

Gemeinde Hopsten



Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

KURZBERICHT

November 2016

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Gemeinde Hopsten, Bürgermeister Winfried Pohlmann

Bunte Str. 35, 48496 Hopsten

Unterschrift

Aufgestellt durch:

INGENIEURBÜRO FRILLING GMBH

Beratende Ingenieure VBI

Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik

Rombergstraße 46 – 49377 Vechta

Tel.: 04441 8704-0, Fax: 04441 8704-80, info@if-vechta.de

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Michael Schütte

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

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

Bearbeitung: Dipl.-Biol. Doris Schäpers

Katharina Kasper M.Sc.

Vechta, im November 2016

Aachen, im November 2016



ppa. M. Merten

ppa. M. Schütte

ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

Literaturverzeichnis:	4
1 Einleitung und Veranlassung	5
1.1 Allgemeines	5
1.2 Kläranlage Hopsten	6
2 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet	6
3 Mögliche Verfahren zur Spurenstoffelimination	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 Spurenstoffelimination auf der KA Hopsten und Verfahrensvorauswahl	9
4.1 Vorliegende Untersuchungen auf Spurenstoffe	9
4.2 Beschreibung und Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der KA Hopsten	10
4.3 Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	12
4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	12
4.5 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	13
4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken.....	13
4.7 Variante 3: Ozonbehandlung	15
4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	17
5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	19
5.1 Investitionen.....	19
5.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	20
5.3 Jahreskosten	22
5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation.....	23
5.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hopsten	24

Literaturverzeichnis:

1. **Umweltbundesamt.** [Online] <http://www.umweltbundesamt.de/>.
2. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).** *Bericht: Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW.* Düsseldorf : s.n., 2014.
3. *Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen.* **Ternes, T.** Wasser Berlin : s.n., 2006.
4. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge.* 2015.
5. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
6. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
7. **M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhauser, L. Salhi, U. von Gunten, C. Mc Ardell, P. Longrée, B. Beck, H. Siegrist.** *Berichterstattung - Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut.* Bern : Bafu, 2013.
8. **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.
9. **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.
10. **Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.

1 Einleitung und Veranlassung

1.1 Allgemeines

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

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

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

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

1.2 Kläranlage Hopsten

Die Kläranlage Hopsten wird durch die Gemeinde Hopsten betrieben. Es handelt sich um eine mechanisch-biologische Anlage. In der Kläranlage Hopsten werden die Abwässer der Ortslagen Hopsten und Halverde behandelt. Die Entwässerung der Gemeinde Hopsten erfolgt im Wesentlichen im Trennsystem (ca. 75 %); der Ortsteil Halverde wird im Mischsystem entwässert (20-25 %). Die Jahresabwassermenge im Jahr 2014 betrug 334.800 m³ (5).

Die Ausbaugröße der KA Hopsten beträgt 12.500 EW, sie wurde in den Jahren 2005 bis 2014 nicht erreicht. Die angeschlossenen Einwohnerwerte (kommunal und Industrie) schwankten in dieser Zeit im Mittel zwischen 6.122 EW (2011) und 7.051 EW (2007).

Auf der Kläranlage Hopsten erfolgt die Abwasserbehandlung durch ein kombiniertes Verfahren aus mechanischer Vorbehandlung und anschließender biologischer Abwasserbehandlung. Bei der biologischen Stufe handelt es sich um eine Schwachlastbelebung mit weitestgehender Stickstoffelimination und simultan-aerober Schlammstabilisierung. Die Stickstoffelimination erfolgt durch eine vorgeschaltete Denitrifikation mit nachfolgender Nitrifikation.

Ein vereinfachtes Fließbild der Kläranlage Hopsten zeigt Abbildung 1-1.

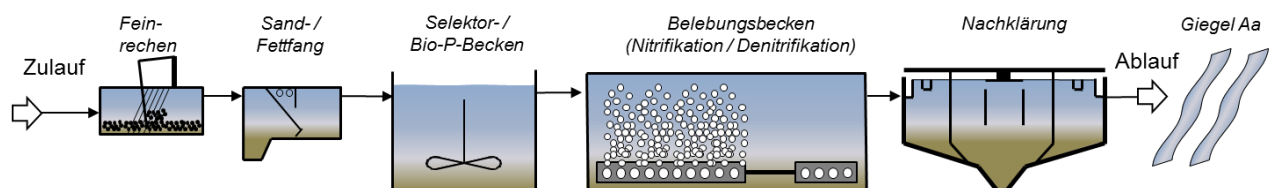


Abbildung 1-1: Vereinfachtes Fließbild KA Hopsten

Die Gemeinde Hopsten als Betreiber der Kläranlage Hopsten hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschieden, eine Machbarkeitsstudie für die Kläranlage Hopsten in Auftrag zu geben. Bei dem vorliegenden Dokument handelt es sich um die Kurzfassung dieser Studie. Sie stellt die wesentlichen Inhalte der Studie dar.

2 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

Die Kläranlage Hopsten liegt im Westen der Gemeinde Hopsten, direkt am Vorfluter Giegel Aa. Es werden keine relevanten Abwassermengen von industriellen Einleitern oder Krankenhäusern in der Kläranlage Hopsten behandelt. Zwei Schlachthöfe leiten ihr Abwasser in die Kläranlage Hopsten ein, es werden allerdings nur geringe Stückzahlen an Tieren (Rinder) geschlachtet. Beide Schlachthöfe sollen darüber hinaus in absehbarer Zeit geschlossen werden. Erweiterungen der Kläranlage Hopsten sind derzeit nicht geplant.

Insgesamt sind im in der Kläranlage Hopsten behandelten Abwasser keine großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Spurenstoffe wie Medikamentenrückstände oder Röntgenkontrastmittel können jedoch auch mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen werden. Durch die Arzneimittelaufnahme

der Bevölkerung sowie die ggf. nicht fachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln ist mit einem Eintrag dieser Stoffe ins Abwasser und damit in die Kläranlage zu rechnen. Weitere Chemikalien- und Spurenstoffeinträge ins Abwasser sind möglich, z.B. durch Reinigungsmittel, Körperpflegeprodukte, durch Imprägniermittel, die aus Kleidung ausgewaschen werden, etc. Des Weiteren ist z.B. durch die Auswaschung von Bioziden aus Fassadenanstrichen oder durch das Abspülen von Abrieb auf Straßen mit einem Eintrag von Stoffen in die Kanalisation oder in die Umwelt zu rechnen.

In der Umgebung der Kläranlage Hopsten gibt es keine FFH- / Vogel- oder Naturschutzgebiete. Auch die Giegel Aa durchläuft bis zur Landesgrenze von Nordrhein-Westfalen keine Schutzgebiete.

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

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

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

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

Nach heutigem Kenntnisstand ist insbesondere der Einsatz von Aktivkohle oder Ozon für eine weitergehende Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet und auch in bestehende Anlagen integrierbar. Sowohl die Behandlung des Abwassers mit Aktivkohle als auch mit Ozon erwies sich in Pilotversuchen und in der Großtechnik als geeignet, eine große Zahl von Mikroverunreinigungen weitgehend aus dem Abwasser zu entfernen. Daneben wurde nachgewiesen, dass nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen (z.B. Hormonaktivität) verringert werden (6). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenen Spurenstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die

ursprünglichen Spurenstoffe sie aufweisen. Für diese Transformationsprodukte muss sichergestellt sein, dass sie nicht mit dem gereinigten Abwasser in den Vorfluter eingeleitet werden.

