kann theoretisch vor oder nach der GAK-Filtration angebunden werden. Wird diese vor der GAK-Filtration betrieben, erhöht sich die Standzeit der GAK.

Der Lageplanausschnitt für Variante 4 ist in Abbildung 4-10 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 4-11.

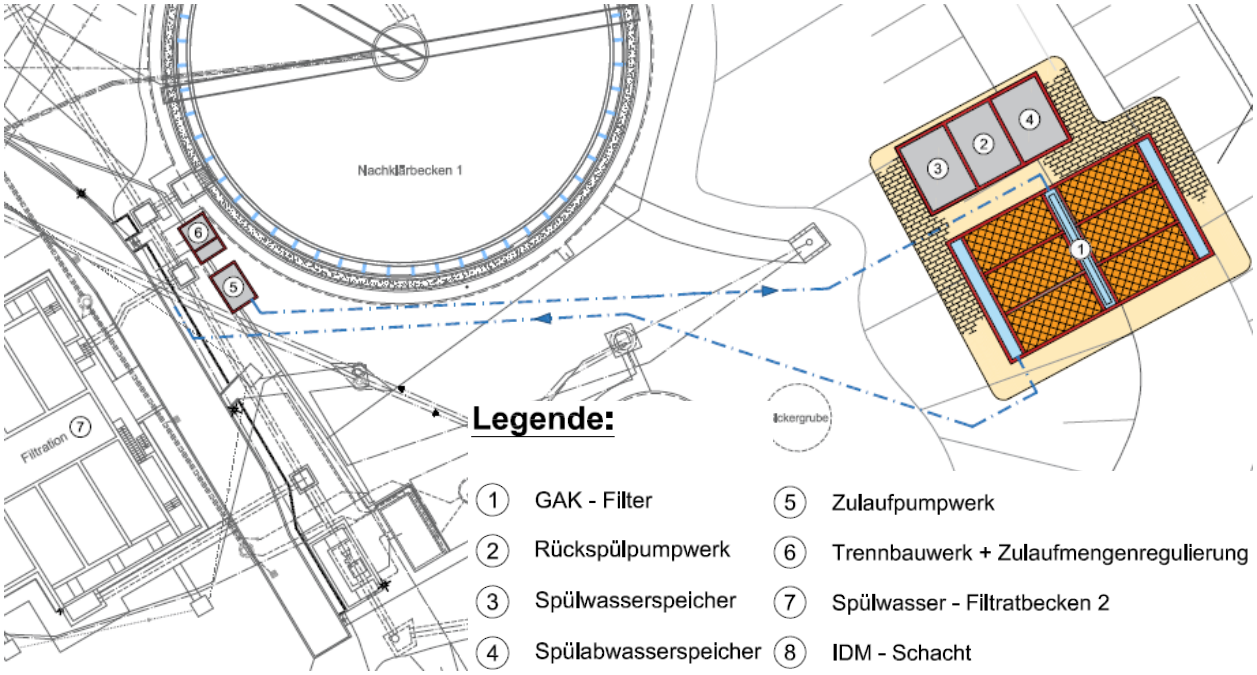

Abbildung 4-10: Variante 4.1 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

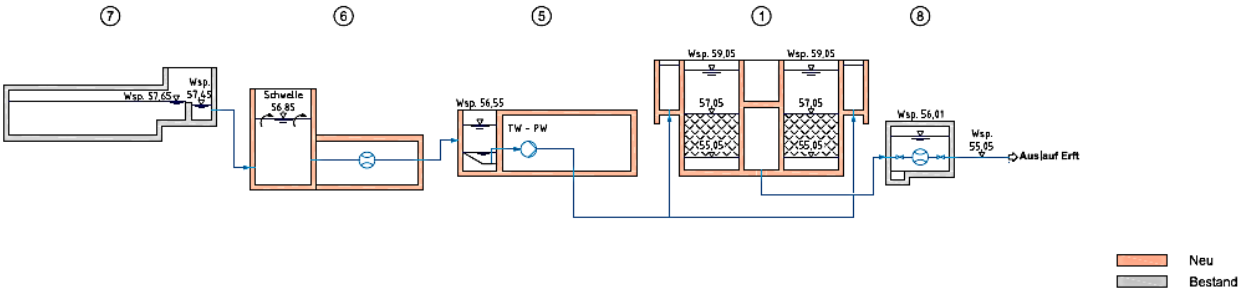

Abbildung 4-11: Variante 4.1 (GAK-Filtration), Längsschnitt

4.9 Variante 4.2: GAK-Filter in bestehender Flockungsfiltration

Im Rahmen dieser Studie wurde auch die Option geprüft, ob ein teilweiser oder kompletter Austausch des Filtermaterials der Flockungsfiltration (Bestand) durch GAK als 4. Reinigungsstufe ausreicht. Das grundsätzliche Schema ist der folgenden Abbildung dargestellt:

