

Gemeinde Hopsten



Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

ABSCHLUSSBERICHT

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

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Einleitung und Veranlassung | 11 |
| 1.1 | Allgemeines | 11 |
| 1.2 | Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzliche Rahmenbedingungen | 14 |
| 1.2.1 | Umweltqualitätsnormen (UQN)..... | 15 |
| 1.2.2 | Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW) | 16 |
| 1.2.3 | PNEC (predicted no-effect concentration)..... | 16 |
| 2 | Ermittlung der Grundlagendaten | 18 |
| 2.1 | Beschreibung der Kläranlage Hopsten..... | 18 |
| 2.2 | Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik | 19 |
| 2.3 | Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Hopsten | 21 |
| 2.3.1 | Einzugsgebiet der Kläranlage Hopsten | 21 |
| 2.3.2 | Qualität des Vorfluters | 21 |
| 2.3.3 | Zustand der Grundwasserkörper..... | 24 |
| 2.3.4 | Landwirtschaft..... | 24 |
| 2.3.5 | Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet..... | 26 |
| 3 | Verfahren zur Spurenstoffelimination | 28 |
| 3.1 | Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle..... | 29 |
| 3.1.1 | Grundlagen der Adsorption | 29 |
| 3.1.2 | Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen | 32 |
| 3.1.3 | Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen | 34 |
| 3.1.4 | Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen | 38 |
| 3.2 | Oxidative Verfahren | 39 |
| 3.2.1 | Grundlagen der Oxidation..... | 39 |
| 3.2.2 | Einsatz von Ozon auf Kläranlagen | 41 |
| 3.3 | Membranverfahren | 42 |
| 3.3.1 | Grundlagen der Membrantechnik..... | 42 |
| 3.3.2 | Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen..... | 46 |
| 3.4 | Sonstige Verfahren | 47 |
| 3.4.1 | AOP Advanced Oxidation Processes | 47 |
| 3.4.2 | Weitere Verfahren..... | 47 |
| 3.5 | Photolyse | 48 |
| 3.6 | Ultraschall | 49 |
| 3.7 | Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen..... | 49 |
| 3.7.1 | Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen | 50 |
| 4 | Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Hopsten | 52 |
| 4.1 | Tagesabwassermengen | 52 |
| 4.2 | Belebung..... | 53 |
| 4.3 | Ablauf der Nachklärung | 54 |
| 4.4 | Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe | 57 |
| 4.5 | Bisherige Untersuchungen durch den Betreiber der Kläranlage | 58 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5.1 | Untersuchungen des Vorfluters | 58 |
| 4.5.2 | Untersuchungen des Kläranlagenablaufs..... | 59 |
| 4.6 | Vorliegende Untersuchungen auf Spurenstoffe | 59 |
| 4.7 | Beschreibung und Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf der KA Hopsten | 60 |
| 5 | Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Hopsten..... | 65 |
| 5.1 | Vorauswahl der Behandlungsverfahren | 65 |
| 5.2 | Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe..... | 67 |
| 5.3 | Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe | 69 |
| 5.4 | Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte..... | 70 |
| 5.4.1 | Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand | 70 |
| 5.4.2 | Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung | 70 |
| 5.4.3 | Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken..... | 73 |
| 5.4.4 | Variante 3: Ozonbehandlung | 77 |
| 5.4.5 | Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)..... | 83 |
| 5.4.6 | Auslegung der Flockungsfiltration | 86 |
| 6 | Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte | 88 |
| 6.1 | Investitionen..... | 88 |
| 6.2 | Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten | 89 |
| 6.3 | Jahreskosten | 91 |
| 6.4 | Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation..... | 92 |
| 6.5 | Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hopsten | 93 |
| 7 | Anhang A - Untersuchungsergebnisse | 97 |
| 7.1 | Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Mai 2013 | 97 |
| 7.2 | Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Juli 2014 | 98 |
| 7.3 | Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Dezember 2014..... | 99 |
| 7.4 | Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Juli 2015..... | 100 |
| 7.5 | PERLODES-Untersuchung 2014 | 101 |
| 7.6 | Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juni 2013 | 106 |
| 7.7 | Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juli 2014 | 107 |
| 7.8 | Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Dezember 2014 | 108 |
| 7.9 | Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juli 2015 | 109 |
| 7.10 | Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 1. Probenahme | 110 |
| 7.11 | Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 2. Probenahme | 120 |
| 8 | Anhang B – Investitionen..... | 126 |
| 8.1 | Investitionen Variante 1 | 126 |
| 8.2 | Investitionen Variante 2 | 127 |
| 8.3 | Investitionen Variante 3 | 128 |
| 8.4 | Investitionen Variante 4 | 129 |
| 8.5 | Energiebedarf | 131 |
| 8.6 | Betriebskosten | 133 |
| 8.7 | Jahreskosten | 134 |
| 8.7.1 | Varianten 1 (PAK in die Belebung) und 2 (PAK in Kontaktbecken) | 134 |
| 8.7.2 | Varianten 3 (Ozon) + 4 (GAK-Filtration) | 137 |

| | | |
|----------|--------------------------------------------------|------------|
| 9 | Anhang C – Pläne | 140 |
| 9.1 | Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) | 140 |
| 9.2 | Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)..... | 140 |
| 9.3 | Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration) | 140 |

Abkürzungsverzeichnis:

| | |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ACP | Allgemeine chemisch physikalische Parameter |
| AOX | Halogenierte organische Verbindungen |
| ARA | Abwasserreinigungsanlage, Kläranlage |
| Bafu | Bundesamt für Umwelt, Bern (Schweiz) |
| BVT | Bed volume treated |
| DEHP | Bis(2-ethylhexyl)phthalat (Weichmacher) |
| DOC | gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon) |
| Eawag | Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz |
| EBCT | Empty bed contact time |
| ELWAS | E lektronisches W asserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW |
| GAK oder GAC | granulierte Aktivkohle |
| GOW | Gesundheitlicher Orientierungswert |
| MKULNV | Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW |
| MNQ | Mittlerer Niedrigwasserabfluss |
| MQ | Mittlerer Abfluss |
| OGewV | Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer |
| PAK | Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe |
| PAK oder PAC | Pulveraktivkohle |
| PNEC | Predicted no efficient concentration |
| Q | Wassermenge in m ³ /d, m ³ /h |
| REACH-Verordnung | Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals |
| UQN | Umweltqualitätsnorm |
| WRRL | Wasserrahmenrichtlinie |

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. **Christian Götz, Juliane Hollender, Robert Kase.** *Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU.* Dübendorf : Eawag, 2010.
4. **Bayerisches Landesamt für Umwelt.** [Online] [Zitat vom: 01. 07 2016.] https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/anzneimittelwirkstoffe/faq/index.htm.
5. **Ina Ebert, Sabine Konradi, Arne Hein, Riccardo Amato.** *Arzneimittel in der Umwelt - vermeiden, reduzieren, überwachen.* s.l. : Umweltbundesamt, 2014.
6. *Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen.* **Ternes, T.** Wasser Berlin : s.n., 2006.
7. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge.* 2015.
8. **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.
9. **BIO Intelligence Service.** *Study on the environmental risks of medicinal products, Final report prepared for Executive Agency for Health and Consumers.* 2013.
10. **Umweltbundesamt.** REACH - Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals. *Informationsportal.* [Online] [Zitat vom: 18. September 2015.] <http://www.reach-info.de/>.
11. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
12. **Wikipedia.** [Online] [Zitat vom: 04. Januar 2016.] <https://de.wikipedia.org/wiki/Hopsten>.
13. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.** 2 Abwasserbeseitigung - Voraussetzung für ökologisch intakte Gewässer . *Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen .* 2012.
14. **Schleswig-Holstein - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume.** *Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein.*

15. **Wasserblick/BfG, Berichtportal. Zitiert nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.** [Online] [Zitat vom: 21. September 2015.] <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/fluesse-und-seen/zustand-der-oberflaechengewasser/>.
16. **Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).** *Obere Ems Ergebnisbericht - Wasserrahmenrichtlinie - Bestandsaufnahme.* 2005.
17. **Rüb, Bernhard (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pressestelle).** Landwirtschaftszählung NRW 2010: Tierbestände und Anbauflächen [E-Mail]. 07. Oktober 2015.
18. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Reaktiver Stickstoff in Deutschland - Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen.* 2014.
19. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.** *Überblick über die wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen in Nordrhein-Westfalen - Information der Öffentlichkeit gemäß § 36 WHG und Art. 14, Abs. 1 (b) der EG-Wasserrahmenrichtlinie.* 2013.
20. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
21. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.* 2015.
22. **Marc Böhler, Ben Zwickenpflug, Mariangela Grassi, Markus Behl, Silvio Neuenschwander, Hansruedi Siegrist, Falk Dorusch, Juliane Hollender, Brian Sinnet, Thomas Ternes, Guido Fink, Christoph Liebi, Walter Wullschläger.** *Abschlussbericht - Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon (ergänzende Untersuchungen zum Projekt Strategie MicroPoll).* Dübendorf : s.n., 2011.
23. **C. Bornemann, M. Hachenberg, S. Yüce, J. Herr, P. Jagemann, S. Lyko, F. Benstöm, D. Montag, C. Platz, M. Wett, N. Biebersdorf, J.M. Kaub, G. Kolisch, T. Osthoff, Y. Taudien, T. Rolfs, H. Stepkes.** *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROFlock).* 2012.
24. **M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhausser, L. Salhi, U. von Gunten, C. Mc Ardell, P. Longrée, B. Beck, H. Siegrist.** *Berichterstattung - Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut.* Bern : Bafu, 2013.