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

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granuliert Aktivkohle (GAK). Beim Einsatz der Pulveraktivkohle werden die besten Eliminationsleistungen erreicht, wenn die Dosierung der PAK in ein Kontaktbecken mit ausreichender Verweilzeit und einer ausreichend hohen PAK Dosierrate erfolgt und eine Rezirkulation der PAK betrieben wird. Es ist auch möglich, die PAK in den Flockungsraum eines Filters zu dosieren. Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle wurden teilweise sehr unterschiedliche Eliminationsleistungen festgestellt (7).

4 Messprogramm zur Spurenstoffelimination auf der KA Hopsten und Verfahrensvorauswahl

4.1 Vorliegende Untersuchungen auf Spurenstoffe

Noch vor Beginn der Machbarkeitsstudie wurden durch OWL Umweltanalytik Untersuchungen im Ablauf der Kläranlage durchgeführt.

Der Ablauf der Kläranlage Hopsten wurde im Juni 2013 auf Benzotriazol untersucht. Dabei wurde eine Konzentration von 4,80 µg/l festgestellt, was für eine Kläranlage einen durchschnittlichen Wert darstellt.

In den Jahren 2014 und 2015 wurde die Giegel Aa ober- und unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Hopsten auf Spurenstoffe untersucht. Untersucht wurden jeweils die Parameter Diclofenac, Carbamazepin, Metoprolol, Sotalol, Clarithromycin, Sulfamethoxazol und Benzotriazol.

Im Juli 2014 wurden dabei Erhöhungen unterhalb der Kläranlage Hopsten für Diclofenac (20 %), Carbamazepin (24 %), Metoprolol (38 %), Sotalol (19 %), Sulfamethoxazol (10 %) und Benzotriazol (20 %) gefunden. Für den Parameter Clarithromycin konnte eine Konzentrationsabnahme von 16 % gefunden werden.

Im Dezember 2014 wurden Erhöhungen unterhalb der Kläranlage für alle untersuchten Parameter gefunden (Diclofenac (24 %), Carbamazepin (6 %), Metoprolol (18 %), Sotalol (47 %), Clarithromycin (mind. 22 %), Sulfamethoxazol (mind. 76 %) und Benzotriazol (6 %)).

Im Juli 2015 wurden Erhöhungen unterhalb der Kläranlage für die Parameter Diclofenac (77 %), Carbamazepin (9 %), Metoprolol (35 %), Sulfamethoxazol (20 %) und Benzotriazol (43 %) gefunden. Die Parameter Sotalol und Clarithromycin konnten weder ober- noch unterhalb der Kläranlage nachgewiesen werden.

Die gefundenen Erhöhungen liegen damit im Bereich zwischen 6 und 77 %. Die absoluten Konzentrationszunahmen liegen dabei jedoch nur zwischen 0,01 und 0,2 µg/l. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei der Giegel Aa um einen sehr schwachen Vorfluter handelt, erscheint der Spurenstoffeintrag durch die Kläranlage Hopsten (bezogen auf die Fracht) absolut gesehen als eher gering.

4.2 Beschreibung und Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der KA Hopsten

Da es sich bei dem in der Kläranlage Hopsten behandelten Abwasser zum größten Teil um kommunales Abwasser handelt, werden im Abwasserstrom der Kläranlage keine oder nur geringe Mengen an Industriechemikalien vermutet. Daher wurden diese - bis auf Benzotriazol und Methylbenzotriazol - im Messprogramm nicht vorgesehen. Der Zu- und Ablauf der Kläranlage wurde jeweils auf eine Auswahl an Medikamentenrückständen, Zuckerersatzstoffe sowie eine Auswahl an prioritären Stoffen gem. Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) untersucht. Zusätzlich wurde der Ablauf der Kläranlage auf Schwermetalle, Bromid, AOX und ACP's hin untersucht. Das Messprogramm wurde mit der Bezirksregierung Münster abgestimmt. In Tabelle 4-1 sind einige wichtige Ergebnisse der Analysen des Kläranlagenablaufes sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS zusammengefasst. Gelb unterlegt sind Ergebnisse, die über dem Mittelwert vergleichbarer Anlagen liegen, orange markiert sind Ergebnisse, die den Maximalwert anderer Anlagen überschreiten. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Spurenstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 4-1: Zusammenfassung erhöhter Spurenstoffkonzentrationen

Phthalate		Ablauf 29.10.15:	Ablauf 01.04.16:	Referenz Ablauf MW:	Referenz Ablauf Max.:
Di-(2-ethylhexyl)phthalat	µg/l	3,7	< 2	2,2	2,2
Arzneimittel-Rückstände		Ablauf 29.10.15:	Ablauf 01.04.16:	Referenz Ablauf MW:	Referenz Ablauf Max.:
Sulfamethoxazol	µg/l	0,38	0,18	0,27	0,74
Sotalol	µg/l	0,31	0,32	0,14	0,64
Clarithromycin	µg/l	1,2	0,77	0,23	0,89
Bisoprolol	µg/l	0,47	0,41	0,44	2,20
Pflanzenschutzmittel-Rückstände		Ablauf 29.10.15:	Ablauf 01.04.16:	Referenz Ablauf MW:	Referenz Ablauf Max.:
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	1	0,46	0,61	0,80
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	1,4	0,38	0,57	0,91
Süßstoffe		Ablauf 29.10.15:	Ablauf 01.04.16:	Referenz Ablauf MW:	Referenz Ablauf Max.:
Acesulfam K	µg/l	14	25,00	5,3	45
Saccharin	µg/l	0,74	0,33	0,24	0,67
Sucralose	µg/l	3,7	3,6	1,98	5,10

In Tabelle 4-2 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination der im Ablauf der Kläranlage Hopsten 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. Acesulfam K).

Tabelle 4-2: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der Kläranlage Hopsten 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						
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
Zuckerersatzstoffe						
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut

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

Um den Aufwand und die Kosten für die Spurenstoffanalytik im Rahmen der Machbarkeitsstudie in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wurde wie oben beschrieben nach Abschätzung des Eintragspotenzials an Spurenstoffen im Einzugsgebiet der Kläranlage Hopsten nur eine begrenzte Auswahl an Spurenstoffen analysiert. Eine abschließende Beurteilung und eindeutige Verfahrensvorauswahl ist auf der Grundlage dieser Daten allein nicht zu treffen. Zusätzlich ist vor dem Hintergrund, dass auch in Zukunft immer neue Substanzen mit verschiedenen chemisch-physikalischen Eigenschaften entwickelt werden und in Umlauf gelangen, eine Festlegung auf ein bestimmtes Vorzugsverfahren schwierig. Im Blickpunkt sollte deshalb immer die potenzielle Breitbandwirkung der Verfahren stehen.

Es ergeben sich damit 4 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort KA Hopsten geeignet sind und nachfolgend untersucht werden:

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

Optional wird für alle Verfahren vorgesehen, dass sich an die 4. Reinigungsstufe eine Flockungsfiltration anschließt. Diese dient, je nach Variante, zur Abscheidung der PAK, zur Bereitstellung eines biologisch aktiven Filters bzw. zur Abscheidung von Restsuspensa. Dabei wird die Flockungsfiltration für eine Vollstrombehandlung von 300 m³/h ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 4 wird auf 195 m³/h bemessen. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von 105 m³/h vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 4 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 4-1).

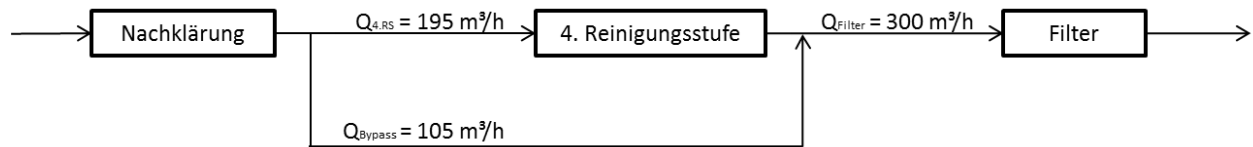


Abbildung 4-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration

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

Auf der Kläranlage Hopsten stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Als Erweiterungsfläche für die Errichtung einer 4. Reinigungsstufe steht nur die Fläche des abgängigen Schönungsteiches zur Verfügung (Abbildung 4-2).

