



Stadt Hörstel

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hörstel

KURZBERICHT

April 2018

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Stadt Hörstel

Sünthe-Rendel-Straße 14, 48477 Hörstel-Riesenbeck

Herr Wessling, 05454 911-151

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

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

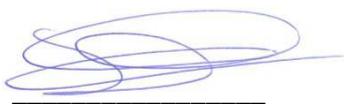
Tel.: 0241 963-1890, Fax: 0241 963-1899, info@atemis.net

Bearbeiter: Katharina Kasper M.Sc.

Dipl.-Biol. Meike Schacht

Vechta, 24.04.2018

Aachen, 24.04.2018



ppa. M. Schütte



ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	6
1.1	Allgemeines	6
1.2	Kläranlage Hörstel	7
2	Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet	8
3	Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination	8
3.1	Oxidative Verfahren:	8
3.2	Physikalische Verfahren:	9
3.3	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	9
4	Messprogramm zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Hörstel und Verfahrensvorauswahl	11
4.1	Untersuchungen der Vorfluter	11
4.2	Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und –zulaufs	11
4.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	18
4.4	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	18
4.5	Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	20
4.6	Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken.....	20
4.7	Variante 3: Ozonbehandlung	23
4.8	Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	25
4.9	Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration	27
5	Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	27
5.1	Investitionen.....	27
5.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	28
5.3	Jahreskosten	29
5.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation.....	30
5.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hörstel	31
5.6	Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen	34

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. **Ternes, T.** Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen. *Wasser Berlin.* 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. **Ingenieurbüro Frilling.** *Außerbetriebnahme des Faulbehälters auf der Kläranlage Hörstel-Genehmigungsantrag.* 2015.
11. **Kläranlage Hörstel.** Betriebstagebücher. 2014-2016.
12. —. *Viertelstunden Werte Ablauf.* 2014-2016.
13. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
14. **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.

15. **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.
16. **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.
17. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015)*. 2015.
18. **Wessling GmbH.** Analyseergebnisse Ingenieurbüro Frilling GmbH. [Email].
19. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2015.
20. **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.
21. **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.
22. **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.
23. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. Köln : s.n., 2016.
24. **Bezirksregierung Münster.** *3. Änderungsbescheid: Einleitung von Abwasser aus der KA Hörstel in die Hörsteler Aa*. 2010.
25. **Westfälische Nachrichten.** Mit dem Grubenwasser des Bergwerks Ibbenbüren kommen Salz und PCB an die Oberfläche. *Westfälische Nachrichten*. 2016.
26. **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 in 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). Derzeit sind die meisten Kläranlagen aber nicht in der Lage, Mikroplastik voll-

ständig 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 Hörstel hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für die KA Hörstel 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 Hörstel

Bei der KA Hörstel 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; 11; 12):

- Ausbaugröße 40.000 EW
- Jahresabwassermenge ($Q_{T,a}$) 1.261.381 m³/a
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,d}$) 5.896 m³/d
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,h}$) 495 m³/h
- Regenwetterzufluss ($Q_{RW,h}$) 990 m³/h
- Jahresschmutzwassermenge (JSM) 1.075.000 m³/a (gemäß Erlaubnisbescheid)
- Höchstabwassermenge 545 m³/0,5h (gemäß Erlaubnisbescheid)

Zurzeit ist die Anlage mit 34.500 EW₆₀ (aktuelle Nennbelastung) belastet (10).

Die Kläranlage Hörstel besteht neben der mechanischen Vorreinigung aus einer schwachbelasteten Belebungsanlage mit intermittierender Nitrifikation/Denitrifikation und erhöhter biologischer Phosphorelimination im Hauptstrom einschließlich vorgeschaltetem Selektorbecken. Die Abtrennung des Belebtschlammes vom gereinigten Abwasser erfolgt in horizontal durchströmten Nachklärbecken. Der bei der Abwasserbehandlung entstehende Primär- und Überschussschlamm wird in einem beheizten Faulbehälter anaerob stabilisiert und anschließend über eine Kammerfilterpresse maschinell entwässert. Der entwässerte Schlamm wird landwirtschaftlich entsorgt. Das bei der Schlammfäulung entstehende Faulgas wird in einem Blockheizkraftwerk zur Wärme- und Stromerzeugung genutzt.

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

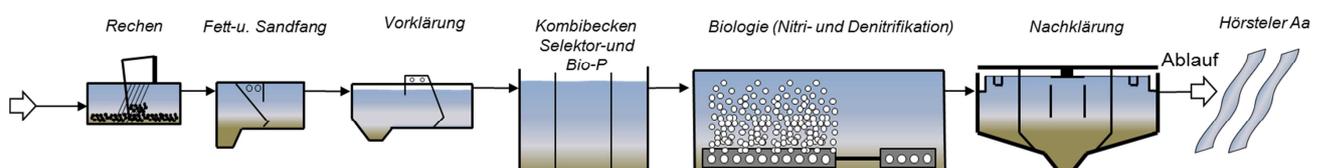


Abbildung 1-1: Vereinfachtes Fließschema der KA Hörstel

2 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet

Im in der Kläranlage Hörstel behandelten Abwasser sind keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch das einleitende Krankenhaus wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions- und Reinigungsmitteln erwartet.

Medikamentenrückstände und Röntgenkontrastmittel werden zusätzlich auch mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen. 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 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 Vorfluter Hörsteler Aa wird zum einen durch das eingeleitete Wasser von der Kläranlage Hörstel verursacht. Andererseits wird auch durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen ein Eintrag in die Vorfluter verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft. Des Weiteren ist der Eintrag von PCB belasteten Grubenwässern des Bergwerks Ibbenbüren in die Hörsteler Aa zu berücksichtigen.

In der Umgebung der Kläranlage Hörstel liegt das Naturschutzgebiet „NSG Alte Fahrt/ ST- 128“ durch das der Vorfluter ca. 3 km vor Einleitstelle der Kläranlage fließt. Nach der Einleitung tangiert die Hörsteler Aa nach ca. 8 km noch das Naturschutzgebiet „NSG Dreierwalder Bruchwiesen/ ST-012“ bevor sie in der Ems mündet.

3 Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

3.1 Oxidative Verfahren:

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

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

3.2 Physikalische Verfahren:

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

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

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

3.3 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen

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

Nano- und Umkehrosmoseverfahren 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 (13). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenden Spurenstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die ursprünglichen Spurenstoffe sie aufweisen. Für diese Transformationsprodukte muss sichergestellt sein, dass sie nicht mit dem gereinigten Abwasser in den Vorfluter eingeleitet werden. Dies kann durch biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration erfolgen, wobei bei der Ozonung entstehende N-Oxide nur von GAK-Filtern zuverlässig zurückgehalten werden. (14) 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. Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer GAK Anlagen (15) 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 optimierte 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 (15).

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. (16) 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 Hörstel und Verfahrensvorauswahl

4.1 Untersuchungen der Vorfluter

Auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (17), wurde für den Vorfluter ein Messprogramm festgelegt. Die Analytik wurde durch die Wessling GmbH durchgeführt. Im Vorfluter erfolgte ein Monitoring mit 2 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle, wobei die Proben als qualifizierte Stichprobe gezogen wurden. Die Messstellen liegen einmal oberhalb (I4) und einmal unterhalb (I3) des Kläranlageneinlaufs in die Hörsteler Aa. Insgesamt wurden im Vorfluter 9 Parameter untersucht, unter anderem Spurenstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel und Antibiotika und Korrosionsschutzmittel. Das Messprogramm, die untersuchten Parameter sowie die vollständigen Analyseergebnisse finden sich in der Langfassung der Studie.