25. **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.
26. **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.
27. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen .** Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D / Anlage 4. *flussgebiete.nrw.de*. [Online] [Zitat vom: 30. August 2016.] http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4.
28. **Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer.** *Studie - Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp*. 2013.
29. **Tobias Nöthe, Hans Fahlenkamp, Clemens von Sonntag, Alfred Golloch, Thomas Ries, Christoph B. Hannich.** *Einsatz und Wirkungsweise oxidativer Verfahren zur Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen, Teil 2a - Versuche zur Elimination relevanter Spurenschadstoffe*. 2005.
30. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** *Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen*. 2012.
31. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon*. Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
32. **Rita Triebkorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser et al.** SchussenAktiv - Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft*. 2013, Bd. 6, 8.
33. **Hollender, Juliane.** *Kontinuierliche Entfernung von Spurenstoffen aus Abwasser mit Ozon: Vorstellung einer Pilotstudie und Auswahl biologischer und chemischer Methoden zur Beurteilung der Eliminationseffizienz*. Vortrag beim Infotag Eawag : s.n., 2009.
34. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch*. [Vortrag] Wetzikon : s.n., 2013.
35. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** *Schlussbericht - Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen*. Dresden/Oppin : s.n., 2012.

36. **G. Kolisch, Y. Taudien, C. Bornemann.** Potential der Spurenstoffelimination mit Pulver- und Kornaktivkohle in bestehenden Filteranlagen. *Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum, 32. Bochumer Workshop.* 2014, Bd. 67.
37. **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.
38. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.
39. **Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.
40. **C. Bornemann, M. Hachenberg, S. Yüce, J. Herr, P. Jagemann, S. Lyko, F. Benstöm, D. Montag, C. Platz, M. Wett, N. Biebersdorf, J.M. Kaub, G. Kolisch, T. Osthoff, Y. Taudien, T. Rolfs, H. Stepkes.** *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROFlock).* 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 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.

Die Mikroschadstoffe bzw. Spurenstoffe können dabei über verschiedene Eintragungspfade in die Umwelt bzw. ins Gewässer gelangen. Eintragungspfade ins Gewässer sind exemplarisch in der folgenden Abbildung 1-1 gezeigt.

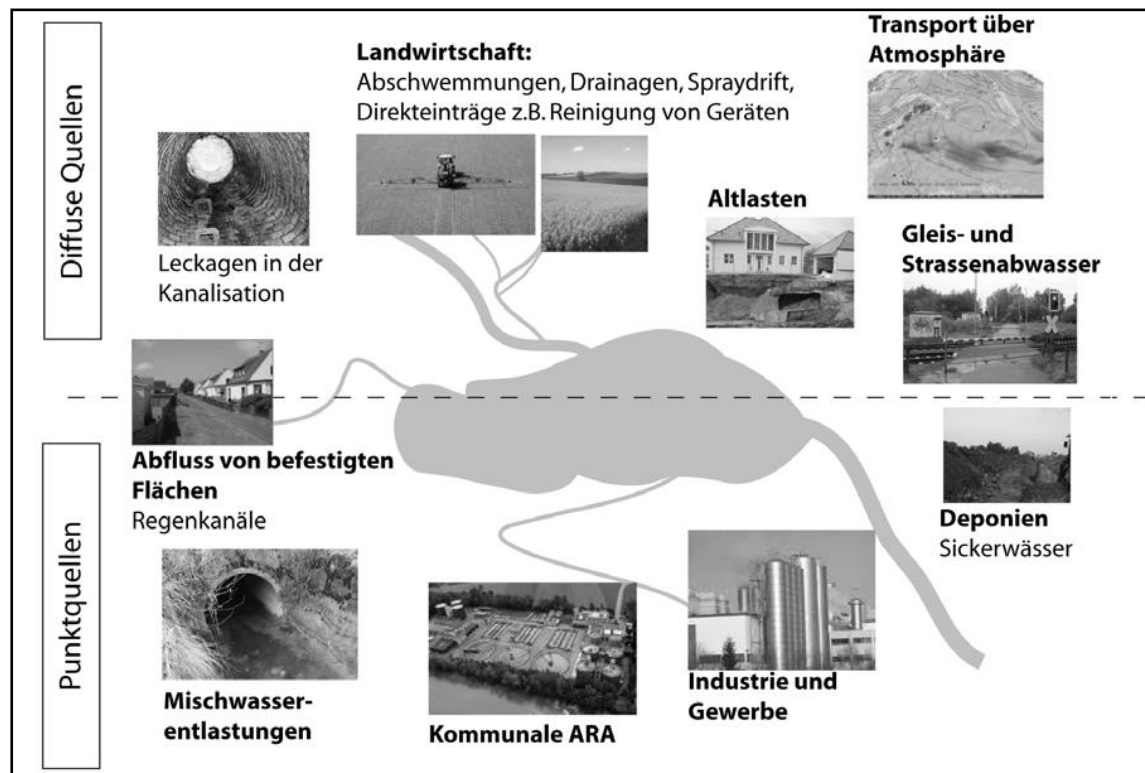


Abbildung 1-1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern (3)

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, als auch um punktuelle Eintragsquellen. Kommunale Kläranlagen gehören neben der Industrie zu den nennenswerten punktuellen Eintragsquellen.

In Deutschland wurden im Jahr 2012 mehr als 30.000 Tonnen Humanarzneimittelwirkstoffe verbraucht, wovon etwa 8.120 Tonnen auf umweltrelevante Arzneimittelwirkstoffe entfallen (4). Bei den am häufigsten verschriebenen Humanarzneimitteln handelt es sich um Entzündungshemmer, Asthmamittel und Psychotherapeutika (5). In der Veterinärmedizin werden hauptsächlich Antibiotika und Antiparasitika eingesetzt. Jährlich werden in der Nutztierhaltung mehr als 1.600 Tonnen allein an antibiotischen Wirkstoffen verbraucht (5). Die Eintragswege der vorgenannten Arzneimittel in Gewässer skizziert Abbildung 1-2. (5)

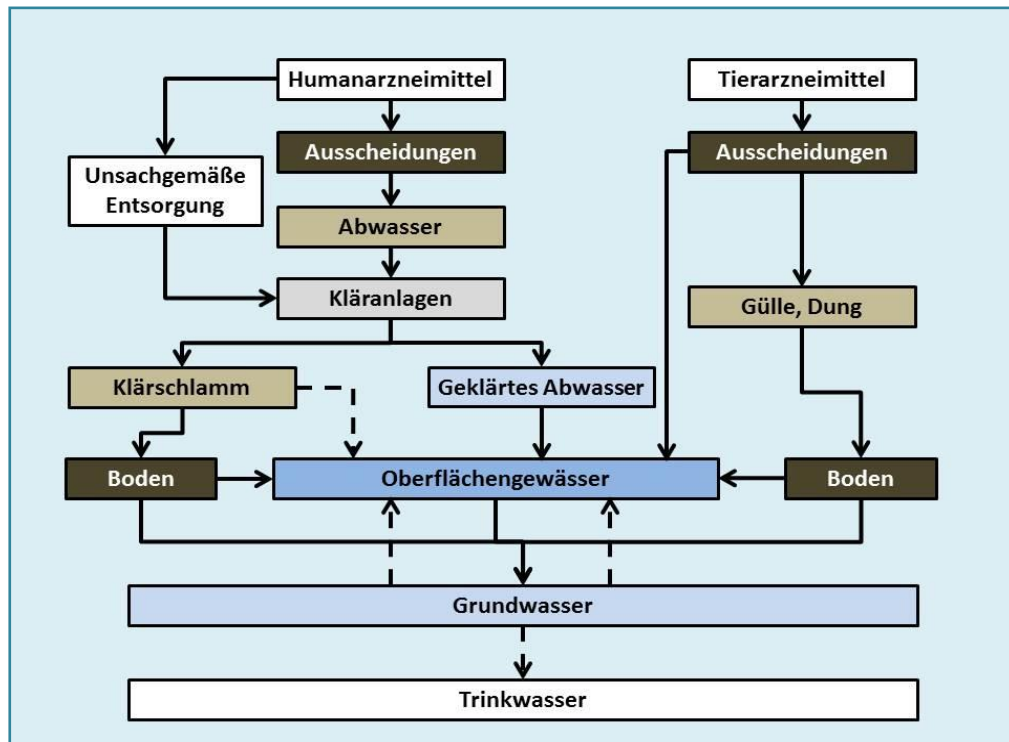


Abbildung 1-2: Haupteintragswege für Human- und Tierarzneimittel (nach (5))