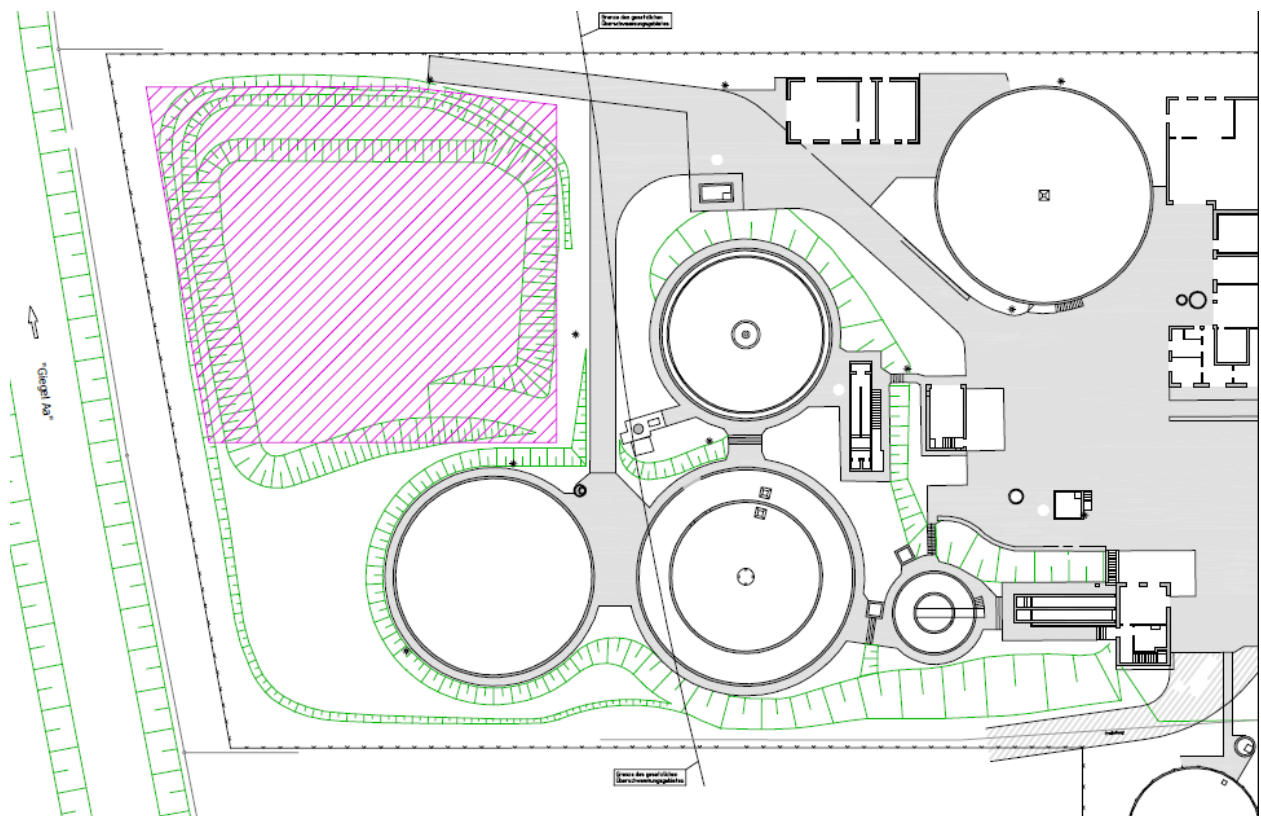


Abbildung 4-2: Mögliche Freifläche zum Aufstellen der 4. Reinigungsstufe (schraffierter Bereich)

4.4 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für die Variante 1 ist ein Freigefälleabfluss über die Tuchfiltrationsanlage möglich. Varianten 2-4 benötigen eine Anhebung des Abwasserzuflusses über ein Zwischenpumpwerk. Dabei wird der geförderte Volumenstrom für die 4. Reinigungsstufe auf die Auslegungswassermenge von $195 \text{ m}^3/\text{h}$ begrenzt. Darüber hinaus

gehende Wassermengen werden im Bypass um die 4. Reinigungsstufe gepumpt und vor der Flockungsfiltration wieder mit dem Ablauf aus der 4. Reinigungsstufe vereinigt.

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 Kläranlage Hopsten besteht aus einem Denitrifikationsbecken und zwei Nitrifikationsbecken. Möglich ist eine PAK-Dosierung in die beiden Nitrifikationsbecken ($V_I = 2.150 \text{ m}^3$, $V_{II} = 1.065 \text{ m}^3$) und die Abcheidung der PAK in der Nachklärung ($V = 1.095 \text{ m}^3$). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 4-3 gezeigt.

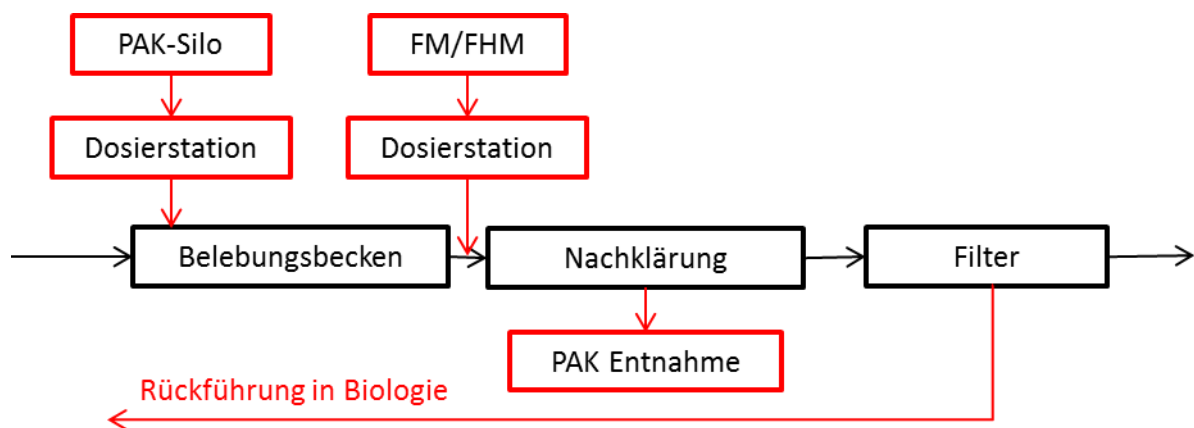


Abbildung 4-3: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1)

Anordnung der Flockungsfiltration

Bei dieser Variante wird eine anschließende Flockungsfiltration benötigt um die eingesetzte PAK sicher zurückzuhalten. Das Abwasser wird der Flockungsfiltration im Freigefälle zugeführt. Die Flockungsfiltration ist für den Vollstrom ausgelegt und umfasst 4 Scheibenfilter mit einer Filterfläche von je 20 m^2 .