Bor weist eine mittlere Zunahme von 4 % auf, die Terbutryn- bzw. Benzo(a)pyrenkonzentrationen bleiben unverändert und die Bromidkonzentration sinkt sogar um 2 %. Für diese Stoffe lässt sich kein negativer Einfluss durch die Einleitung der KA Hörstel nachweisen. Vor allem die Konzentration der Arzneimittelrückstände sowie Korrosionsschutzmittel steigt nach der Einleitung der Abwässer an. Die Konzentrationsänderungen liegen im Mittel zwischen einem Bereich von 29 bis max. 92 % Zunahme. Die KA Hörstel kann diese Stoffe nicht effektiv aus dem Abwasser entfernen. Überschreitungen der Referenzwerte zeigt neben Bor insbesondere Diclofenac. Die Konzentrationen liegen um den Faktor 3 bzw. 9 über den Referenzwerten, wobei die Hörsteler Aa schon vor der Einleitung oberhalb der Referenzwerte belastet war. Auf Grund des einleitenden Krankenhauses, einer Fachklinik für Suchtmedizin und Psychotherapie, ist es nicht verwunderlich, dass für Diclofenac eine auffällige Konzentrationszunahme (MW 92 %) zu verzeichnen ist. Die geringe Zunahme der Bor Konzentration von im Mittel 4 % zeigt, dass die Werte der Hörsteler Aa bereits vorher stark erhöht waren. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nur um zwei Stichproben handelt – eine zuverlässige Bewertung kann auf dieser Basis nicht getroffen werden.

4.2 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Die Untersuchungen des Zulaufs der Biologie und des Ablaufs der Nachklärung erfolgte nach einem festgelegten Messprogramm auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (17). Die Analytik wurde durch die

Wessling GmbH durchgeführt. Auf der Kläranlage befindet sich jeweils eine Messstelle im Zulauf der Biologie und im Ablauf der Nachklärung und die Probenentnahme wurde als 24h-Mischprobe entnommen. Es erfolgte ein Screening mit 2 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle und ein anschließendes Monitoring mit 5 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle.

Insgesamt wurde die Untersuchung von 47 Parametern im Kläranlagenablauf und -zulauf beauftragt, zum einen allgemeine chemische Parameter (ACPs), zum anderen Spurenstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel, Antibiotika oder auch Röntgenkontrastmittel und Korrosionsschutzmittel. Die Messprogramme und die untersuchten Parameter sind der Langfassung der Studie zu entnehmen.

Aus dem Vergleich der Screening-Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Spurenstoffe und die weiteren Parameter 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 vermutlich nicht nur durch den Abbau der Spurenstoffe, sondern dürften teilweise auch durch eine Adsorption der Spurenstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Die mittlere Eliminationsrate wurde als Mittelwert der einzelnen Eliminationsraten angegeben. Zu beachten ist, dass die ermittelten Eliminationsleistungen der einzelnen Messungen untereinander teilweise stark abweichen, so dass hier keine eindeutige Aussage getroffen werden kann. Sowohl Zunahmen als auch Abnahmen der Stoffkonzentrationen sind im Ablauf zu finden. Eine besonders hohe Reduktion ist bei Acesulfam K (MW 98 %) und Ciprofloxacin (MW 92 %) gegeben. Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich bei Sulfit (MW -35 %), Guanylharnstoff (MW -129900 %), Irbesartan (-29 %) und Mecoprop (-138 %). 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 Analyseergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei den ausgewerteten Messungen um 24h-Mischprobe handelt und dass daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind. Die starke Zunahme von Guanylharnstoff lässt sich dadurch erklären, dass Guanylharnstoff das Abbauprodukt von Metformin ist. Im Normalfall ist im Zulauf die Metforminkonzentration hoch und im Ablauf nur noch gering. Bei Guanylharnstoff ist dies umgekehrt der Fall (18).

Die Datenlage für die Parameter ist wegen der geringen Anzahl von Probennahmen und Analysen noch sehr dünn, so dass die Werte mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Für sicherere Aussagen sind weitere Daten notwendig.

In Tabelle 4-1 sind die mittleren Konzentrationen einiger wichtiger Spurenstoffe, die im Ablauf der KA Hörstel nachgewiesen werden konnten, sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS und Jahresmittelwerte aus UQN/OGewV bzw. Orientierungswerte zusammengefasst. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Spurenstoffelimination zusam-

mengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Zusätzlich finden sich die gemessenen Bromidkonzentrationen, da diese für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind.

Tabelle 4-1: Vergleich Ergebnisse der Spurenstoffanalysen mit Referenzen

Messstelle	Einheit	Mittelwert Ablauf Nach- klärbecken	Referenz*		Orientierungswert (OW) oder Jahres- Mittelwert (JMW)**
			Mittelwert Ablauf	Maximalwert Ablauf	
Kationen, Anionen und Nichtmetalle					
Bromid	mg/l	0,1			
Arzneimittel- Rückstände					
Carbamazepin	µg/l	1,2	0,8434	1,80	0,5
Gabapentin	mg/l	0,0028	5,2139	15	
Guanylharnstoff	mg/l	0,0325	0,013	0,013	
Candesartan	µg/l	3	2,65	2,90	
Diclofenac	µg/l	4,15	2,33	5,30	0,1
Irbesartan	µg/l	0,58	0,745	0,87	
Sulfamethoxazol	µg/l	0,545	0,48	1,30	0,15
Metoprolol	µg/l	3,05	2,165	9,5	7,3
Sotalol	µg/l	0,56	0,37	0,76	0,1
Ciprofloxacin	µg/l	0,115	0,18	0,28	
Clarithromycin	µg/l	0,2825	0,34	1,20	0,02
Biozide/ Pflanzenschutz- mittel-Rückstände					
Mecoprop	µg/l	0,28	0,33	1,1	
Terbutryn	µg/l	0,048	0,09	0,22	0,065
Korrosions- schutzmittel					
Benzotriazol	µg/l	12	5,34	12	10
Süßstoffe					
Acesulfam K	mg/l	0,000775	4,75723	45	
Cyclamat	mg/l	0,00019	0,13301	0,33	
Saccharin	mg/l	0,00005	0,288485	0,74	
Sucralose	mg/l	0,0069	2,450315	9,5	

Röntgen- kontrastmittel					
Iopamidol	mg/l	0,00083	0,0155	0,2500	0,0001
Iohexol	mg/l	0,00081	0,00421	0,032	
Iomeprol	mg/l	0,0001425	0,00364	0,028	0,0001
Ioxithalaminsäure	mg/l	0,000095	0,00015	0,0004	
Amidotrizoesäure	mg/l	0,00082	0,0049	0,029	0,0001
Iotalaminsäure	mg/l	<BG	0,0001	<0,00025	
Iopromid	mg/l	0,0000275	0,00265	0,028	0,0001
Ioxaglinsäure	mg/l	<BG	0,0001	<0,00025	
Iodipamid	mg/l	<BG	0,0001	<0,00025	
Duftstoffe					
Galaxolid (HHCB)	µg/l	0,405	0,00109	0,0024	7
Bei Werten < Bestimmungsgrenze (<BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen.					
*Referenzwerte vergleichbarer Anlagen (Literatur und Erfahrungswerte Atemis)					
**(Anlage D4 zur WRRL NRW, www.flussgebiete.nrw.de , Stand 04/2014); angepasst nach OGewV 2016 (soweit relevant)					
	Referenzwert(e) unterschritten				
	Referenzwerte Mittelwert Ablauf überschritten, aber Maximalwert Ablauf unterschritten oder gleich				
	Referenzwert(e) überschritten				

Die Ergebnisse zeigen für mehrere Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Carbamazepin, Diclofenac, Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure). Auffällig sind auch die verhältnismäßig hohen Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind. 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.

Auf Basis der Screening-Ergebnisse wurde ein Monitoring durchgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in der Langfassung der Studie. Die Ergebnisse des Monitoring weichen nicht wesentlich von den Messwerten des Screenings ab. Lediglich die Konzentration der Ioxithalaminsäure im Ablauf ist so hoch, dass nun der Maximalwert vergleichbarer Anlagen überschritten wird. Wie bereits im Screening fällt die verhältnismäßig hohe Bromidkonzentration auf.