Für viele in Oberflächengewässern nachgewiesene Spurenstoffe konnten Kläranlagenabläufe als Eintragsquelle identifiziert werden. (6) 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. (7)

Darüber hinaus ist das kommunale Abwassersystem für eine Vielzahl anderer, bislang nicht europaweit geregelter Stoffe wie beispielsweise Arzneimittel der Haupteintragspfad. (7)

Mit fast 18 Millionen Einwohnern ist Nordrhein-Westfalen (NRW) das bevölkerungsreichste Bundesland. Durch die hohe Besiedlungsdichte, vor allem in den industriellen Ballungsgebieten wie dem Ruhrgebiet, ist der Druck auf die Gewässer durch die Abwassereinleitung und die Wassernutzung sehr hoch. Aufgrund der hohen Abwasserbelastung der nordrhein-westfälischen Fließgewässer ist auch die Problematik der Mikroschadstoffe in NRW besonders relevant. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW wurde eine Studie („Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale in Nordrhein-Westfalen“ (8)) durchgeführt, die den Eintrag von Mikroschadstoffen aus kommunalem Abwasser in die Gewässer in NRW untersucht. Den Ergebnissen zufolge müssten eine Vielzahl von Kläranlagen mit einer weitergehenden Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroschadstoffen ausgerüstet werden. Im Hinblick

auf die Gesamtfracht der eingeleiteten Mikroschadstoffe können jedoch durch Maßnahmen auf den wenigen großen Kläranlagen (> 100.000 angeschlossene Einwohner) wesentliche Reduktionen erreicht werden. Darüber hinaus zeigen Szenarien, die auf den Trinkwasserschutz abzielen, dass eine Entlastung der Fließgewässer erreicht wird, wenn die oberhalb der Trinkwassergewinnung liegenden Kläranlagen Maßnahmen ergreifen würden (3).

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 **Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzliche Rahmenbedingungen**

Mikroschadstoffe umfassen eine Vielzahl unterschiedlicher Substanzen, die über verschiedene Wege in die Umwelt und die Gewässer gelangen. Im Hinblick auf eine Reduktion des Mikroschadstoffeintrags stehen prinzipiell verschiedene Handlungsoptionen zur Verfügung. So kann durch Maßnahmen an der Eintragsquelle, durch Anwendungsbeschränkungen und durch Verbote eine Eintragsvermeidung erfolgen.

Die Forderung, das Verursacherprinzip stärker zur Anwendung zu bringen und die Stoffeinträge an ihrer Quelle zu reduzieren, erweist sich allerdings in vielen Gebieten als nicht umsetzbar. Für alle stoffrechtlichen Maßnahmen zur Beschränkung oder zu Verboten der Verwendung ist das europäische Stoffrecht gültig. Häufig werden nur besonders wichtige Anwendungen beschränkt und es verbleiben Einträge aus kleineren, nicht beschränkten und auch nicht substituierbaren Anwendungen. Zusätzlich betreffen die Regelungen nur die Herstellung, Vermarktung und Anwendung, weshalb die Emissionen während der Nutzung – etwa bei Baumaterialien – teilweise mehrere Jahrzehnte betragen können, darüber hinaus bleibt auch die Entsorgung der Reststoffe unberücksichtigt. Neue Humanarzneimittel werden in den entsprechenden europäischen Zulassungsverfahren bislang zwar im Hinblick auf Umweltrelevanz bewertet, Anwendungsverbote oder -einschränkungen erfolgen jedoch nicht bei nachgewiesener Umweltrelevanz. Zusammengefasst bedeutet dies, dass der Eintrag an Mikroschadstoffen allein durch Vermeidungsstrategien nicht gänzlich reduziert werden kann. (7)

Für eine Vielzahl von Stoffen (wie z.B. Arzneimittel, Pflegeprodukte, Haushaltschemikalien) wird das kommunale Abwassersystem auch zukünftig der Haupteintragspfad sein. Zurzeit sind jedoch noch keine konkreten Grenzwerte für die Einleitung von Mikroschadstoffen aus Kläranlagenabläufen festgelegt.

Die rechtliche Grundlage für den Schutz unserer Gewässer ist die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), ihre Tochterrichtlinie über prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und die nationale Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV). Die OGewV regelt die Einstufung und Überwachung des ökologischen und des chemischen Zustands von Gewässern. (5)

Auf der europäischen Ebene wird allerdings über Maßnahmen zur Reduktion von Arzneimittelrückständen in Gewässern, und damit über einen bedeutenden Teil der Mikroverunreinigungen, nachgedacht. Mit der Novellierung der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20.06.2016 wurde die europäische Richtlinie 2013/39/EU in deutsches Recht überführt. In der neuen OGewV wurden die Vorgaben bzgl. des Gewässerzustands aktualisiert und vereinheitlicht, so wurden die UQN überarbeitet, die Anforderungen an den guten Gewässerzustand europaweit vereinheitlicht sowie neue Vorgaben für Stickstoffverbindungen in Gewässern festgelegt.

Als strategischer Ansatz zur Verhinderung der Verschmutzung von Wasser und Boden durch pharmazeutische Wirkstoffe wurde eine Studie (9) erstellt, in der die folgenden Ansätze zur Reduzierung des Spurenstoffeintrags in Gewässer festgelegt wurden:

- 1) Vermeidung (z.B. durch sog. „green medicinal products“ und korrekte Entsorgung)
- 2) Minimierung (z.B. durch kleinere/angepasste Packungsgrößen)
- 3) Technische Maßnahmen (z.B. 4. Reinigungsstufe)

Ergänzend zur OGewV können zur Bewertung bzw. Einordnung von Mikroschadstoffkonzentrationen in Kläranlagenabläufen Grenz- und Leitwerte aus anderen Bereichen wie dem Trinkwasser- und Gewässerschutz herangezogen werden.

1.2.1 Umweltqualitätsnormen (UQN)

Zur Begrenzung und Bewertung von Umweltrisiken werden in Europa für problematische Stoffe und damit auch für Mikroverunreinigungen Umweltqualitätsnormen (UQN) abgeleitet und rechtlich festgelegt. Die Umweltqualitätsnorm (UQN) gibt dabei die Konzentration eines bestimmten Schadstoffs oder einer bestimmten Schadstoffgruppe an, die in Wasser, Sedimenten oder Biota aus Gründen des Gesundheitsschutzes und Umweltschutzes nicht überschritten werden darf.

Für Stoffe von europaweitem Vorkommen und Gewässerrisiko, die sogenannten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe im Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), sind im Jahre 2008 europaweit Umweltqualitätsnormen festgelegt worden, die den „guten chemischen Zustand“ für Oberflächengewässer definieren. Im August 2013 wurde diese Stoffliste fortgeschrieben und um zwölf Stoffe erweitert und umfasst nun insgesamt 45 Stoffe. Für Stoffe, die aufgrund ihrer Stoffeigenschaften als prioritär gefährlicher Stoff identifiziert sind, sind Gewässereinträge dabei künftig grundsätzlich einzustellen (Phasing-Out Verpflichtung). (7)

Neben den europaweit geregelten Stoffen zur Festlegung des „guten chemischen Zustands“ sind von den EU-Mitgliedstaaten für weitere sogenannte flussgebietspezifische Stoffe nationale Umweltqualitätsnormen rechtlich festzulegen, um den „guten ökologischen Zustand“ der Oberflächengewässer zu definieren. Die Liste der in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) aus dem Jahre 2016 enthaltenen Umweltqualitätsnormen für derartige flussgebietspezifische Stoffe wurde im Vergleich zur Version von 2011 deutlich gekürzt und umfasst jetzt 67 Stoffe (vorher 162). Es handelt sich um Schwermetalle und organische Mikroverunreinigungen.

Die Konzentrationen einer Reihe von Mikroverunreinigungen überschreiten die festgelegten Umweltqualitätsnormen für deutsche Oberflächengewässer. Für diese Mikroverunreinigungen sind in der Folge die Eintragsquellen zu ermitteln und die Einträge zu vermindern (7).

Für eine Mehrzahl der heute relevanten anthropogenen Mikroschadstoffe wie z.B. Arzneimittel werden in der Oberflächenwasserverordnung (OGewV) jedoch keine einzuhaltenden Gewässerkonzentrationen festgelegt. Im Wesentlichen werden EU-weite Vorgaben umgesetzt, die vielfach heute in Deutschland nicht mehr relevante Chemikalien betreffen (2).

1.2.2 Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)

Für Einzugsgebiete von Trinkwassergewinnungsanlagen hat das Umwelt Bundesamt (UBA) für die Bewertung einer Reihe von anthropogenen Mikroschadstoffen gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) vorgeschlagen (u.a. für die Stoffe Diclofenac, Benzotriazol, Iopamidol). Die Gesundheitlichen Orientierungswerte zielen darauf ab, dass ein zuverlässiger Schutz der Verbraucher bei lebenslangem Genuss des Trinkwassers gegeben ist.