4.6 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

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

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

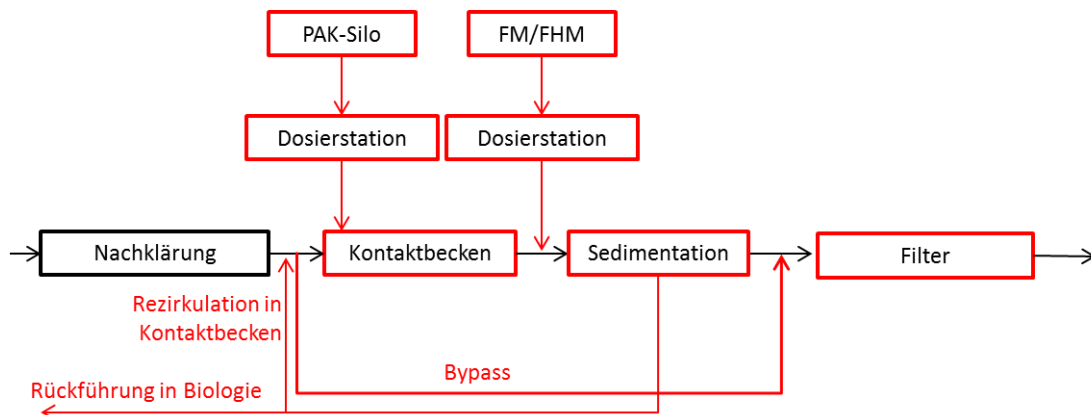


Abbildung 4-4: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2)

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

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe ist ein Zwischenpumpwerk vorgesehen. Die Kontaktbecken werden als zwei rechteckige Becken mit einem Volumen von jeweils 49 m³ ausgeführt.

Nachgeschaltet befindet sich das Sedimentationsbecken, das als Rundbecken mit einem Volumen von 410 m³ ausgeführt wird. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehen (Q = 140 m³/h + Reserve). Die nachgeschaltete Flockungsfiltration ist für die Vollstrombehandlung ausgelegt und umfasst 4 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von je 20 m².

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

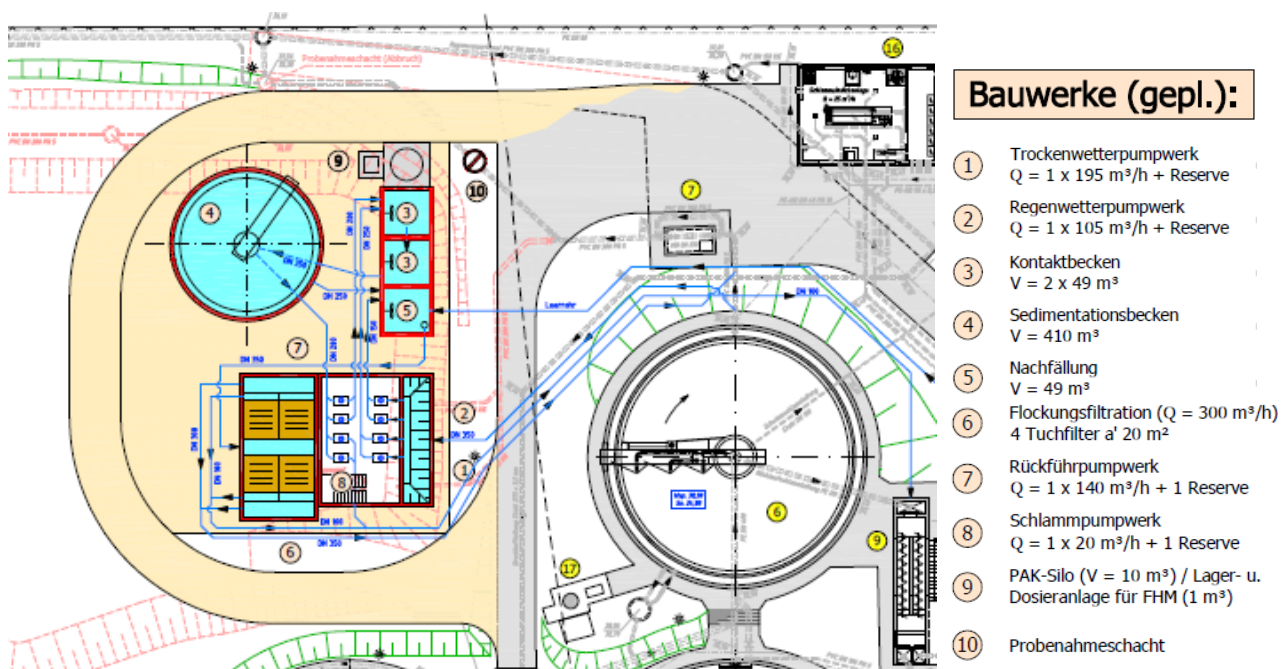


Abbildung 4-5: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

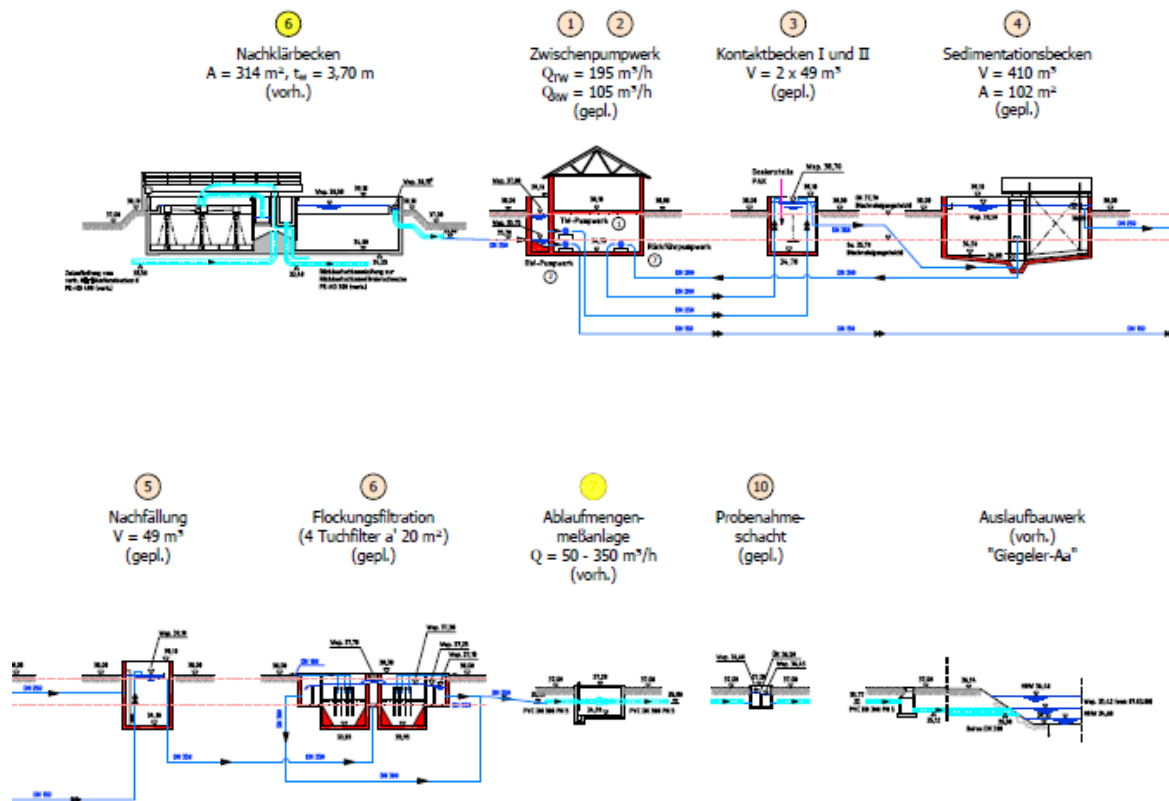


Abbildung 4-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

4.7 Variante 3: Ozonbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen.

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 4-7 gezeigt.