In Tabelle 4-2 sind die möglichen Verfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf der KA Hörstel 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 KA Hörstel 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
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
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig
Zuckerersatzstoffe						
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
weitere Spurenstoffe						
Terbutryn	+	+	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Benztotriazol	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 der KA Hörstel ein umfassendes Spektrum an Spurenstoffen untersucht. Die Analysergebnisse tragen dazu bei, eine bessere Bestandsaufnahme hinsichtlich der Spurenstoffeinträge 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 der KA Hörstel haben gezeigt, dass alleine anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Eine Bromidkonzentration über 0,1-0,15 mg/l kann für die Ozonung kritisch werden, da hier vermehrt kanzerogenes Bromat gebildet wird (19). Es wurden im Mittel Bromid-Konzentrationen von 0,1 mg/l gemessen. Bisher liegt jedoch keine ausreichende Datenbasis vor, so dass die Ozonbehandlung im Rahmen dieser Studie unter dem Vorbehalt niedriger Bromidkonzentrationen mitbetrachtet wird. Diese sollten vor einer weiterführenden Planung verifiziert werden.

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

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Hörstel 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

Optional wird für alle Verfahren vorgesehen, dass eine Flockungsfiltration als Bestandteil der 4. Reinigungsstufe integriert wird. Die Flockungsfiltration wird für die PAK-Dosierung in die Belebung als Vollstrombehandlung ($1.090 \text{ m}^3/\text{h}$) und die anderen Varianten als Teilstrombehandlung ($490 \text{ m}^3/\text{h}$) ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 5 wird auf $490 \text{ m}^3/\text{h}$ bemessen. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von $600 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2, 3 und 5* ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 4-1).

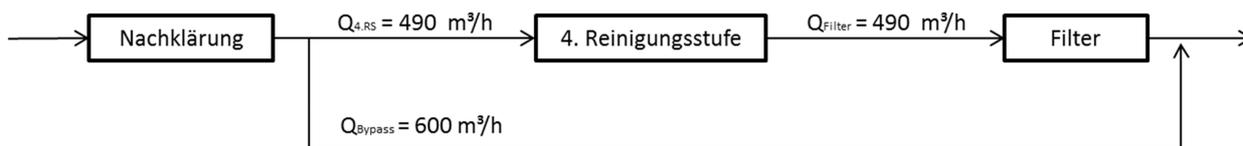


Abbildung 4-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration (Varianten 2,3 und 5*).

*Bei Variante 5 bräuchte man den Filter nur zur P- und Mikroplastikelimination.

Für Variante 4 ist die vereinfachte Verfahrensführung in Abbildung 4-2 dargestellt.

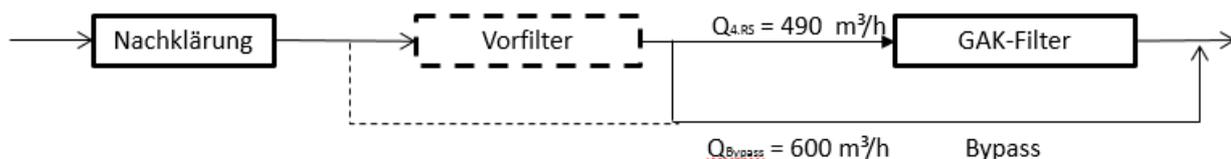


Abbildung 4-2: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration (Varianten 4)

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

Auf der Kläranlage Hörstel stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind östlich des Kläranlagengebietes vorhanden. Sie sind in Abbildung 4-3 gezeigt.

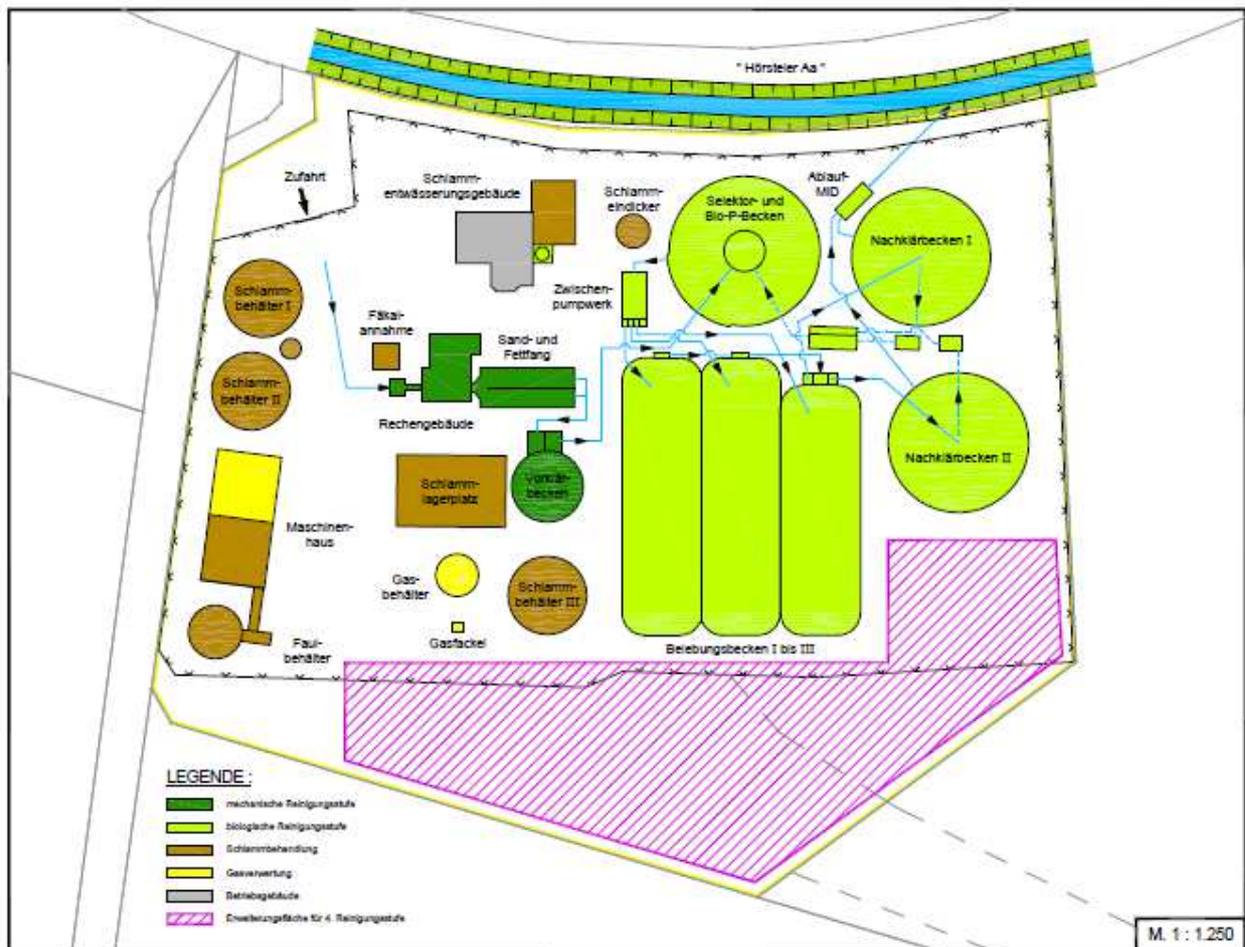


Abbildung 4-3: Erweiterungsgebiet (rot schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für alle Varianten ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der Becken bzw. Filter erforderlich. Für die Varianten 2-5 ist vorgesehen, dass das Abwasser der Nachklärung mittels Trennbauwerk aufgeteilt und der zu behandelnde Abwasserstrom über ein Pumpwerk zur 4. Reinigungsstufe gefördert wird. Dabei wird der geförderte Volumenstrom für die 4. Reinigungsstufe auf die Auslegungswassermenge von 490 m³/h begrenzt. Darüber hinaus gehende Wassermengen werden im Bypass zu der neu geplanten Ablaufmengenmessung geleitet und mit dem Ablauf aus der 4. Reinigungsstufe vereinigt. Anschließend erfolgt die Einleitung in den Vorfluter. Der Abfluss der 4. Reinigungsstufe zur neu geplanten Ablaufmengenmessung ist im Freigefälle möglich. Die Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand ist am Beispiel von Variante 2 in Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 dargestellt.