Die Expertenkommission Programm „Reine Ruhr“ und das MKULNV NRW haben auf der Grundlage des GOW-Konzeptes des Umweltbundesamtes (Ableitung von gesundheitlichen Orientierungs- und Leitwerten) einen Vorschlag erarbeitet, der eine Bewertung von anthropogenen Stoffen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen beinhaltet. „Daraus kann als allgemeines und langfristiges Mindestqualitätsziel unter dem Aspekt des vorsorgeorientierten und generationsübergreifenden Gewässer- und Trinkwasserschutzes grundsätzlich für organische Schadstoffe die Einhaltung bzw. Unterschreitung eines allgemeinen Vorsorgewertes (VW) in Höhe von $< 0,1 \mu\text{g/l}$ in allen Oberflächengewässern und Grundwasserkörpern, aus denen direkt oder indirekt Trinkwasser gewonnen wird oder werden soll, abgeleitet werden“ (2).

Bei Überschreitung des allgemeinen Vorsorgewertes für Gewässer, Rohwasser und Trinkwasserressourcen erfolgt in Nordrhein-Westfalen, auch ohne dass dies derzeit in der Bundesverordnung festgelegt ist, eine Bewertung des Stoffes und ggf. die Erarbeitung eines Vorsorgekonzeptes.

1.2.3 PNEC (predicted no-effect concentration)

PNEC ist die vorausgesagte auswirkungslose Konzentration eines bedenklichen Stoffes in der Umwelt, unterhalb dieser schädliche Auswirkungen auf den betreffenden Umweltbereich nicht zu erwarten sind. Sie sind keine rechtsverbindlichen Grenzwerte.

Im Rahmen der Registrierung von Stoffen gemäß REACH-Verordnung (Europäische Chemikalienverordnung REACH „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“), für die ein Stoffsicherheitsbericht erstellt wird, muss der PNEC bestimmt werden. Im UBA-Informationportal wird die Vorgehensweise wie folgt beschrieben: „Gemäß REACH müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender ihre Chemikalien registrieren und sind für deren sichere Verwendung selbst verantwortlich. Die Registrierungsunterlagen werden von den Behörden allerdings nur stichprobenartig inhaltlich überprüft. Ausgewählte Stoffe werden von den Behörden bewertet und ggf. einer Regelung zugeführt. Besonders

besorgniserregende Stoffe kommen in das Zulassungsverfahren. Als weitere Regulierungsmöglichkeit sieht REACH das Instrument der Beschränkung vor. Schließlich enthält REACH Bestimmungen zur Informationsweitergabe in der Lieferkette und Auskunftsrechte für Verbraucher“ (10).

2 Ermittlung der Grundlagendaten

2.1 Beschreibung der 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 (11).

Die Auslegungswerte für die erweiterte Kläranlage Hopsten betragen nach dem Genehmigungsentwurf des Ingenieurbüros Frilling vom 13.06.2000:

- Ausbaugröße 12.500 EW₆₀
- Tagesabwassermenge (Q_{T,d}) 2.466 m³/d
- Trockenwetterzufluss (Q_{T,h}) 190,4 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 281,8 m³/h

Die Ausbaugröße 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). Dabei lag die Anzahl der angeschlossenen kommunalen Einwohner im betrachteten Zeitraum fast konstant bei etwa 5.100 E. Die Schwankungen in den EW wurden durch die schwankende Anzahl der angeschlossenen industriellen Einwohnergleichwerte (EGW) verursacht. (11)

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 2-1.

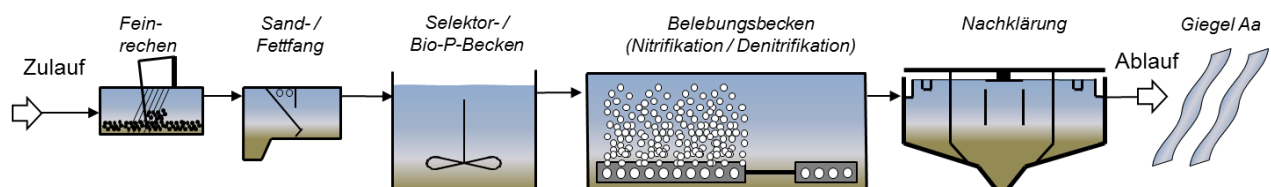


Abbildung 2-1: Vereinfachtes Fließbild KA Hopsten

Für den Ablauf der Kläranlage Hopsten gelten die folgenden Überwachungswerte (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Überwachungswerte im Ablauf der KA Hopsten

| Parameter | Einheit | Überwachungswert |
|------------------------------------|---------|------------------|
| CSB ³⁾ | mg/l | 56 |
| BSB ₅ | mg/l | 10 |
| N _{ges.} ^{1) 2)} | mg/l | 18 |
| NH ₄ -N ²⁾ | mg/l | 4 |
| P _{ges.} | mg/l | 1 |

¹⁾ N_{ges.} als Summe von NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N

²⁾ bei T ≥ 12 °C

³⁾ gilt als eingehalten, wenn 4*TOC diesen Wert nicht überschreitet

2.2 Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik

Die Kläranlage Hopsten verfügt in ihrem gegenwärtigen Ausbauzustand über folgende Bauwerke:

- Abwasserreinigung
 - Hauptpumpwerk mit Druckrohrleitung (3 Kreiselpumpen in Trockenaufstellung)
 - Zulaufmengenmessung (MID DN 250)
 - Feinrechenanlage mit Rechengutpresse (Filterstufenrechen mit 3 mm Spaltweite)
 - Belüfteter Sand- und Fettfang mit Sandklassierer (A = 12,50 m²; V = 31,10 m³)
 - Selektorbecken (V = 49 m³)
 - Bio-P-Becken (V = 169 m³)
 - Denitrifikationsbecken (V = 1.120 m³)
 - Nitrifikationsbecken I mit Druckbelüftung (V = 2.150 m³)
 - Nitrifikationsbecken II mit Druckbelüftung (V = 1.065 m³)
 - Nachklärbecken mit Saugräumtechnik (D = 20,00 m; t_w = 3,70 m; V = 1.095 m³)
 - Rücklaufschlammförderschnecken (2 x 100 - 170 m³/h)
 - Ablaufmengenmessanlage (MID DN 250)
 - Nachreinigungsteich (V = 1.800 m³)

- Schlammbehandlungsanlagen
 - Maschinelle Überschussschlammeindickung (Q = 20 m³/h)
 - Schlammbehälter mit Trübwasserabsaugung (V = 2.000 m³)
 - Trübwasserpumpwerk (Q = 20 m³/h)
 - Zentratwasserbehälter (V = 1.000 m³)
 - Fäkalschlammmanlieferstation

- Sonstige Bauwerke / Anlagenteile
 - Pumpwerksgebäude auf der Altanlage
 - Rechengebäude mit Containerstation
 - Betriebsgebäude mit Sozialräumen, Gebläsestation und EMSR-Technik
 - Maschinenhaus mit Gebläsestation
 - Fällmittelstation mit Einhausung
 - Brauchwasserpumpwerk

Ein Übersichtsplan der Kläranlage Hopsten ist in Abbildung 2-2 gezeigt.