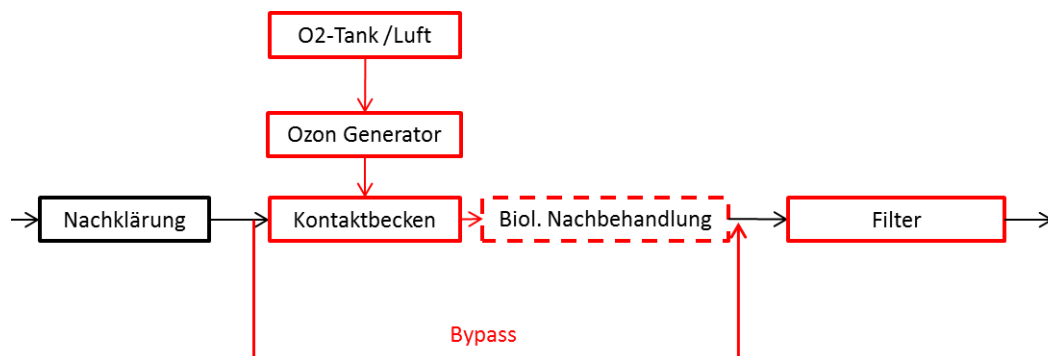


Abbildung 4-7: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3)

Anordnung der Ozonanlage und Flockungsfiltration:

Auch für diese Variante wird ein Zwischenpumpwerk geplant. Das Abwasser durchläuft den Ozonreaktor und danach die Flockungsfiltration. Auch hier wird die Flockungsfiltration als Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 4 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von jeweils 20 m². Für den Ozonerzeuger wird ein neues Betriebsgebäude benötigt.

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

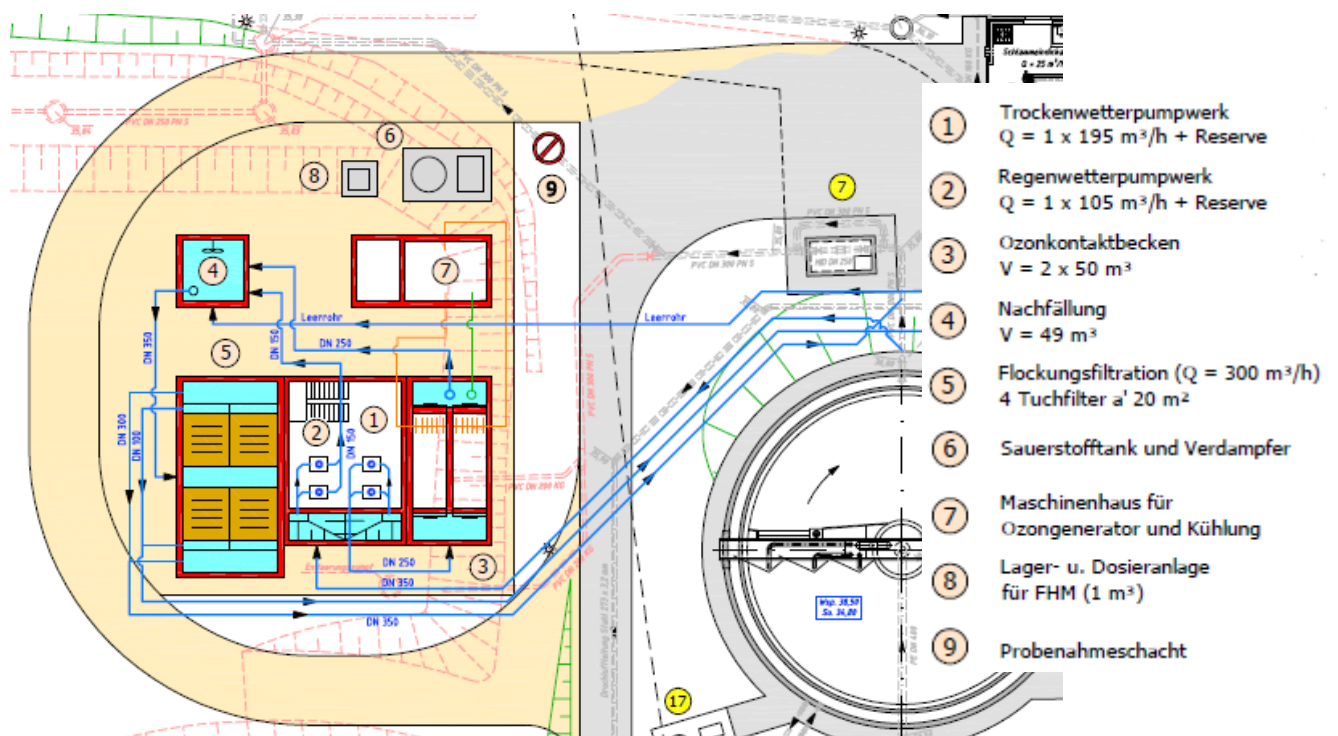


Abbildung 4-8: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

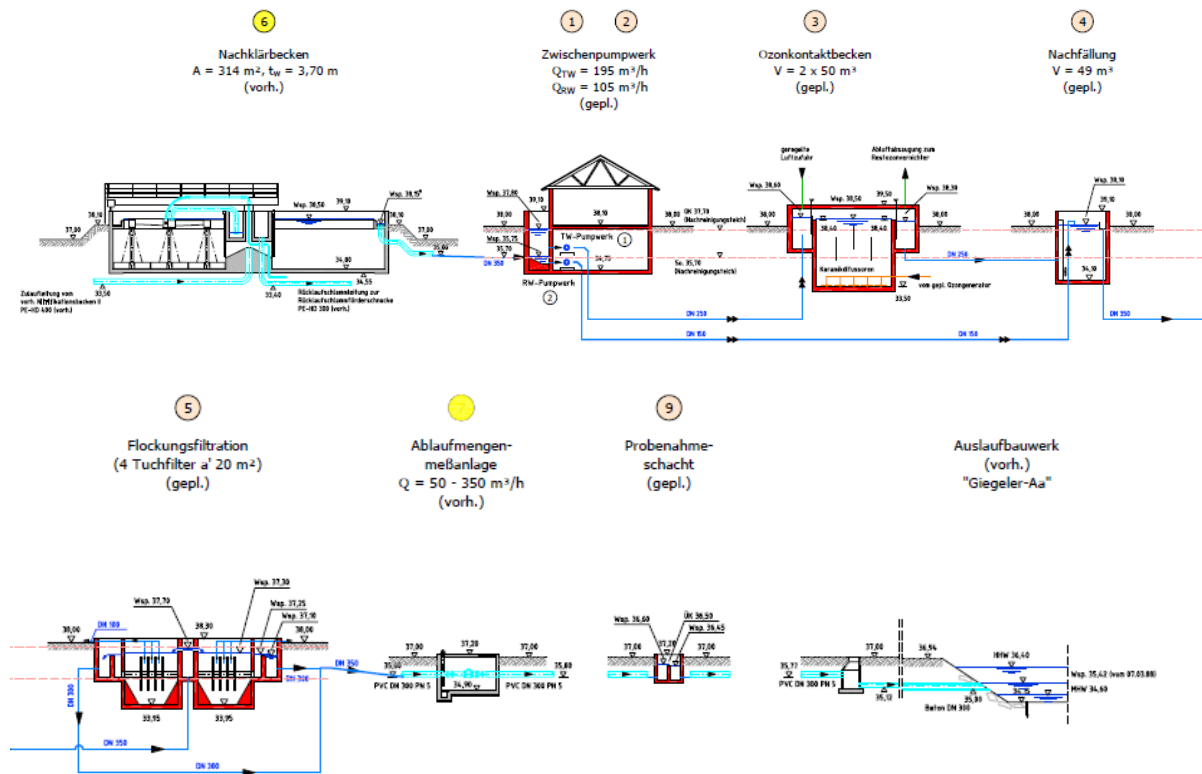


Abbildung 4-9: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

4.8 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden. Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung 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 4-10 dargestellt.