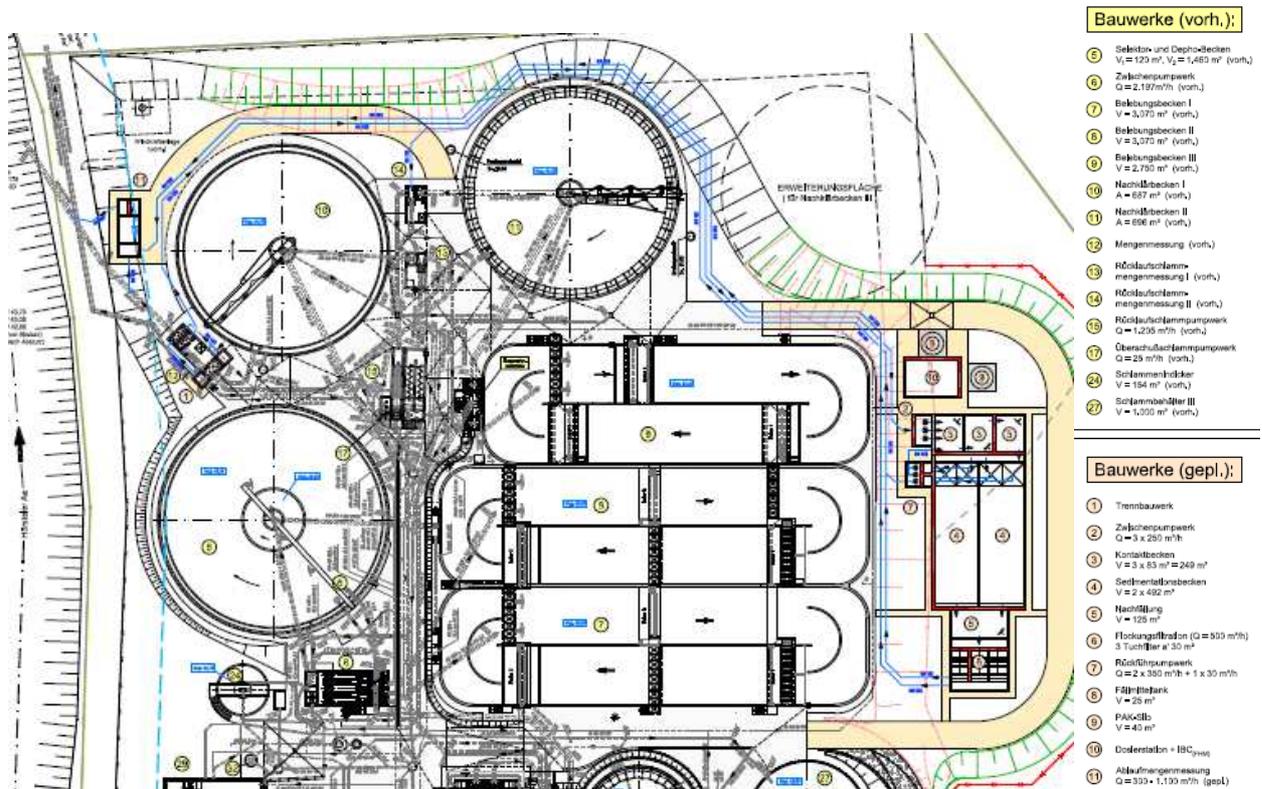


Abbildung 4-4: Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel PAK Dosierung in Kontaktbecken (Variante 2)

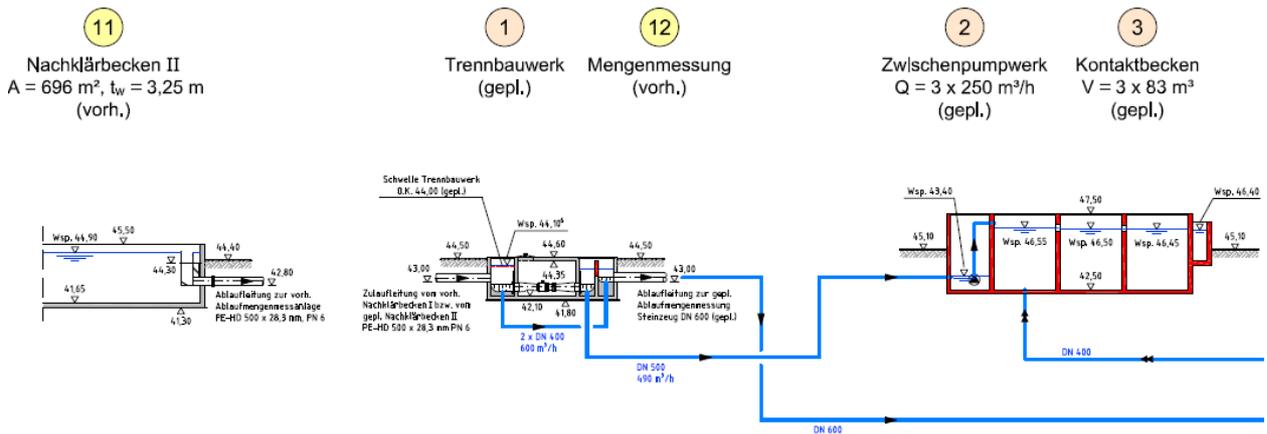


Abbildung 4-5: Hydraulischer Schnitt der Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel PAK Dosierung in Kontaktbecken (Variante 2)

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 Hörstel besteht aus einem Selektorbecken, einem Bio-P- / Anaerobbecken, 3 Belebungsbecken und 2 Nachklärbecken. Möglich ist eine PAK-Dosierung in die Belebungsbecken ($V_{\text{ges.}} = 8.700 \text{ m}^3$) und die Abscheidung der PAK in der Nachklärung ($V = 2 \times 2.268 \text{ m}^3$). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 4-6 gezeigt.

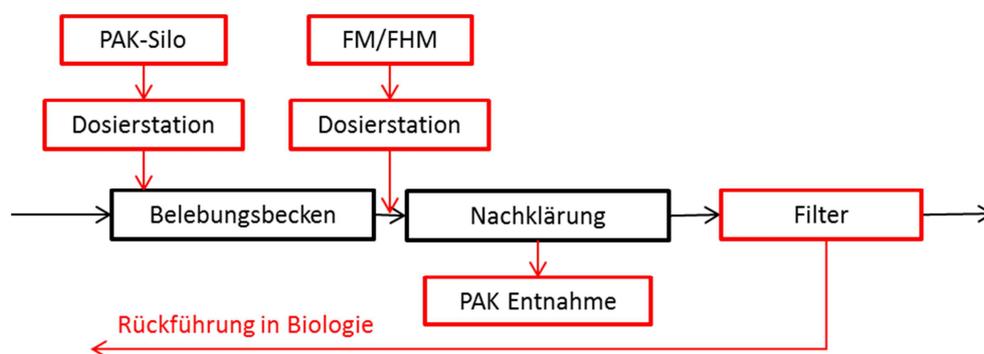


Abbildung 4-6: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

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

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für die Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 4-7 dargestellt.