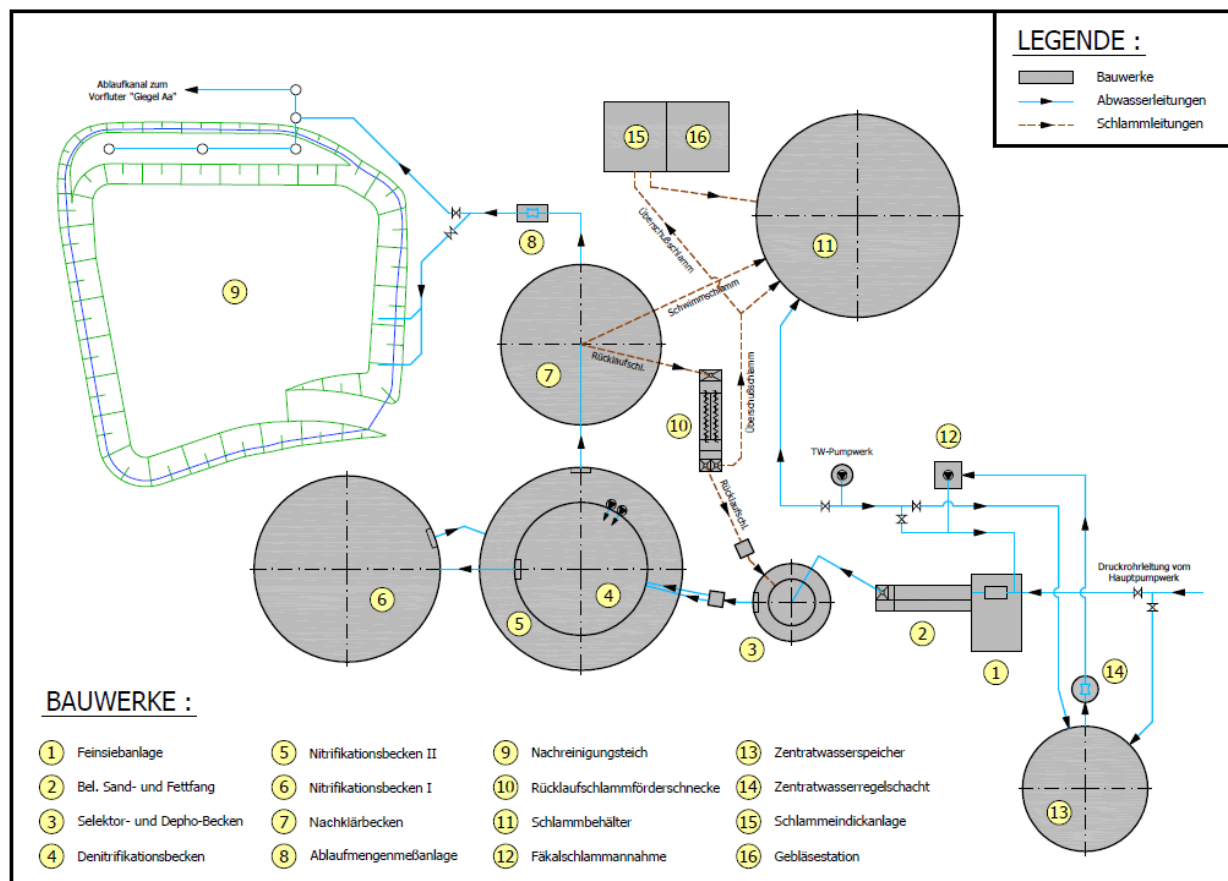


Abbildung 2-2: Übersichtsplan der KA Hopsten

Das Abwasser passiert zunächst die Feinrechenanlage mit einer Spaltweite von 3 mm. Dabei erfolgt eine weitestgehende Abtrennung von Feinststoffen aus dem Abwasser. Im belüfteten Sand- und Fettfang werden die mineralischen Bestandteile des Abwassers durch Sedimentation und die Schwimmstoffe durch Flotation abgeschieden.

Im Bio-P-Becken wird unter anaeroben Bedingungen die biologische Reduktion der Phosphorbelastung erreicht. Daneben wird eine Fällung des restlichen Phosphors durchgeführt. Zur Verbesserung der Schlammabsetzeigenschaften und zur Unterdrückung von Blähschlamm und Fadenbakterien ist dem Bio-P-Becken ein Selektorbecken vorgeschaltet. In der nachfolgenden Belebung wird die Stickstoffelimination durch eine vorgeschaltete Denitrifikation mit anschließender Nitrifikation durchgeführt. Die Abtrennung des Belebtschlammes erfolgt in einem Nachklärbecken (Rundbecken).

Der anfallende Klärschlamm wird entweder maschinell eingedickt und landwirtschaftlich verwertet oder über eine mobile Schlammwässerung eingedickt und thermisch bzw. landbaulich verwertet.

2.3 Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Hopsten

Die Gemeinde Hopsten liegt im Norden von Nordrhein-Westfalen, ca. 50 km nördlich von Münster. Sie gehört zum Kreis Steinfurt und zum Regierungsbezirk Münster. In Hopsten leben etwa 7.550 Einwohner auf einer Fläche von knapp 100 km² (12). Die Umgebung um die Gemeinde Hopsten ist stark landwirtschaftlich geprägt.

2.3.1 Einzugsgebiet der Kläranlage Hopsten

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.

2.3.2 Qualität des Vorfluters

Die Kläranlage Hopsten leitet in die Giegel Aa ein. Der Zustand der Giegel Aa wurde bei Untersuchungen des Landes Nordrhein-Westfalen (OFWK, 2. Zyklus, 2009 – 2011) sowohl ober- als auch unterhalb der Kläranlage Hopsten als „nicht gut“ beurteilt (Abbildung 2-3). Einige Stoffe, die sogenannten ubiquitären Stoffe, sind in geringen Konzentrationen europaweit in der Umwelt vorhanden. Im Hinblick auf diese Stoffe (zum Beispiel Nitrat und Quecksilber) bestehen u.E. keine realistischen Möglichkeiten auf ein Erreichen der für den guten Gewässerzustand festgelegten Umweltziele.



Abbildung 2-3: Chemischer Zustand der Giegel Aa in der Umgebung der Kläranlage Hopsten (11)

Betrachtet man den chemischen Zustand der Giegel Aa, ohne die ubiquitären Stoffe zu berücksichtigen, so kann der Zustand mit „gut“ bewertet werden (Abbildung 2-4).



Abbildung 2-4: Chemischer Zustand der Giegel Aa ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (11)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand der Giegel Aa ist „unbefriedigend“. Dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Kläranlage Hopsten (Abbildung 2-5).



Abbildung 2-5: Ökologischer Zustand der Giegel Aa in der Umgebung der Kläranlage Hopsten (11)

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.

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (siehe Abbildung 2-6). Hierbei zeigte sich, dass der ökologische Zustand der meisten Gewässer in Deutschland schlecht, unbefriedigend oder mäßig ($\approx 90\%$) ist. Im Gegensatz dazu ist der chemische Zustand vieler Gewässer ($\approx 90\%$) in Deutschland gut, wenn man von den überall in Europa vorhandenen Schadstoffen, den sogenannten ubiquitären Schadstoffen wie Quecksilber (13), PCB oder Nitrat (14), absieht.

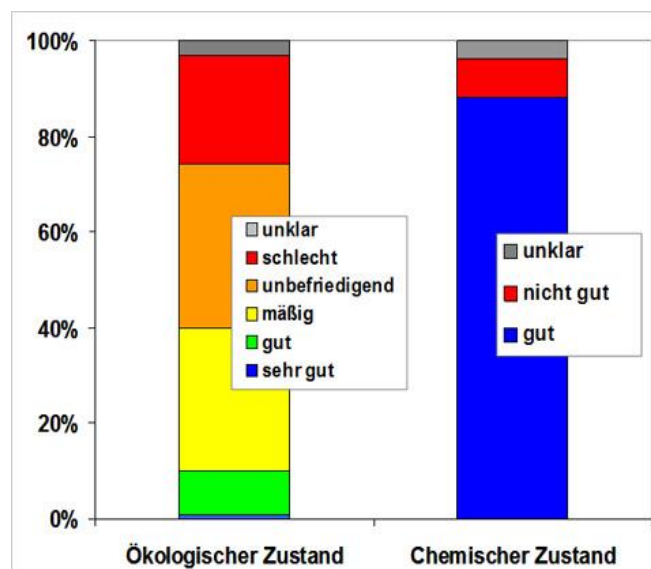


Abbildung 2-6: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (15))

Da keine Pegelmessungen in der Giegel Aa ober- und unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Hopsten verfügbar sind, ist eine genaue Aussage über die Wassermenge der Giegel Aa an der Einleitstelle und damit über den Anteil des Abwassers der Kläranlage am Vorfluter nicht möglich.

Laut Ergebnisbericht Obere Ems gehört die Kläranlage Hopsten jedoch zu den Anlagen, die Einleitungen größer als 1/3 MNQ des Vorfluters aufweisen (16). Hier wird ein Verhältnis Einleitungsmenge / MNQ von 531 % genannt, bei einer Einleitmenge von 12 l/s und einem MNQ der Giegel Aa von 2 l/s.

2.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Die Kläranlage Hopsten liegt im Gebiet des Grundwasserkörpers 3_03 „Plantlünner Sandebene (Ost)“. Die Gesamtgröße des Gebiets beträgt 606,94 km², davon liegen 182,67 km² in NRW. Die zuständige Behörde ist die Bezirksregierung Münster. (11)

Im Gebiet des Grundwasserkörpers 3_03 sind die empfohlenen Höchstkonzentrationen für die Stoffe Nitrat, Ammonium und Cadmium überschritten worden. Bei allen drei Stoffen handelt es sich um signifikante Belastungen des Grundwassers, wodurch das Gesamturteil „schlecht“ begründet wird. (11)

2.3.4 Landwirtschaft

Die Gemeinde Hopsten und ihre Umgebung sind, wie weite Teile des Münsterlandes, eher landwirtschaftlich geprägt. Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt sowohl durch Tierhaltung als auch durch Ackerbau. Mit Stand 2010 gibt es in der Gemeinde Hopsten 250 Bestände mit insgesamt 90.142 Tieren (Tabelle 2-2) (17). Dies lässt auf eine intensive Tierhaltung in der Gemeinde Hopsten schließen.