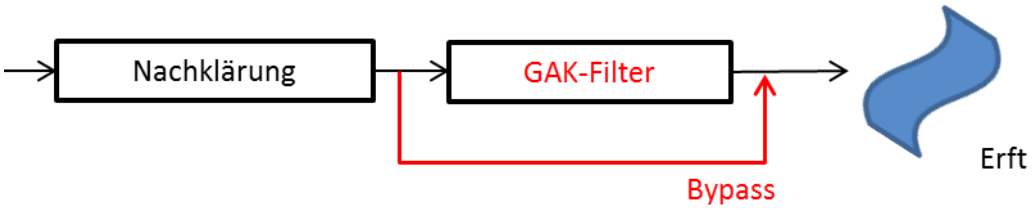

Abbildung 4-12: Mögliche Verfahrensführung Variante 4.2 (Umrüstung Flockungsfiltration)

Die bestehende Flockungsfiltration (Sandfiltration) verfügt über 6 Filterkammern, die parallel betrieben werden. Sie ist bei einer Umrüstung auf eine GAK-Filtration nur für eine Teilstrombehandlung von ca. 730 m³/h ausreichend. Hieraus ergibt sich, dass eine Vollumrüstung der Flockungsfiltration notwendig wäre, um 80 % der Jahresabwassermenge (730 m³/h) zu behandeln. Darüber hinaus gehende Wassermengen würden an der GAK Filtration im Bypass vorbei geleitet und ohne abschließende Filtrationsstufe in den Vorfluter eingeleitet. Auf Grund des Fehlens der Flockungsfiltration vor der GAK-Filtration wäre mit einer reduzierten Standzeit der GAK um bis zu 50 % zu rechnen.

5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

5.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen wurden u.a. folgende Annahmen getroffen:

- Bei den Varianten 1 - 3 wird die bestehende Filtration für den Vollstrom weiter betrieben und dient als Nachbehandlung zur PAK-Restabscheidung sowie zur Nachbehandlung der Ozonierung.
- Bei Variante 4.1 wird die bestehende Filtration als Vorfiltration vor der GAK-Stufe genutzt.
- Bei Variante 4.2 wird die bestehende Filtration zur GAK-Filtration umgerüstet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Filterböden ausgetauscht werden, ebenso wird angesetzt, dass ein Teil der Maschinentechnik erneuert wird.
- Bei den Varianten 4.1 und 4.2 ist die GAK Erstbefüllung in den Investitionen enthalten (wird unter „Baunebenkosten und Sonstiges“ eingeordnet).
- Es wird kein neuer Fällmitteltank (Nutzung Bestand) errichtet, lediglich Dosiereinrichtungen werden berücksichtigt.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem Maschinencontainer.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei den Varianten 2, 3 und 4.1 müssen ein Trennbauwerk (Aufteilung der Wassermengen auf die 4. RS und Bypass) sowie ein Zwischenpumpwerk errichtet werden. Bei Variante 4.2 muss ein Trennbauwerk errichtet werden.
- Für die Variante 1 ist ggf. eine Ertüchtigung der Nachklärung nötig, da diese als Sedimentationsbecken für die PAK fungiert. Hierfür wird ein Pauschalbetrag angesetzt, der in Abhängigkeit vom tatsächlichen Aufwand variieren oder sogar entfallen kann. Im Zuge einer weiteren Planung müsste die Nachklärung vor diesem Hintergrund detailliert betrachtet werden.

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

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung im Bestand)
Bautechnik	[€]	34.980	992.690	598.370	973.875	102.290
Maschinentechnik	[€]	405.000	696.000	910.000	564.000	330.000
EMSR-Technik	[€]	121.500	208.800	136.500	169.200	99.000
Nebenkosten	[€]	101.066	341.548	296.077	408.794	261.447
Summe Investitionen netto	[€]	662.546,40	2.239.038,20	1.940.946,60	2.115.868,50	792.737,40
Summe Investitionen brutto	[€]	788.430,22	2.664.455,46	2.309.726,45	2.517.883,52	943.357,51

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 788.400 Euro brutto am niedrigsten. Auch Variante 4.2 GAK-Filtration (Umnutzung der bestehenden Filtration) weißt niedrige Investitionen von 943.400 Euro auf. Bei diesen Varianten sind die wenigsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für die Varianten 2, 3 und 4.1 mit dem Neubau einer 4. Reinigungsstufe und Weiternutzung der bestehenden Filtration fallen wesentlich höhere Investitionen zwischen 2.309.700 bis 2.664.500 Euro brutto an.