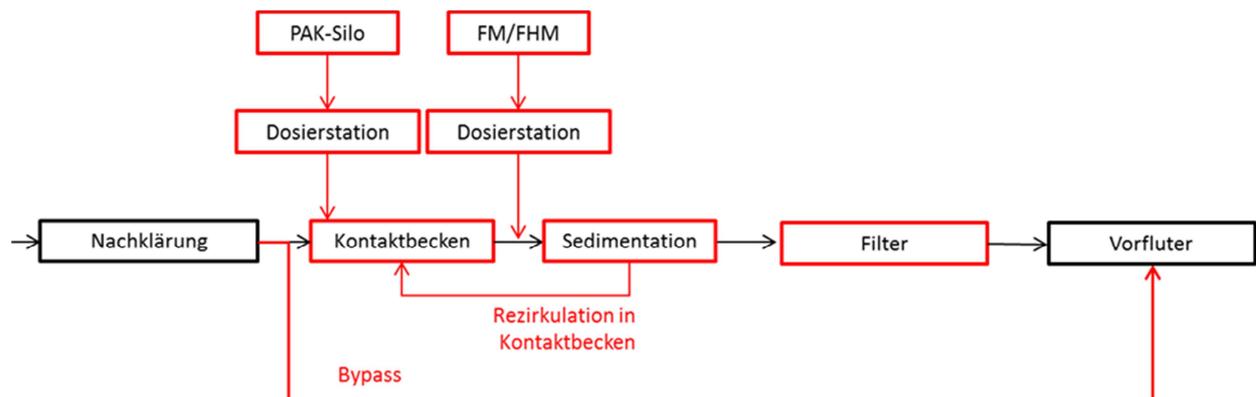


Abbildung 4-7: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

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

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe ist ein Zwischenpumpwerk vorgesehen. Die Kontaktbecken werden als drei rechteckige Becken mit einem Volumen von jeweils ca. 83 m³ ausgeführt und als Kaskade betrieben.

Nachgeschaltet befinden sich die zwei Sedimentationsbecken, die als Rechteckbecken mit einem Volumen von je 492 m³ ausgeführt werden. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehen (Q = 350 m³/h + Reserve). Im Anschluss wird die Flockungsfiltration (Teilstrom) durchströmt. Der Schlamm der Flockungsfiltration sowie die verbrauchte PAK werden zum vorhandenen Rücklaufschlammverteiler geleitet.

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

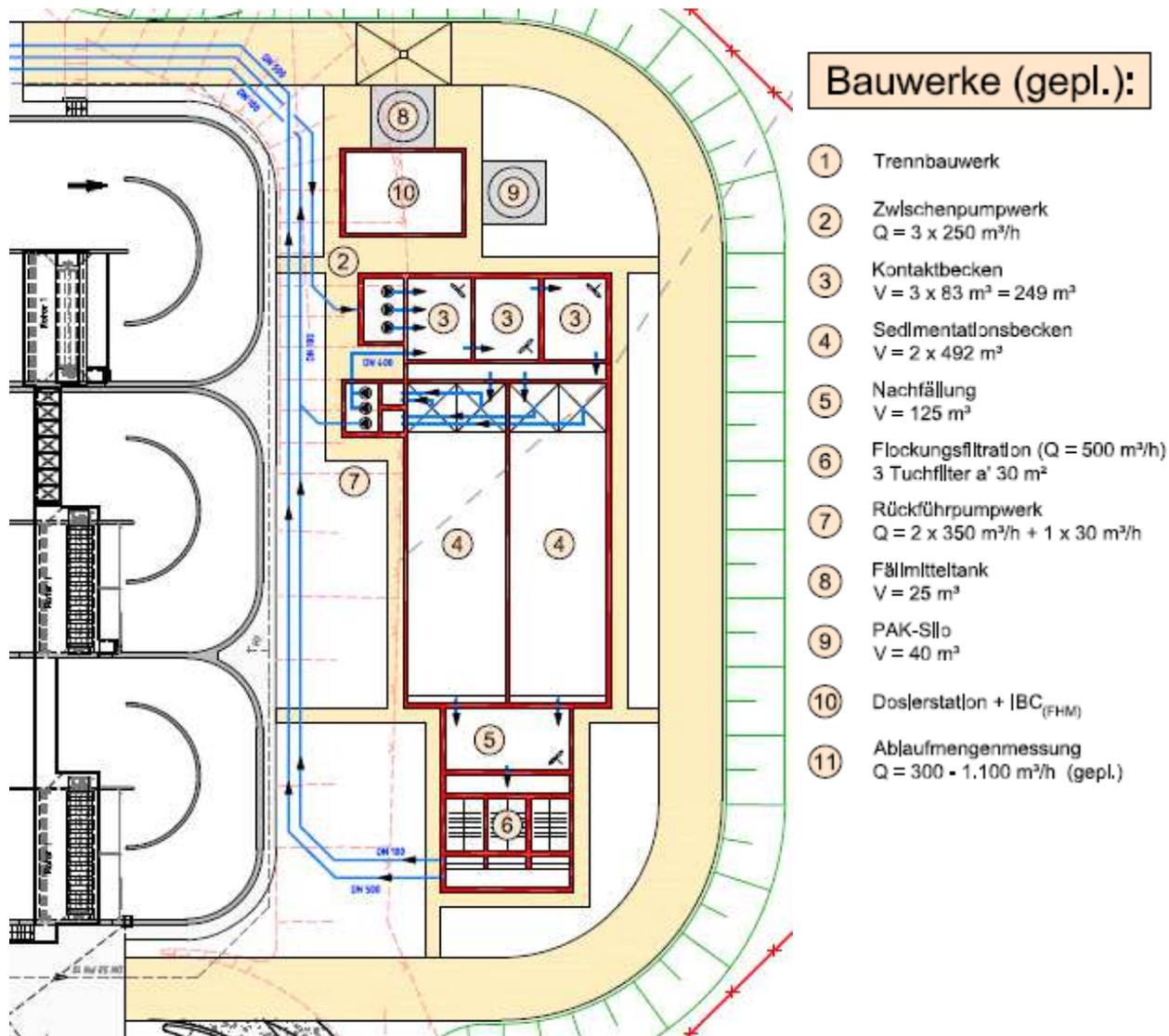


Abbildung 4-8: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

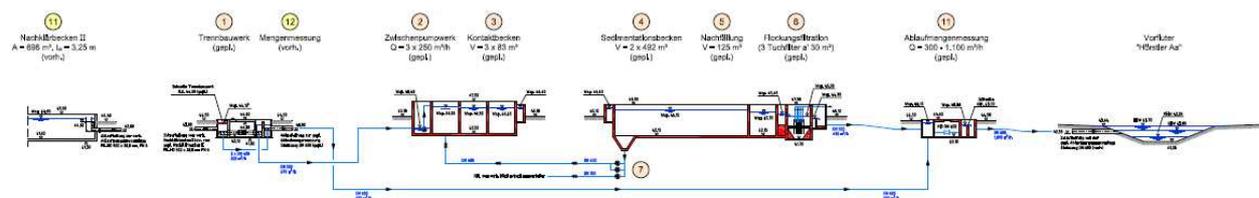


Abbildung 4-9: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

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 essentiell. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignet sich neben biologischen Verfahren auch eine GAK-Filtration (15).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 4-10 gezeigt.