Tabelle 2-2: Tierbestände in der Gemeinde Hopsten (nach (17))

| Tierbestände Gemeinde Hopsten | | |
|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|
| <i>Tierart</i> | <i>Bestände [Stk.]</i> | <i>Anzahl Tiere [Stk.]</i> |
| Rinder | 110 | 9.752 |
| Schweine | 103 | 76.260 |
| Hühner | 14 | 3.111 |
| Mastgeflügel | 3 | 907 |
| Weitere Tierarten | 20 | 112 |
| Gesamt | 250 | 90.142 |

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in der Gemeinde Hopsten beläuft sich (Stand 2010) auf insgesamt 6.762 ha (17). Das entspricht einem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen an der Gesamtfläche der Gemeinde Hopsten von knapp 68 %. Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Nutzungsfläche Gemeinde Hopsten (nach (17))

| Nutzungsfläche Gemeinde Hopsten | | |
|-------------------------------------------------|----|-------|
| Silomais | ha | 1.754 |
| Körnermais inkl. CCM (Corn-Cob-Mix) | ha | 1.664 |
| Getreide (ohne Mais) | ha | 2.184 |
| Dauergrünland | ha | 888 |
| Weiter stark landwirtschaftlich geprägte Fläche | ha | 272 |
| Gesamt | ha | 6.762 |

Nach einer Untersuchung des Umweltbundesamtes wird im Durchschnitt jeder Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche mit 97 kg Stickstoff überdüngt. (18) Unter der Annahme, dass dieser Wert auch für die Gemeinde Hopsten angesetzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Überdüngung von rund 570.000 kg_N/a. Im Vergleich dazu leitet die Kläranlage Hopsten im Schnitt jährlich etwa 1.200 kg_N in die Giegel Aa ein (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Stickstoffeinträge im Vergleich

| Stickstoffeinträge pro Jahr | | |
|--------------------------------------------------------|---------------------|---------|
| <i>Landwirtschaft</i> | | |
| Landwirtschaftlich genutzte Fläche ¹⁾ | ha | 5.874 |
| Überdüngung | kg _N /ha | 97 |
| N-Eintrag | kg | 569.730 |
| <i>Kläranlage</i> | | |
| Durchschnittliche Ablaufmenge / Jahr | m ³ | 321.788 |
| Durchschnittlicher N _{anorg} -Gehalt Abwasser | mg/l | 3,78 |
| Durchschnittliche Jahresfracht N _{anorg} | kg | 1.217 |

¹⁾ ohne Dauergrünland

In Abbildung 2-7 ist die Verteilung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser in Nordrhein-Westfalen gezeigt. Hohe Einträge in das Grundwasser werden durch hohe Stickstoffüberschüsse verursacht. Der Stickstoffüberschuss im Münsterland liegt dabei über dem Bundesdurchschnitt. Auch wenn nur ein geringer Anteil des durch die Landwirtschaft ausgebrachten Stickstoffüberschusses tatsächlich in die Gewässer gelangt, ist in landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit einem Eintrag von Stickstoff in die Gewässer zu rechnen.

Das Umweltbundesamt empfiehlt, den Stickstoffüberschuss drastisch bis auf 50 kg N/(ha*a) bis zum Jahr 2040 zu verringern (18).

Neben dem durch die Landwirtschaft verursachten Stickstoffeintrag ist zu beachten, dass es durch das Ausbringen von Gülle auf Felder auch zu einem Eintrag von Tierarzneien in die Umwelt und damit auch in die Gewässer kommen kann.

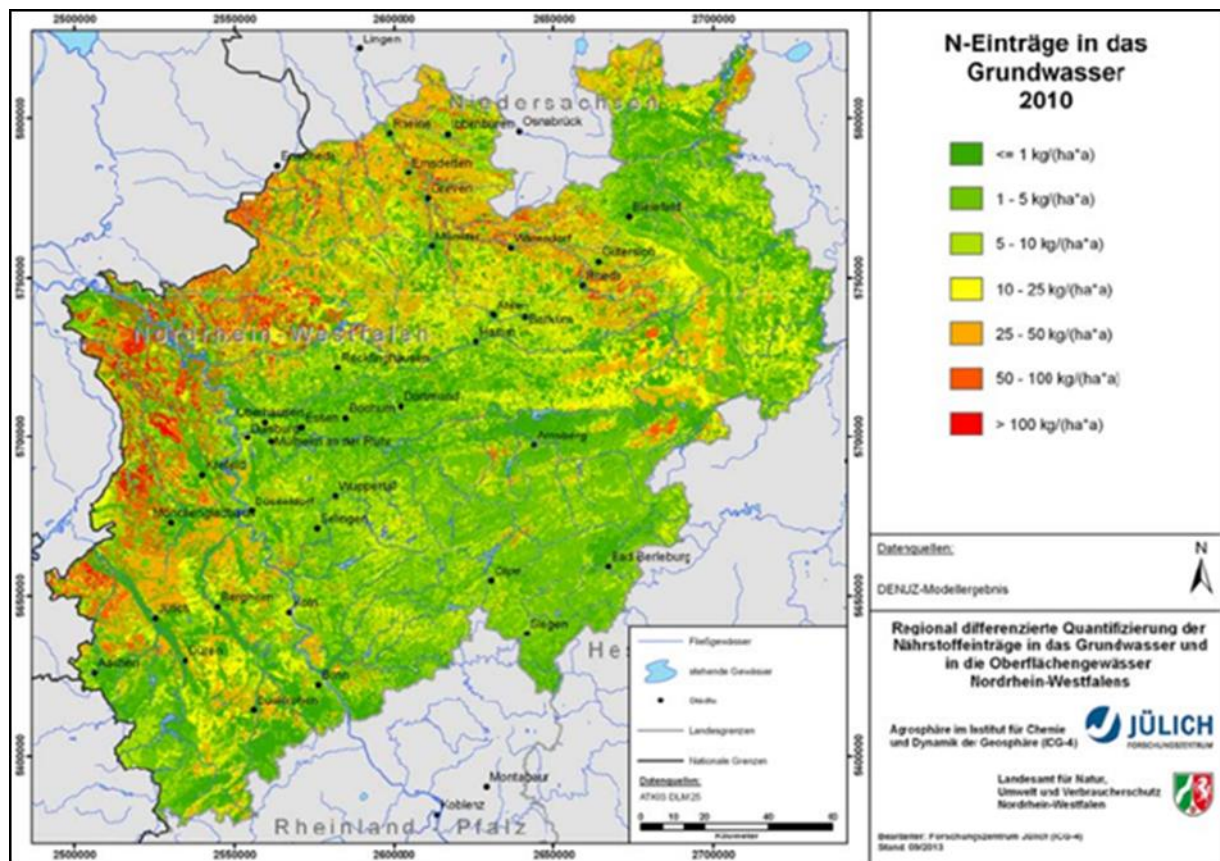


Abbildung 2-7: Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der Landesfläche (NRW) (19)

2.3.5 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

Wie in Kap. 2.3.1 ausgeführt, 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.

Der Eintrag verschiedener Stoffe in die Giebel Aa wird auf der einen Seite durch die Einleitung der Kläranlage Hopsten verursacht. Andererseits wird auch durch die intensive Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen ein Eintrag in die Giebel Aa verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft.

3 Verfahren zur Spurenstoffelimination

Mit dem heutigen Stand der Technik auf deutschen Kläranlagen bestehend aus mechanischer, biologischer und chemischer Reinigung kann die Entfernung bzw. Umwandlung von Feststoffen, die Elimination von leicht bis mittelschwer abbaubaren organischen Stoffen sowie eine weitgehende Stickstoff- und Phosphorelimination erfolgen. Zusätzlich werden viele organische Stoffe und Schwermetalle in den Klärschlamm eingebunden sowie pathogene Keime teilweise entfernt. Eine weitgehende Reduktion von Spurenstoffen aus dem Abwasser ist jedoch in der Regel mit den heute betriebenen Kläranlagen nicht möglich. Die Betriebsweise der Kläranlage hat allerdings Einfluss auf die mögliche biologische Eliminationsleistung. Einen positiven Einfluss auf die Mikroschadstoffelimination haben unter anderem:

- ein hohes Schlammalter,
- kaskadierte Bauweise,
- Minimierung der Rückführung,
- Schönungsteiche oder Filter,
- Schlammfäulung/anaerobe Behandlung.

Die heutigen Kläranlagen verfügen bereits über eine biologische Stufe, allerdings werden die Mikroverunreinigungen dort nur ungenügend entfernt. Die biologischen Verfahren mit den heutigen Betriebsweisen sind somit für die weitergehende Entfernung von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser nicht oder nur bedingt geeignet. Der Einsatz spezieller Mikroorganismen zum Abbau und zur Umwandlung der Mikroverunreinigungen ist schon aufgrund der großen Stoffvielfalt und der ständigen Neuentwicklung von Substanzen aus heutiger Sicht voraussichtlich nicht umsetzbar.

Möchte man eine weitergehende Elimination von Spurenstoffen erreichen, dann müssen Kläranlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe ausgestattet werden.

Ein Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser muss dabei folgenden Anforderungen genügen (20):

Breitbandwirkung: Eine breite Palette problematischer Substanzen muss weitgehend entfernt werden.

Nebenprodukte: Die Bildung unerwünschter Nebenprodukte oder Abfälle muss vermieden werden.

Anwendbarkeit: Das Verfahren muss in die bestehende Anlage integriert, vom Personal betrieben werden können und darf die heutige Reinigungsleistung nicht negativ beeinflussen.