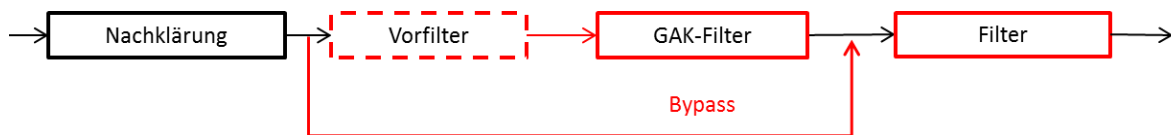


Abbildung 4-10: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Vor der Umsetzung dieser Variante am Standort Hopsten muss detailliert untersucht werden, wo die Flockungsfiltration optimal angeordnet werden sollte.

Für die Variante 4 (GAK-Filtration) wird für das Anheben des Abwassers auf die GAK-Filter und die Flockungsfiltration ein neues Zwischenpumpwerk benötigt. Das Abwasser wird auf die 4 parallel betriebenen

Filter verteilt. Die Flockungsfiltration kann vor oder nach der GAK-Filtration betrieben werden. Wird diese vor der GAK-Filtration betrieben, erhöht sich die Standzeit der GAK. Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung muss eine Vorfiltration des Abwassers erfolgen, um die GAK-Filter vor einer zu schnellen Verblockung zu schützen und zu häufige Rückspülungen des GAK-Filters zu verhindern. Die Flockungsfiltration ist auf eine Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 4 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von jeweils 20 m².

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

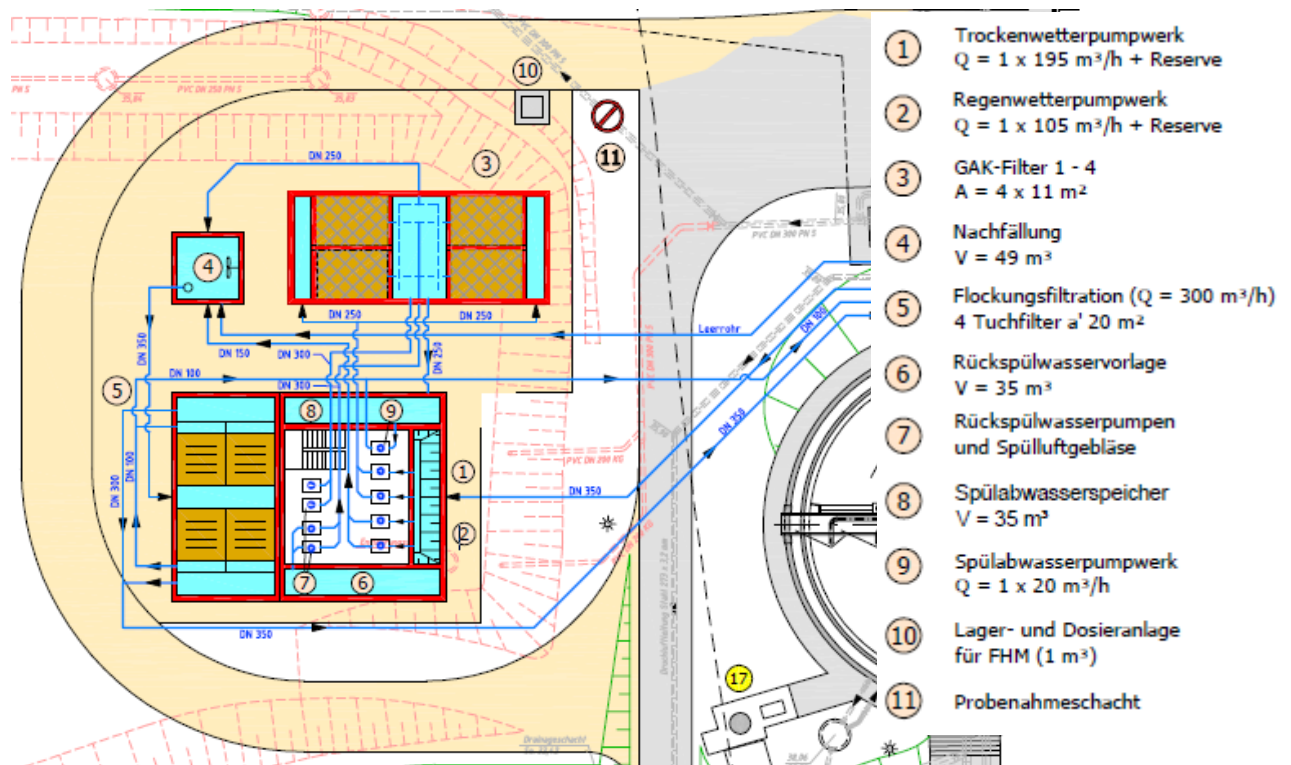


Abbildung 4-11: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

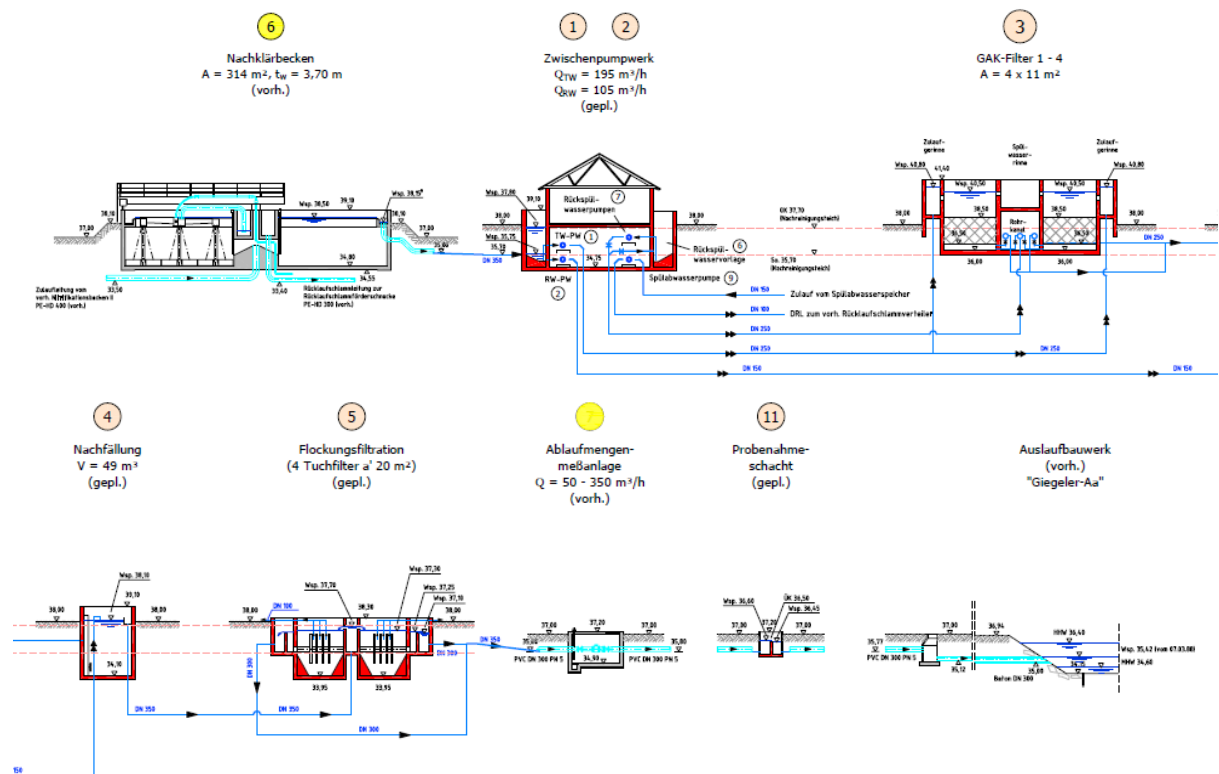


Abbildung 4-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

5 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

5.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bei den Varianten 2-4 muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe und die Flockungsfiltration zu beschicken; die Variante 1 nutzt das Freigefälle,
- Bei allen Varianten ist eine Abschlussfiltration mittels Tuchfiltration für den Vollstrom enthalten (im Hinblick auf z.B. eine weitergehende P-Elimination),
- Für die Unterbringung der neuen Aggregate wird bei den Varianten 2-4 ein Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Hochbauteil errichtet,
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem separaten Maschinenhaus,
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen,
- Das vorhandene Fällmittellager wird für die 4. Reinigungsstufe und die Flockungsfiltration genutzt
- Bei der Variante 1 ist eine Ertüchtigung der Nachklärung vorgesehen.