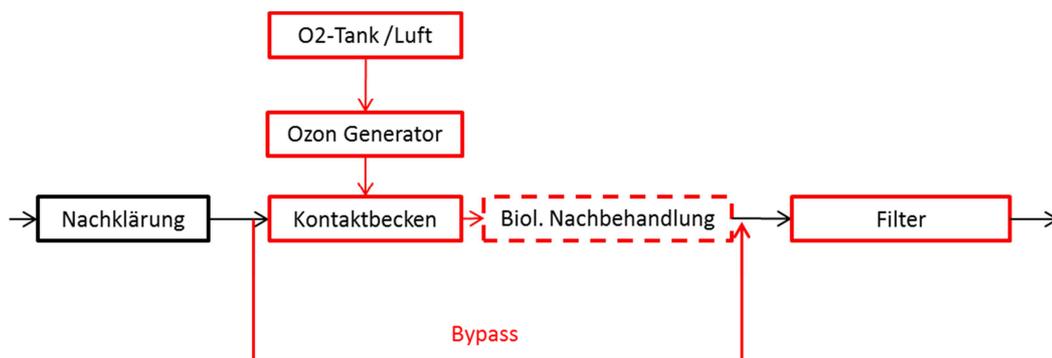


Abbildung 4-10: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Anordnung der Ozonanlage und der Flockungsfiltration:

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe wird ein Zwischenpumpwerk benötigt. Das Abwasser durchläuft die Ozonreaktoren (2 parallele Reaktoren) und danach die Flockungsfiltration. Auch hier wird die Flockungsfiltration als Teilstrombehandlung ausgelegt. Für die Unterbringung des Ozonerzeugers wird eine Containerlösung vorgesehen. Der Schlamm der Flockungsfiltration wird zum vorhandenen Rücklaufschlammverteiler geleitet.

Die Pläne sind in Abbildung 4-11 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 4-12 als Längsschnitt gezeigt.

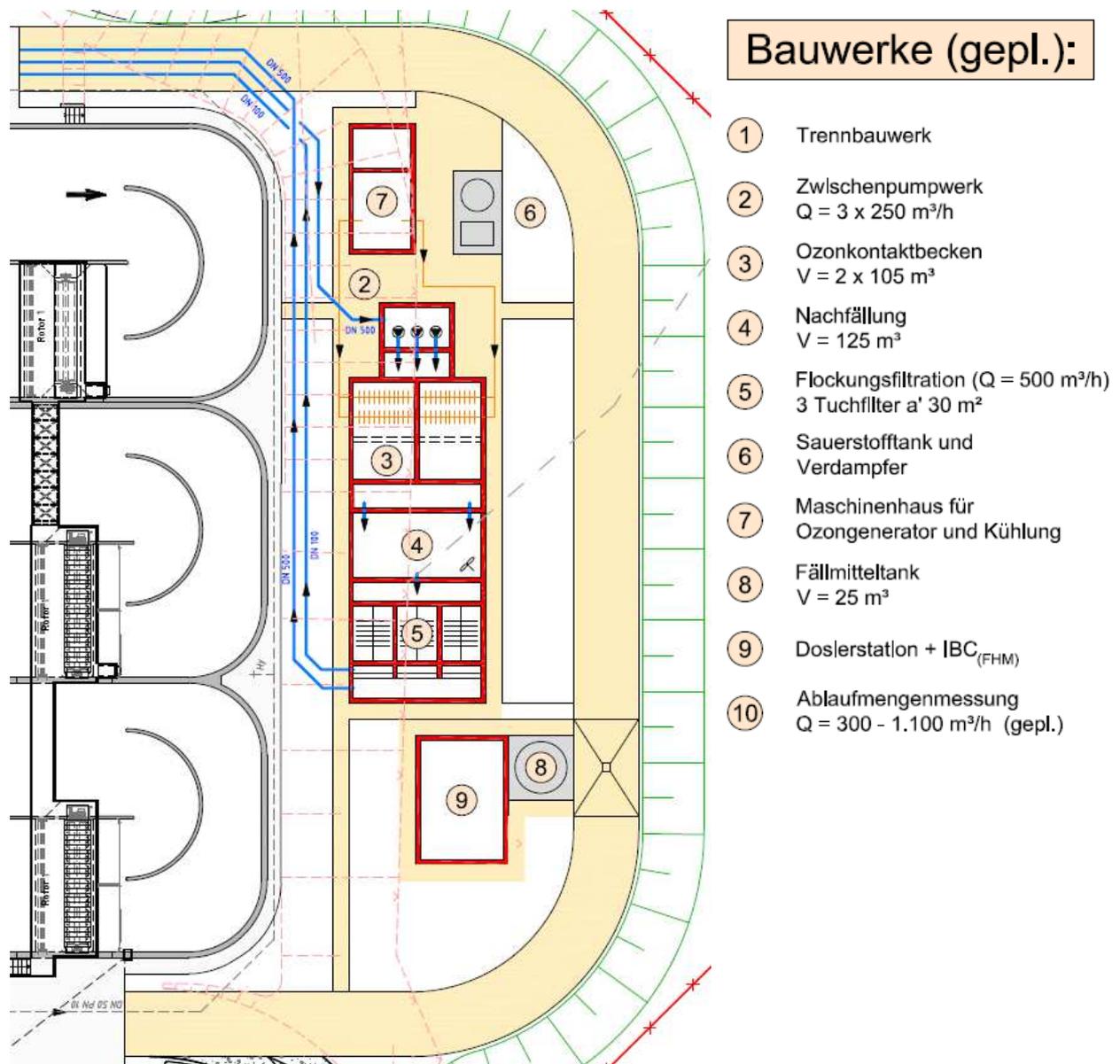


Abbildung 4-11: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

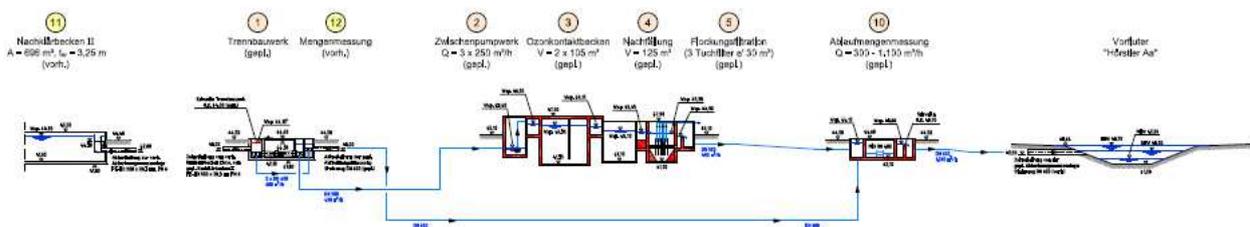


Abbildung 4-12: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der KA Hörstel kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden. Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung wird dabei den GAK-Filtern mittels Pumpe 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 im Detail geprüft werden.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für den Einsatz der GAK-Filtration ist in Abbildung 4-13 dargestellt.



Abbildung 4-13: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Die Flockungsfiltration wird vor den GAK-Filtern angeordnet. Sie ist auf eine Teilstrombehandlung ausgelegt und umfasst 3 Scheibentuchfilter mit einer Filterfläche von je 30 m². Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe wird ein Zwischenpumpwerk benötigt. Das Wasser wird den sechs parallel betriebenen GAK-Adsorbern zugeführt.

Ein Ausschnitt des Lageplans für Variante 4 ist in Abbildung 4-14 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 4-15.