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 Schlammentsorgungskosten zusammen. Bei der Berechnung der Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten wurden die folgenden spezifischen Kosten (netto) angesetzt, die vorab mit dem Erftverband abgestimmt wurden:

Energiekosten:	0,21 Euro/kWh
Personalkosten:	60.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.600 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.200 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,2 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)
Schlammentsorgung:	240 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 3.905.190 m³/a. Für die Varianten 2 - 4.2 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 3.105.321 m³/h angesetzt.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs wurden die Hauptverbraucher wie Pumpen, Rührwerke, Räumer 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 4.1 (GAK Neubau) wurde ein Bettvolumen von 12.500 BTV angesetzt, weil die bestehende Filtration als Vorbehandlung genutzt wird. Bei Variante 4.2 (GAK Umbau Bestandsfiltration) wird ein Bettvolumen von 10.000 BTV angesetzt, weil keine Vorfiltration durchgeführt wird.

Bei der Ozonungsanlage wurden Kosten in Höhe von 0,20 Euro/kg Sauerstoff angesetzt. Die spezifischen Kosten beinhalten auch die Miete für die Sauerstofflagereinheit.

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

Tabelle 5-2 zeigt eine Zusammenfassung der auf das Jahr 2017 als Bezugsjahr umgerechneten Betriebskosten.

Tabelle 5-2: Betriebskostenschätzung für die Varianten 1 – 4.2; Bezugsjahr: 2017

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung im Bestand)
Energie	[€/a]	11.846	58.842	93.330	57.913	0
Personal	[€/a]	24.000	30.000	24.000	24.000	6.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	13.687	37.510	35.138	32.938	12.259
Sauerstoff	[€/a]	0	0	48.174	0	0
PAK/GAK	[€/a]	137.463	54.653	0	114.773	143.466
FHM, FM	[€/a]	21.171	13.723	0	0	0
Schlammentsorgung	[€/a]	37.024	19.375	0	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	**[€/a]**	**245.191**	**214.103**	**200.641**	**229.624**	**161.725**
Betrieb Gesamtkosten (Bruttokosten)	**[€/a]**	**291.777,08**	**254.782,99**	**238.763,34**	**273.252,01**	**192.452,96**

Aus Tabelle 5-2 geht hervor, dass bei Variante 4.2 (GAK Umrüstung Bestand) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von ca. 192.500 Euro brutto/a zu rechnen ist. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die bestehende Filtrationsstufe nicht weiter betrieben wird und zur GAK-Filtration umgerüstet wird (deshalb hier: geringerer zusätzlicher Personalaufwand angesetzt, geringerer zusätzlicher Wartungs- und Instandhaltungsaufwand berücksichtigt, kein zusätzlicher Energieverbrauch angenommen).

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 – 4.2; Bezugsjahr: 2017

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung im Bestand)
Kapitalkosten	[€/a]	55.616	151.721	139.001	138.327	58.219
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	37.687	67.510	59.138	56.938	18.259
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	207.504	146.593	141.503	172.685	143.466
Jahreskosten (netto)	**[€/a]**	**300.807**	**365.824**	**339.642**	**367.951**	**219.944**
Jahreskosten (brutto)	**[€/a]**	**357.960**	**435.331**	**404.174**	**437.862**	**261.733**

Es zeigt sich, dass die Variante 4.2 (GAK Umrüstung Bestand) mit 261.700 Euro brutto mit Abstand die niedrigsten Jahreskosten aufweist.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser liegen für die Varianten 2, 3 und 4.1 eng zusammen mit 0,11 Euro netto bis 0,12 Euro netto. Die günstigsten Kosten werden bei Variante 4.2 mit 0,07 Euro netto/m³ und Variante 1 mit 0,08 Euro netto/m³ erreicht.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen unter 8 Euro netto pro Jahr (4,53 Euro netto (Variante 4.2) bis 7,59 Euro netto (Variante 4.1)).

5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für den Standort Kaster verschiedene Annahmen getroffen, die die Kostensituation wesentlich beeinflussen.

Auf dem GKW Kaster ist eine Filtrationsstufe vorhanden, die bei den Varianten 1, 2 und 3 für die Nachbehandlung der 4. Reinigungsstufe weiter genutzt werden kann. Für Variante 4.1 wird die bestehende Filtration zur Vorbehandlung genutzt. Für Variante 4.2 kann die bestehende Filtrationsstufe umgerüstet werden.