Kosten/Nutzen: Der Aufwand (Material, Energie, Personal, Kosten) muss vertretbar sein und einen angemessenen Nutzen bringen.

In anderen Anwendungen bewährte Verfahren (Industrieabwasserreinigung, Sickerwasserreinigung etc.) lassen sich nicht ohne Weiteres auf die Abwasserreinigung übertragen. Die kommunale Abwasserreinigung stellt aufgrund der Abwasserzusammensetzung und der hydraulischen Dynamik ganz andere Anforderungen.

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

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).

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 (siehe auch Kap. 3.3).

3.1 Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle

3.1.1 Grundlagen der Adsorption

Bei der Adsorption handelt es sich um ein physikalisch-chemisches Trennverfahren. Unter Adsorption versteht man die Anlagerung einer Komponente (Adsorptiv) aus einem gasförmigen oder flüssigen Gemisch an der Oberfläche eines festen Stoffes (Adsorbens). Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

Zur Einstellung des Gleichgewichtes müssen verschiedene Transportwiderstände überwunden werden; dabei laufen folgende Einzelschritte ab, welche die Adsorptionskinetik bestimmen:

- Transport der Moleküle aus der Gas- oder Flüssigphase an die äußere Adsorbensoberfläche (Grenzfilmdiffusion)
- Porendiffusion in das Korninnere
- Adsorption der Moleküle

Da die Bindungskräfte zwischen den einzelnen Atomen des Feststoffverbandes nicht vollständig abgesättigt sind, entstehen sogenannte "aktive Zentren", wo bevorzugt Fremdmoleküle adsorbiert werden; hierbei wird Adsorptionswärme frei. Bei abnehmender Adsorptivkonzentration und zunehmender Temperatur nimmt die im Gleichgewichtszustand adsorbierte Stoffmenge ab.

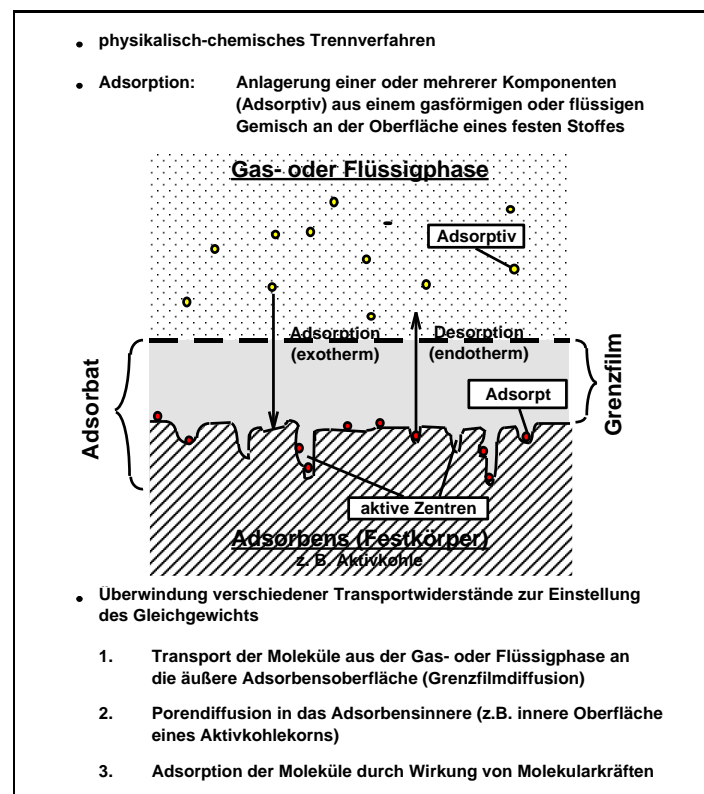


Abbildung 3-1: Grundlagen der Adsorption

In der Trinkwasseraufbereitung dient die Adsorption der Entfernung von Geruchs- und Geschmacksstoffen (einschließlich Chlor und Restozon), der Entfernung von Kohlenwasserstoffen, organischen Chlorverbindungen, Pflanzenschutzmitteln und höhermolekularen Stoffen wie z.B. Huminstoffen. Zur Abwasserreinigung (z.B. Sickerwasserreinigung) setzt man Adsorptionsverfahren dann ein, wenn es darum geht, inerte Stoffe zu eliminieren.

Aktivkohle wird vorwiegend aus Stein- oder Holzkohle, (Kokos-)Nussschalen oder Torf hergestellt. Für die Herstellung von Aktivkohle wird das Grundprinzip Aktivierung mit hohen Temperaturen (bis 1000°C) mit Hilfe von Wasserdampf benutzt. Unter bestimmten, geeigneten Bedingungen werden Teile des Kohlenstoffgerüsts selektiv abgebaut. Durch die dabei entstehenden Poren, Spalten und Risse wird die auf die Masseneinheit bezogene Oberfläche erheblich größer. Die innere Oberfläche handelsüblicher Sorten liegt zwischen 400 und 1.500 m²/g.

Je nach Bedarf wird der Aufwand für die Aktivierung geregelt und der Aktivierungsgrad bestimmt. Aktivkohlen werden in drei Kategorien eingeteilt:

Niedrig aktiver Bereich: spezifische Oberfläche: 500-800 m²/g

Mittel aktiver Bereich: spezifische Oberfläche: 800-1200 m²/g

Hoch aktiver Bereich: spezifische Oberfläche: 1200-1500 m²/g

Entscheidend für die Adsorption ist der Stofftransport, der aufgrund des Konzentrationsgefälles zwischen den Phasen gasförmig/fest bzw. flüssig/fest stattfindet. In der Praxis haben sich daher so genannte Adsorptionsisothermen bewährt. In Abbildung 3-2 sind Adsorptionsisothermen beispielhaft für den Parameter CSB dargestellt. Zwischen der adsorbierbaren Substanz und der in Lösung verbleibenden Restkonzentration stellt sich ein Gleichgewicht ein. Die Abhängigkeit der Beladbarkeit einer Aktivkohle von der Restkonzentration bei konstanter Temperatur wird in solchen Isothermen dargestellt.

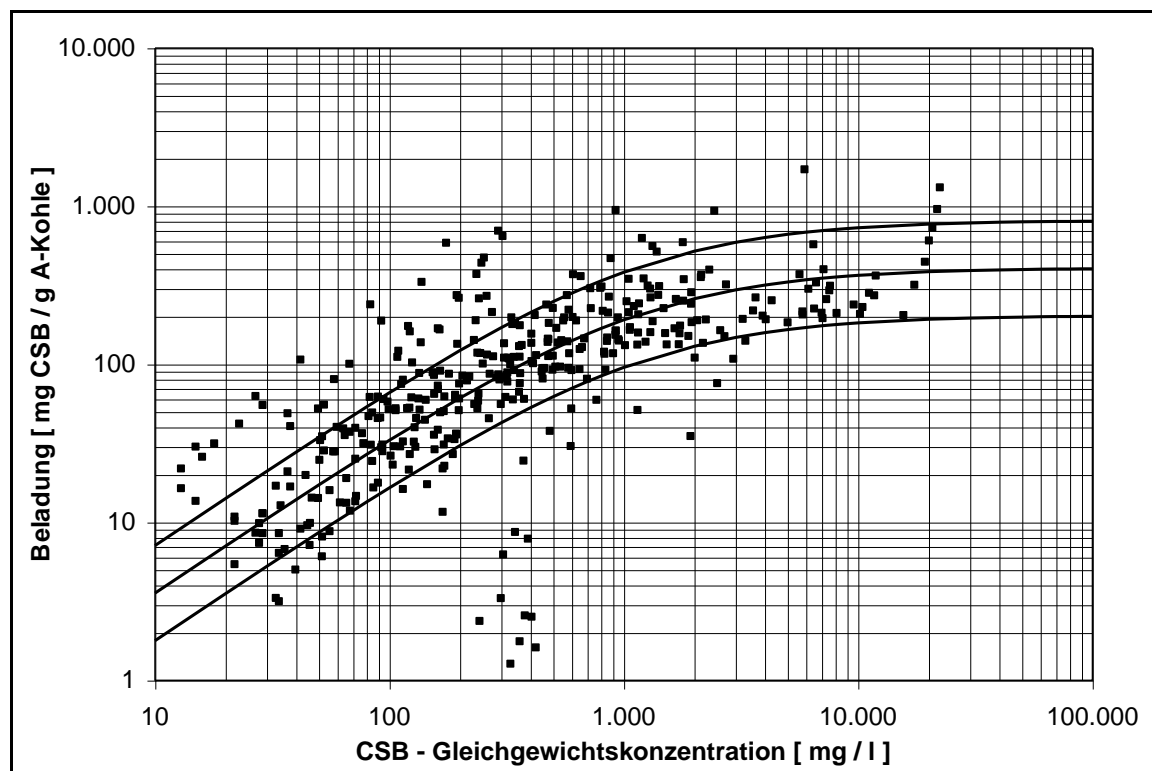


Abbildung 3-2: Adsorptionsisothermen für den Parameter CSB

Im Normalfall, wie bei der Entfernung von CSB, nimmt die Effektivität der Aktivkohle mit einem höheren Aktivierungsgrad zu. Für die Entfernung von Mikroschadstoffen laufen derzeit Versuche, die darauf hindeuten, dass hier eine spezifische Oberfläche von etwa 900 g/m² ideal ist, da nicht ausschließlich die spezifische Oberfläche, sondern auch die Porengrößenverteilung von entscheidender Bedeutung ist.