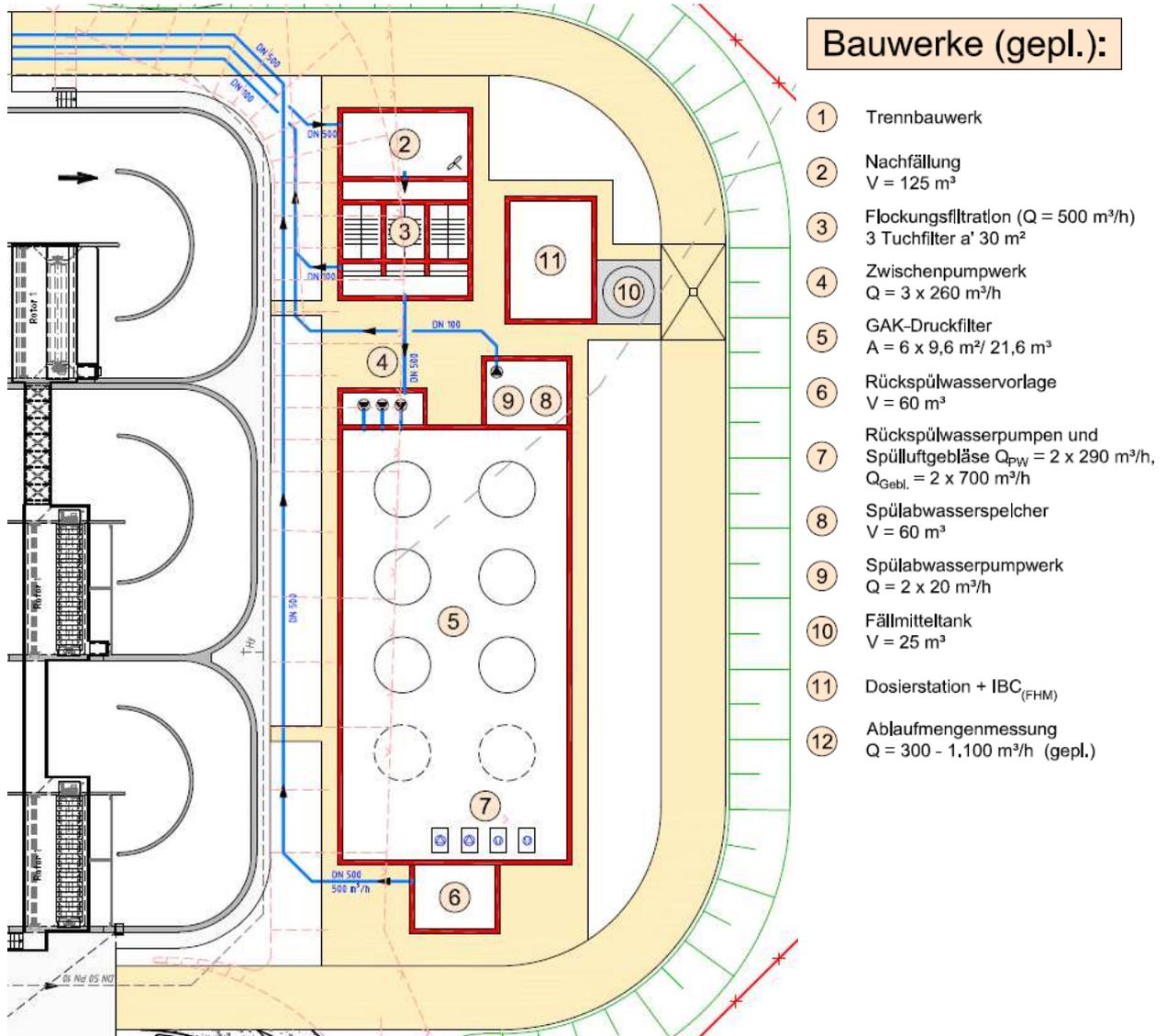


Abbildung 4-14: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

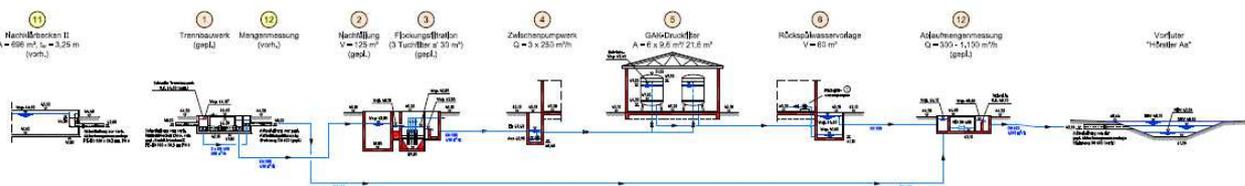


Abbildung 4-15: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

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 auch, dass weitere Stoffe, die über die Ozonung nicht abgebaut werden können, zurückgehalten werden. Es handelt sich bei der hier betrachteten Variante um eine Kombination der Varianten 3 und 4.

5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

5.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen werden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen Varianten muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe bzw. die Flockungsfiltration zu beschicken
- Bei allen Varianten ist eine Tuchfiltration für den behandelten Abwasserstrom enthalten.
- Für alle Varianten wird ein neuer Fällmitteltank an der 4. Reinigungsstufe berücksichtigt.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem Container.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- 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 Kontaktbecken	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	835.500 €	1.418.650 €	1.078.800 €	1.665.400 €
Maschinentechnik- Kosten	887.000 €	958.000 €	918.000 €	1.168.750 €
EMSR-Technik-Kosten	266.100 €	287.400 €	275.400 €	350.600 €
Baunebenkosten	447.400 €	599.400 €	511.200 €	716.550 €
Investitionskosten netto	2.436.000 €	3.263.450 €	2.783.400 €	3.901.300 €
Investitionskosten brutto	2.898.840 €	3.883.506 €	3.312.246 €	4.642.547 €

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 2.898.840 Euro brutto mit Abstand am niedrigsten. Bei dieser Variante sind die geringsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für Variante 3 (Ozon) sind Investitionen von 3.312.246 Euro brutto erforderlich. Die Investitionen für die Aktivkohlevarianten liegen bei 3.883.506 Euro brutto für Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und bei 4.642.547 Euro brutto für Variante 4 (GAK), welche somit die höchsten Kosten aufweist.

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:	0,17 Euro/kWh
Personalkosten:	40.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.500 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)
Schlamm Entsorgung:	320 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 1.261.381 m³/a. Für die Varianten 2 - 4 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 1.252.417 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) wird 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 15.000 BTV angesetzt. Damit ergibt sich für die Kläranlage Hörstel eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von 16,6 Monaten. Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die neue Filtrationsanlage (Tuchfiltration) vor die GAK-Filtration platziert wird und damit eine weitgehende AFS-Reduktion vor der GAK-Filtration erreicht wird. Falls vor der GAK-Filtration

keine Vorfiltration des Ablaufs der Nachklärung stattfindet, müsste mit einer kürzeren GAK-Filterstandzeit gerechnet werden.

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

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

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

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

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Energie	[€/a]	14.315	29.224	119.332	19.779
Personal	[€/a]	15.606	19.507	15.606	15.606
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	56.779	68.878	61.896	83.073
Sauerstoff	[€/a]	0	0	19.487	0
PAK/GAK	[€/a]	36.005	17.874	0	39.761
FHM, FM	[€/a]	8.905	3.909	0	0
Schlammensorgung	[€/a]	18.243	10.514	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	149.853	149.905	216.321	158.218

Aus Tabelle 5-2 geht hervor, dass bei Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von 149.853 Euro netto/a zu rechnen ist. Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) liegt mit ca. 149.905 € aber in einem sehr ähnlichen Bereich. Die höchsten Betriebskosten weist Variante 3 (Ozonung) mit 216.321 Euro netto/a 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]	169.509	214.955	188.872	258.256
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	72.385	88.385	77.502	98.678
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	77.468	61.520	138.819	59.540
Jahreskosten	[€/a]	319.363	364.860	405.193	416.475

Es zeigt sich, dass die Variante 1 (PAK in die Belebung) mit ca. 319.363 Euro die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) liegt mit 364.860 Euro im Mittelfeld. Die Varianten 3 und 4 liegen mit Jahreskosten von 405.193 Euro und 416.475 Euro relativ dicht beieinander.

Die niedrigsten spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser weist die Variante 1 mit 0,25 Euro netto auf. Die anderen Varianten bewegen sich auf vergleichbarem Niveau: Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) liegt bei 0,29 Euro netto, Variante 3 (Ozonung) liegt bei 0,32 Euro netto und die GAK-Filtration (Variante 4) liegt bei 0,33 Euro netto. Die relativ hohen Kosten pro Kubikmeter sind auch durch die Extrapolation der Auslegungswassermenge auf die Ausbaugröße bedingt, da sie sich auf die tatsächliche Abwassermenge beziehen.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen unter 13 Euro netto pro Jahr (9,26 Euro netto (Variante 1); 10,58 Euro netto (Variante 2); 11,74 Euro netto (Variante 3) und 12,07 Euro netto (Variante 4)).