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

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

	Variante 1 PAK-Dosierung in die Belebung	Variante 2 PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	452.000,00 €	1.068.000,00 €	945.000,00 €	1.126.000,00 €
Maschinentechnik- Kosten	739.000,00 €	842.000,00 €	804.000,00 €	709.400,00 €
EMSR-Technik-Kosten	222.000,00 €	253.000,00 €	241.000,00 €	213.000,00 €
Baunebenkosten	253.800,00 €	390.700,00 €	358.200,00 €	369.000,00 €
Investitionskosten netto	1.666.800,00 €	2.553.700,00 €	2.348.200,00 €	2.417.400,00 €
Investitionskosten brutto	1.983.492,00 €	3.038.903,00 €	2.794.358,00 €	2.876.706,00 €

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

Die Investitionen sind für Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) mit 1.983492 Euro brutto mit Abstand am niedrigsten. Bei dieser Variante sind die geringsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für Variante 3 (Ozon) sind Investitionen von 2.794.358 Euro brutto erforderlich, diese Investitionen liegen damit sehr dicht an denen für die Aktivkohlevarianten: Für Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) wurden die Investitionen mit 3.038.903 Euro brutto, für Variante 4 (GAK) mit 2.876.706 Euro brutto ermittelt.

Für die Ozonbehandlung und die GAK-Filtration wäre streng genommen verfahrenstechnisch keine Flockungsfiltration notwendig. Würde man diese Kosten entfallen lassen, dann ergäben sich zwar zunächst niedrigere Investitionskosten. Die Filtration wurde für die Ozonung allerdings als biologisch aktiver Filter zur Entfernung möglicher Transformationsprodukte vorgesehen. Entfällt diese Filtration, so müsste ersatzweise eine andere Nachbehandlung berücksichtigt werden. Bei der GAK-Filtration wurde davon ausgegangen, dass die Filtrationsstufe – falls erforderlich – der GAK-Filtration vorgeschaltet wird, um Restsuspensa zu entfernen. Würde die Filtrationsstufe entfallen, müssten u.U. geringere Standzeiten für das GAK Filtermaterial angesetzt werden, so dass die Betriebskosten steigen.

5.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten

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

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

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

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

Bei Variante 4 (GAK) wurde ein Bettvolumen von 13.000 BTV angesetzt. Damit ergibt sich für die Kläranlage Hopsten eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von 38,8 Monaten. Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die neue Filtrationsanlage (Tuchfiltration) ggf. 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 und 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]	6.843	13.685	27.197	12.347
Personal	[€/a]	15.762	19.703	15.762	15.762
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	44.189	58.523	54.745	52.640
Sauerstoff	[€/a]	0	0	6.137	0
PAK/GAK	[€/a]	9.370	4.685	0	12.056
FHM, FM	[€/a]	1.692	1.379	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	3.732	2.482	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	81.588	100.456	103.841	92.805

Aus Tabelle 5-2 geht hervor, dass bei Variante 1 (PAK in Belebung) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von 81.588 Euro netto/a zu rechnen ist. Die Betriebskosten der Variante 4 (GAK-Filtration) liegen mit 92.805 Euro netto/a etwas höher. Die höchsten Betriebskosten weisen die Varianten 2 (PAK in Kontaktbecken) mit 100.456 Euro netto/a und 3 (Ozonung) mit 103.841 Euro netto/a auf.

5.3 Jahreskosten

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

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

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Kapitalkosten	[€/a]	123.858	174.239	161.800	160.152
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	59.951	78.226	70.507	68.403
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	21.637	22.230	33.334	24.402
Jahreskosten	[€/a]	205.446	274.695	265.641	252.957

Es zeigt sich, dass die Variante 1 (PAK in Belebung) mit 205.446 Euro netto die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die anderen Varianten liegen im Bereich zwischen 252.957 (Variante 4, GAK-Filtration) und 274.695 Euro (Variante 3, Ozonung) netto sehr dicht beieinander.

Die niedrigsten spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser weist die Variante 1 mit 0,66 Euro netto auf. Die anderen Varianten bewegen sich auf vergleichbarem Niveau: Die GAK-Filtration (Variante 4) liegt bei 0,81 Euro netto, Variante 3 (Ozonung) liegt bei 0,85 Euro netto und Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) liegt bei 0,88 Euro netto. Die spezifischen Kosten je Einwohner liegen für die Variante 1 bei 32,57 Euro netto und für die anderen Varianten zwischen 40,10 (Variante 4) und 43,55 Euro netto (Variante 2). Im Vergleich zu anderen im Rahmen von Studien untersuchten und in Betrieb befindlichen Kläranlagen weist die KA Hopsten somit hohe spezifische Kosten auf.

5.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

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

Besonders die Investitions-, Kapital-, Personal-, Wartungs- und Instandhaltungskosten fallen im Vergleich mit anderen Anlagen hoch aus. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die KA Hopsten verhältnismäßig geringe Abwassermengen behandelt, während die vorgenannten Kosten nicht linear mit der Größe der Anlage korrelieren.

Ein anderer Grund für die hohen Investitionskosten ist, dass wie schon zuvor erläutert bei allen Varianten eine Flockungsfiltration bei der Kostenberechnung berücksichtigt wurde. Diese könnte theoretisch bei den Varianten 3 (Ozon) und 4 (GAK-Filtration) entfallen und im Falle der Variante 3 (Ozon) durch eine andere biologische Nachbehandlung ersetzt werden (z.B. Wirbelbett), wodurch sich die Investitionen verringern würden. Hinsichtlich des Ziels der Verbesserung der Kläranlagenablaufwerte auch im Hinblick auf die allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter (ACP's) wie P_{ges}, CSB bzw. TOC kann der Verzicht auf eine Flockungsfiltration in Variante 3 nicht favorisiert werden. Bei Variante 4 (GAK-Filtration) wird die Flockungsfiltration vor die GAK-Filtration geschaltet. Durch den geringeren Eintrag an AFS kann die Standzeit der verwendeten GAK verlängert werden. Ein Verzicht auf die Flockungsfiltration ist hier insbesondere im Hinblick auf die durch den erheblich höheren GAK-Verbrauch entstehenden Kosten nicht zu empfehlen.

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

Die auf Grund der Trennkanalisation notwendige Auslegung auf 195 m³/h sorgt außerdem dafür, dass die Anlage ihre maximale Auslastung nur sehr selten erreicht. Dies führt zu höheren spezifischen Investitionskosten je m³ tatsächlich behandeltem Abwasser.

Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle wurden über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Für die granulierten Aktivkohle wurde eine Annahme für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BTV = 13.000). Damit ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von etwa 39 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten

werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen. Ebenso haben die angesetzten Nutzungszeiten bzw. Bettvolumina einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten, so dass diese in Abhängigkeit einer längeren oder kürzeren Standzeit deutlich anders ausfallen können. Die vorgenannte Feststellung gilt auch für die Variante 3 (Ozon). Je nach erforderlichem Reinigungsziel können der Stromverbrauch und der Sauerstoffbedarf stark variieren, womit auch die Betriebsmittelkosten sich deutlich verändern können.

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

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kostenschätzung nach heutigem Wissensstand noch mit Unsicherheiten behaftet ist, da zum einen Langzeiterfahrungen fehlen und derzeit noch keine gesetzlichen Vorgaben für die zu erreichenden Reinigungsziele vorliegen. Da es sich bei der KA Hopsten jedoch um eine Anlage mit einem verhältnismäßig geringen Volumenstrom handelt, fallen Fixkosten wie Investitionen, Personal und Instandhaltung stärker ins Gewicht. Der Betrieb der 4. Reinigungsstufe würde deswegen aller Voraussicht nach eine signifikante Erhöhung der Abwassergebühren für das Einzugsgebiet der KA Hopsten bedeuten.

5.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hopsten

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

Eliminationsleistungen

Hinsichtlich der voraussichtlichen Eliminationsleistung sind nach bisherigen Erkenntnissen die PAK-Dosierung und die Ozonbehandlung als effektivste Verfahren zu nennen. Bei der PAK-Dosierung werden voraussichtlich 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 (8). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Beim Einsatz der granulierten Aktivkohle wird von sehr unterschiedlichen Eliminationsleistungen berichtet. Während auf der KA Obere Lutter bei Gütersloh sowie auf der KA Gütersloh-Putzhagen von guten Eliminationsleistungen berichtet wurde, wurde bei Untersuchungen auf der ARA Neugut (Schweiz) die Spurenstoffelimination mittels GAK als nicht ausreichend bewertet, da schon nach kurzen Filterlaufzeiten eine Verschlechterung der Eliminationsleistung für einige Spurenstoffe festgestellt wurde (7). Zur Zeit werden verschiedene Bewirtschaftungsstrategien für den GAK-Betrieb untersucht, die vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich Elimination und Standzeit erwarten lassen.

Betriebsaufwand

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

Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern wieder abgebaut werden. Für den Standort Hopsten wird eine biologisch aktive Filtrationsanlage im Anschluss an die Ozonung geplant, so dass vor diesem Hintergrund dem Einsatz einer Ozonung am Standort nichts im Wege steht. Es wird jedoch vor einer Umsetzung immer empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen.

Voraussichtliche Kosten und Eignung der Verfahren

Die ermittelten Jahreskosten liegen für die Kläranlage Hopsten in ähnlicher Größenordnung. Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die PAK-Dosierung in die Belebung (Variante 1). Das nächstgünstigste Verfahren ist die GAK-Filtration (Variante 4), dessen Kosten jedoch sehr nah an den Kosten für die Varianten 2+3 liegen. Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass mit Hilfe der Ozonung – ebenso wie mit der PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken (Variante 2) – die besten Eliminationsleistungen der vier Varianten erreicht werden können. Auch für die GAK-Filtration werden zum Teil gute Eliminationsleistungen erreicht. Für das als am günstigsten ermittelte Verfahren PAK-Dosierung in die Belebung (Variante 1) ist bisher nicht belegt, dass die langfristige Eliminationsleistung ausreichend ist.

Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hopsten

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

Die Kläranlage Hopsten hat eine Ausbaugröße von 12.500 EW, ist zurzeit jedoch nur mit im Mittel 6.308 EW (5) belastet. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der Kläranlage Hopsten untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Kläranlage Hopsten eine sehr gute Reinigungsleistung aufweist. Das angrenzende Umland wird durch intensive Landwirtschaft geprägt. Daher ist hier mit einem erheblichen Nährstoffeintrag in die umliegenden Gewässer und somit auch in den Vorfluter (Giegel Aa) zu rechnen.

Bei den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage konnten nach heutigem Kenntnisstand nur wenige Auffälligkeiten festgestellt werden. Da die gemessenen Spurenstoffkonzentrationen z.T. zwischen den Messdurchgängen stark abweichen, ist eine belastbare Bewertung nicht zu treffen. Die meisten untersuchten Stoffkonzentrationen lagen unterhalb der Konzentrationen, die in Abläufen vergleichbarer Kläranlagen gefunden wurden oder zumindest deutlich unter den maximalen, bei anderen Kläranlagen gemessenen Werten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Die Kläranlage Hopsten befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen. Bei der Giegel Aa handelt es sich um einen sehr schwachen Vorfluter, der allerdings keine FFH- oder Naturschutzgebiete durchfließt. Vor dem Hintergrund, dass durch den vergleichsweise kleinen Abwasserstrom auch nur eine geringe Mikroschadstofffracht in die Umwelt gelangt, wird angenommen, dass zum jetzigen Zeitpunkt kein unmittelbarer Handlungsbedarf besteht, eine 4. Reinigungsstufe ganz kurzfristig am Standort zu realisieren.

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

Hinsichtlich der Verbesserung der Gewässersituation in NRW ist es voraussichtlich vorrangig sinnvoll zunächst Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe auszustatten, die wie in (9) beschrieben:

- mehr als 100.000 angeschlossene Einwohner aufweisen
- oberhalb von Trinkwassergewinnungsanlagen einleiten
- oder in schwache Vorfluter einleiten.

Durch diese Maßnahmen kann eine wesentliche Verringerung der Spurenstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Zusätzlich können durch den Betrieb dieser Anlagen zur Spurenstoffelimination weitere

Kenntnisse zum Bau und Betrieb sowie zur Finanzierung gesammelt werden. Mögliche Finanzierungsmodelle für Kläranlagen, die vorrangig eine Spurenstoffelimination durchführen sollten, werden z.B. im sog. „Leipziger Modell“ vorgestellt (10).

Auf die Kläranlage Hopsten trifft lediglich zu, dass sie in einen schwachen Vorfluter einleitet. Für den Betreiber der Kläranlage Hopsten wäre es 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 bei Bedarf eine effektive und zuverlässige Verfahrenstechnik am Standort auszuwählen und umzusetzen. Vorteilhaft wäre auch, wenn die weiteren Entwicklungen bei alternativen Verfahren abgewartet werden können. Zu nennen ist hier das Verfahren der Ferrat-Dosierung, das auf Kläranlagen auch für die P-Fällung sinnvoll sein könnte.

Auch wurden von der Bezirksregierung Münster für die kommenden Jahre regelmäßige Spurenstoffuntersuchungen in den Vorflutern oberhalb und unterhalb der Einleitstellen der Kläranlagen initiiert. Es ist zu erwarten, dass auf der Grundlage dieser Daten in den kommenden Jahren fundierte Kenntnisse vorliegen, auf welchen Kläranlagen die Einführung einer 4. Reinigungsstufe vorrangig erfolgen sollte.

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.

Anhand der durchgeführten Kostenbetrachtung kann festgehalten werden, dass alle untersuchten Varianten im Hinblick auf die zu erwartenden Betriebskosten in etwa in der gleichen Größenordnung liegen, so dass vor dem Hintergrund der vorstehend beschriebenen Unsicherheiten und Entwicklungspotenziale der Verfahren zum jetzigen Zeitpunkt kein Verfahren favorisiert werden sollte.

Vielmehr sollte die weitere Entwicklung beobachtet werden, um zu einem späteren Zeitpunkt nach Klärung der rechtlichen Randbedingungen die optimale Variante für die Kläranlage Hopsten auswählen zu können.