Alle anderen Bauwerke wie Reaktionsbecken, Sedimentationsbecken, Pumpenschächte etc. müssen neu errichtet werden, weil auf der Kläranlage keine Bestandsbauwerke zur Unterbringung von Anlagenteilen genutzt werden können. Für die Aufstellung des Ozonerzeugers wird ein Maschinencontainer vorgesehen.

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 granulierte Aktivkohle wurden Annahmen für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BVT = 12.500 für Variante 4.1 und BVT = 10.000 für Variante 4.2). Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch u.U. auch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Mikroschadstoffe) 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 die Regeneration des eingesetzten GAK-Materials oder durch eine optimierte Inbetriebnahmereihenfolge der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) möglich sein (9).

Auch 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 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 muss 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 Kaster

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 Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffelimination aufweisen.

<u>Eliminationsleistungen</u>

Hinsichtlich der voraussichtlichen Eliminationsleistung sind nach bisherigen Erkenntnissen die PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken mit Rezirkulation, die Ozonbehandlung und bei entsprechender Verfahrensführung die GAK-Filtration 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 Mikroschadstoffe 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 (10). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden oder eigene Versuche mit mobiler Dosiereinrichtung unternommen 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 ggf. auch der Einsatz von GAK denkbar, für die die sicherste Elimination angenommen wird (7).

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 Mikroschadstoffelimination mittels GAK als nicht ausreichend bewertet, da schon nach kurzen Filterlaufzeiten eine Verschlechterung der Eliminationsleistung für einige Mikroschadstoffe festgestellt wurde (8). Derzeit wird aber 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 (9), 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.

<u>Betriebsaufwand</u>

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.

<u>Sonstiges</u>

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 – ob dieser Abbau für alle Transformationsprodukte vollständig erfolgt, ist jedoch noch nicht sicher nachgewiesen. Für den Standort Kaster wird davon ausgegangen, dass die bestehende Filtrationsanlage im Anschluss an die Ozonung zur Reduktion der Transformationsprodukte genutzt werden kann. Auch der Einsatz eines GAK-Filters zur Nachbehandlung der Ozonung ist denkbar (7); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Es wird vor einer Umsetzung von Variante 3 empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen.

Voraussichtliche Kosten und Eignung der Verfahren

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die GAK-Filtration (Umrüstung der vorhandenen Filtration, Variante 4.2) mit rund 262.000 Euro brutto. Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten liegen alle wesentlich höher.

Mit einer geeigneten Verfahrensführung (gestaffelte zeitliche IBN der Filterzellen und zeitlich gestaffelter Austausch des Filtermaterials) kann die GAK-Filtration gute Eliminationsleistungen erzielen und kann am Standort Kaster voraussichtlich erfolgreich eingesetzt werden. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die bisher betriebene Filtrationsanlage für den Kläranlagenbetrieb zukünftig definitiv nicht mehr erforderlich ist. Wenn diese vorgenannte Voraussetzung erfüllt ist, ist die Variante 4.2 die günstigste der betrachteten Verfahrensvarianten.

Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Kaster

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

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität GKW Kaster untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Kläranlage eine sehr gute Reinigungsleistung aufweist.

Bei den gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen 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 Mikroschadstoffeinträgen 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. Beim Vorfluter „Erft“ handelt es sich an der Einleitstelle um einen starken Vorfluter, der nur eine geringe Abwassermenge aus der Kläranlage aufnehmen muss. Das GKW Kaster befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen und der Vorfluter „Erft“ durchfließt unterhalb der Kläranlage keine Naturschutzgebiete o.ä.

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 Mikroschadstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Für das GKW Kaster trifft keiner der oben genannten Punkte zu.

Fazit

Als Vorzugsverfahren für das GKW Kaster kommt aufgrund der berechneten Jahreskosten die Variante 4.2 (GAK Umrüstung im Bestand) infrage, wenn auf die bestehende Filtrationsstufe verzichtet werden kann. Vor der weiteren Umsetzung müsste z.B. mit einem Messprogramm überprüft werden, ob bei allen Betriebszuständen bereits im Ablauf der Nachklärung die relevanten Überwachungswerte eingehalten werden. Wenn diese Variante nicht umgesetzt werden kann, sind im Hinblick auf die zu erwartende Eliminationsleistung die Varianten 2, 3 und 4.1 zu empfehlen. Die Kostendifferenzen dieser Varianten untereinander liegen unterhalb der Schätzgenauigkeit und sind somit als gleichwertig zu betrachten.

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 daher sinnvoll, wenn Betriebserfahrungen bestehender 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.

Daneben ist in den kommenden Jahren mit Entscheidungen bezüglich gesetzlicher Vorgaben zur Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe zu rechnen. Dieses 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.