5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für die Kläranlage Hörstel einige Annahmen getroffen, die die Kosten wesentlich beeinflussen.

Insgesamt sind die ermittelten Investitionen verhältnismäßig hoch. Dieses liegt unter anderem daran, dass wie schon zuvor erläutert bei allen Varianten eine Flockungsfiltration (hier als Tuchfiltration) bei der Kostenberechnung berücksichtigt wurde. Des Weiteren ergeben sich hohe Investitionen, weil auf der Kläranlage keine Bestandsbauwerke zur Unterbringung von Anlagenteilen genutzt werden können.

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 = 15.000). Damit ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von ca. 16,6 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch drastisch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen gesetzli-

chen 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.

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 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 Hörstel

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 (20). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Bei der Ozonung ist zu beachten, dass die entstehenden Transformationsprodukte oft sehr reaktiv sind und ebenfalls Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Sie müssen daher vor der Einleitung des Abwassers in den Vorfluter entfernt werden. Dazu ist neben einer biologischen Nachbehandlung in biologisch aktiven Filtern auch der Einsatz von GAK denkbar (14).

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 (21). 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 (22), 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. Die Broschüre „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW“ (23) empfiehlt eine biologische Nachbehandlung wie Wirbelbett, Tropfkörper oder biologisch aktive Filter. Auch der Einsatz eines GAK-Filters zur Nachbehandlung der Ozonung ist denkbar (14); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Die bei im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen gefundenen Bromidgehalte im Abwasser liegen mit im Mittel 0,1 mg/l relativ hoch. Da es sich bei den hier durchgeführten Untersuchungen nur um Stichproben handelt, ist eine weitere Beobachtung des Bromid-Gehalts vor der Entscheidung für eine Ozonanlage unbedingt erforderlich. Daneben ist auch die sichere Elimination der gebildeten Transformationsprodukte vor der Einleitung des gereinigten Abwassers erforderlich, ggf. muss hier eine GAK-Filtration eingesetzt werden.

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

Voraussichtliche Kosten

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die PAK-Dosierung in die Belebung (Variante 2) mit ca. 319.363 Euro. Das nächstgünstigste Verfahren ist die PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken (Variante 2). Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten 3 und 4 liegen beide ähnlich hoch. Zu beachten ist, dass die Unterschiede der Jahreskosten noch im Bereich der Schätzungenauigkeit liegen, so dass auf ihrer Basis kein eindeutiges Vorzugsverfahren ausgewählt werden kann.

Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hörstel

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

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der KA Hörstel 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, bei anderen Kläranlagen, gemessenen maximalen Werten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Erhöhte Konzentrationen wurden dementsprechend bei Arzneimitteln und Benzotriazol gemessen. Beim Vorfluter „Hörsteler Aa“ handelt es sich an der Einleitstelle um einen starken Vorfluter, der nur eine geringe Abwassermenge aus der Kläranlage aufnehmen muss. Dieser ist ein erheblich verändertes Gewässer, der durch die Einleitung Salz und PCB belasteter Grubenwässer des Bergwerks Ibbenbüren (RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH) ab Ibbenbüren biologisch weitgehend verödet ist (24; 25). Nach der Einleitung tangiert die Hörsteler Aa nach ca. 8 km noch das Naturschutzgebiet „NSG Dreierwalder Bruchwiesen/ ST-012“, bevor sie in die Ems mündet. Sie durchfließt keine Trinkwassergewinnungsgebiete.

In der Studie „Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen“ (26) 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 jedoch bis dato nicht. Der Nutzen der 4. Reinigungsstufe muss jedoch auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden. So verursacht der Betrieb der 4. Reinigungsstufe einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz. Für die KA Hörstel treffen die oben genannten Punkte nicht zu, aber es sind durchaus hohe Konzentrationen an Spurenstoffen wie z.B. Diclofenac und Benzotriazol vorhanden. Dies gilt es abzuwägen.

5.6 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

Als Vorzugsverfahren für die Kläranlage Hörstel kommen aufgrund der berechneten Jahreskosten die Varianten 1 (PAK in Belebung) und 2 (PAK in Kontaktbecken) infrage. Variante 1 ist zwar die kostengünstigste Variante, dagegen spricht allerdings, dass hier die Reinigungseffizienz schlechter ist als bei den anderen Verfahren. Zu beachten ist auch, dass die Jahreskosten dicht beieinander und damit im Bereich der Schätzgenauigkeit liegen.

Bei der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) ist zu bedenken, dass die entstehenden Transformationsprodukte vor der Einleitung in den Vorfluter sicher abgetrennt/eliminiert werden müssen. Dazu ist nach derzeitigem Wissensstand eine biologische Nachbehandlung mittels eines Filters eingeplant, es ist jedoch nicht auszuschließen, dass nach Auswertung der Betriebserfahrungen derzeitiger Anlagen eine GAK-Filtration oder ein Wirbelbett notwendig wird. Auf jeden Fall würde die Entscheidung für eine Ozonanlage erfordern, dass ein Messprogramm zur Beobachtung der Bromid-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Hörstel durchgeführt wird, da diese bei den untersuchten Proben relativ hoch bei 0,1 mg/l lag.

Für die Variante 4 wurden zwar etwas höhere Jahreskosten als für die Varianten 1, 2 und 3 abgeschätzt. Da jedoch einige zurzeit in Betrieb befindliche Anlagen durch eine verbesserte Verfahrensführung gute Eliminationsraten bei hohen Standzeiten der GAK zeigen, sollte auch diese Variante am Standort Hörstel weiter untersucht werden.

Ein Vorteil der adsorptiven Verfahren ist, dass (im Gegensatz zur Ozonung) bei den adsorptiven Verfahren die Spurenstoffe aus dem Abwasser entfernt werden. Grundsätzlich ist eine Kombination verschiedener Verfahren (wie z.B. Ozonung und GAK, Variante 5) insofern sinnvoll, als das nicht nur die Breitbandwirkung der 4. Reinigungsstufe, sondern auch ihre Eliminationseffizienz optimiert wird.

Aus der Kostenvergleichsrechnung gehen die Variante 1 und 2 (PAK-Dosierung in Belebung bzw. Kontaktbecken) als wirtschaftlich vorteilhafteste Varianten hervor. Der Unterschied zu Variante 3 (Ozonierung), aber auch zu Variante 4 (GAK-Filtration), liegt jedoch innerhalb der Schätzgenauigkeit, so dass hier kein eindeutiges Vorzugsverfahren bestimmt werden kann.

Hinsichtlich der Reinigungsleistung kann ebenfalls 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.

In den kommenden Jahren ist mit Entscheidungen bezüglich gesetzlicher Vorgaben zur Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe zu rechnen. Dies wird die Planungssicherheit für Kläranlagenbetreiber deutlich erhöhen. Eine mögliche Option wäre es, das Monitoring vor dem Hintergrund, dass sowohl im Ablauf als auch im Vorfluter signifikante Spurenstoffkonzentrationen aufgetreten sind, zukünftig fortzuführen, um eine ausreichende Datenbasis zu erreichen. Mit diesen Daten und unter Berücksichtigung von Betriebserfahrungen anderer Kläranlagen, weiteren Entwicklungen bzgl. Technologien sowie ggf. unter Berücksichtigung neuer gesetzlicher Vorgaben kann eine optimale Variante für die Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hörstel gewählt werden. Um die Eignung der Verfahren und die voraussichtlich anfallenden Betriebskosten besser einschätzen zu können, könnten im Falle einer weiteren Planung ausgewählte Verfahren in wissenschaftlich betreuten Vorversuchen vertieft betrachtet werden.