Der Einsatz der Aktivkohle erfolgt entweder granuliert oder pulverförmig:

- Granulierte Aktivkohle (GAK) oder Kornkohle hat Korngrößen von bis zu vier Millimetern. Das zu reinigende Abwasser durchläuft meistens spezielle, mit GAK gefüllte Filteranlagen.
- Pulveraktivkohle (PAK) ist eine sehr feine, poröse und kohlenstoffreiche Masse. Im Vergleich zur granulierten Aktivkohle verfügt die Pulveraktivkohle über wesentlich geringere Korngrößen und über eine größere aktive Oberfläche. Die Pulveraktivkohle kann beispielsweise in einen Abwasserstrom eingemischt (Rührreaktor) werden.

3.1.2 Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen

In Abbildung 3-3 sind die prinzipiellen Verfahren der Aktivkohleadsorption dargestellt. Im Rührreaktor wird die Aktivkohle in suspendierter oder pulvriger Form in ein Reaktionsbecken gegeben und im Absetzbecken abgetrennt. Im Reaktionsbecken stellt sich eine mit der Restkonzentration korrespondierende Gleichgewichtsbeladung ein. Theoretisch wäre durch mehrstufige Anwendung der Pulverkohle im Gegenstrom eine optimale Ausnutzung möglich. In der Praxis hat sich eine Rückführung eines Teilstroms der vorbeladenen Aktivkohle von der Abscheideeinrichtung zurück in das Reaktionsbecken bewährt, um die Adsorptionskapazität besser ausnutzen zu können.

Die entstehenden Suspensionen sind sehr abrasiv und korrosiv. Das Verfahrensprinzip hat den großen Nachteil, dass die eingesetzte Aktivkohle nicht regeneriert werden kann. Daher muss die Kohle entweder als Sondermüll deponiert oder einer thermischen Verwertung zugeführt werden.

In den letzten Jahren hat das Verfahren der Festbettadsorption an Bedeutung gewonnen, weil durch eine thermische Reaktivierung der körnigen Aktivkohle eine mehrmalige Verwendung möglich ist und sowohl die Investitions- wie auch die Betriebskosten stetig gesunken sind. Bei der Festbettadsorption wird das zu reinigende Abwasser gegebenenfalls vorfiltriert und anschließend durch eine oder mehrere Aktivkohlesäulen bzw. Filteranlagen geschickt.

Bei der Festbettadsorption werden derzeit z.B. beschichtete Stahlbehälter oder Raumfilter eingesetzt.

Am Eintritt der ersten Filterstufe (Säule) weist das Adsorbens entsprechend der Zulaufkonzentration die höchste Beladung auf. Für die Auslegung einer mehrstufigen Säulenanlage kann die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Zulaufkonzentration zugrunde gelegt werden. Die mögliche Beladung im Filterverfahren ist daher theoretisch immer höher als die im Einrührverfahren, bei dem die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Ablaufkonzentration benutzt werden muss.

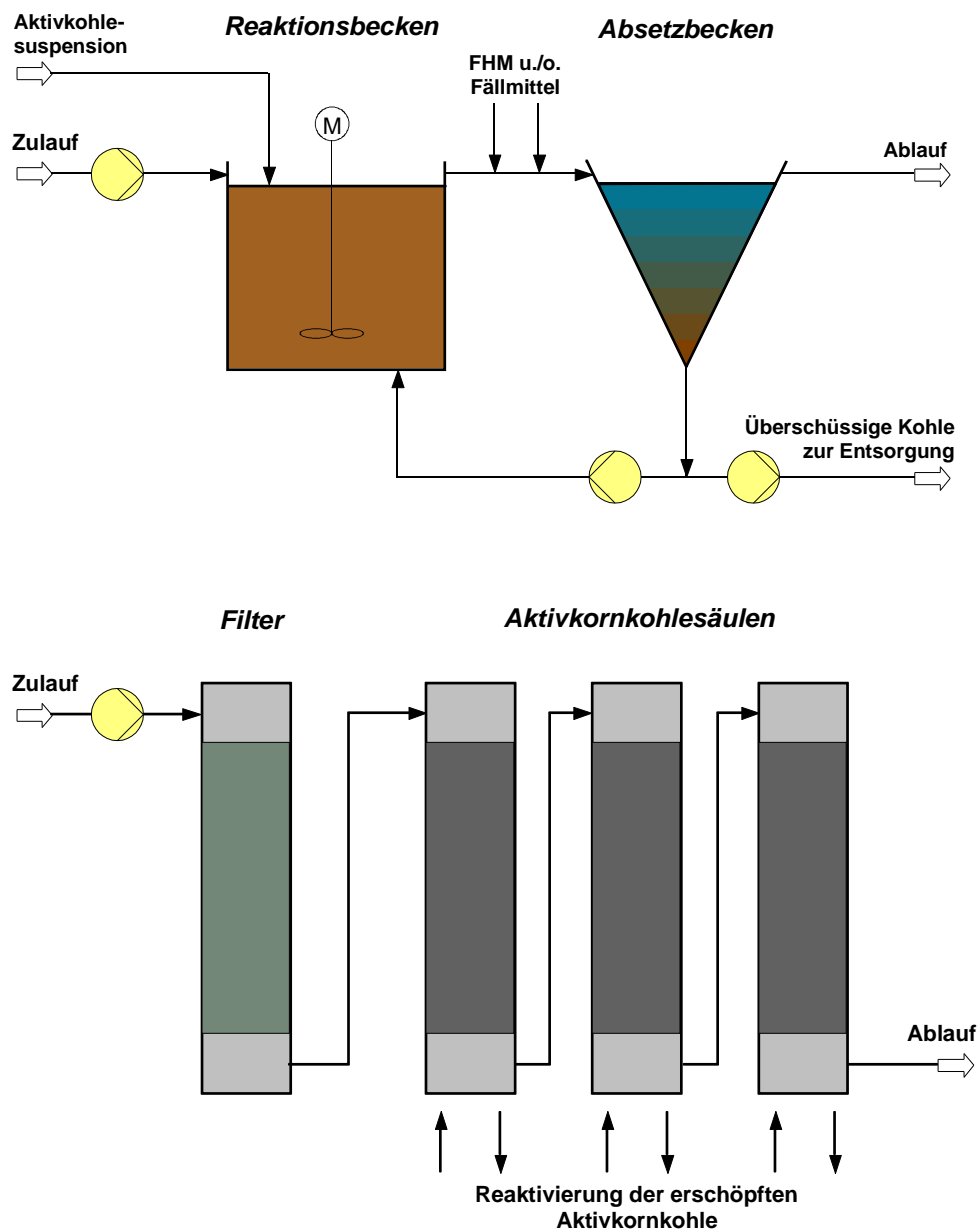


Abbildung 3-3: Verfahrensprinzip Aktivkohleadsorption

Durch den Einsatz mehrerer in Reihe geschalteter Filter können sehr niedrige Ablaufwerte erzielt werden. Die Anzahl der Filter und die Kontaktzeit müssen so gewählt werden, dass bei Erreichen der erlaubten Konzentration im letzten Filter der erste Filter möglichst vollständig beladen ist.

Nach Erschöpfung der Adsorptionskapazität muss die Aktivkohlefüllung des Reaktors ausgetauscht werden. Die verbrauchte Kohle wird abgepumpt und zur thermischen Reaktivierung transportiert. Es handelt sich also um ein quasi reststoffreies Verfahren, da die beladene Kohle nach Reaktivierung erneut für den Adsorptionsprozess zur Verfügung steht.

Bei Gemischen verschiedener adsorbierbarer, gelöster organischer Verbindungen müssen die Effekte der Verdrängungsadsorption berücksichtigt werden: die besser adsorbierbaren Substanzen verdrängen die schlechter adsorbierbaren Substanzen.

Prinzipiell gilt, je weniger das Adsorptiv wasserlöslich ist, desto besser wird es adsorbiert. Besonders beim Einsatz von granulierter Aktivkohle können neben oder zusätzlich zu der Adsorption auch biologische Vorgänge für die Elimination organischer Verbindungen verantwortlich sein.

3.1.3 Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

Auf Kläranlagen erfolgt der Einsatz von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffelimination über das Einmischen in den Abwasserstrom. In einer anschließenden Kontaktphase lagern sich die Spurenstoffe an der Aktivkohle an. Die beladene Aktivkohle muss anschließend aus dem Abwasserstrom heraus separiert werden. Eine Regeneration der Pulveraktivkohle ist nicht möglich, die beladene Kohle muss entsorgt werden.

Die Pulveraktivkohle kann direkt in die biologische Stufe oder im Anschluss an die biologische Stufe (in der Regel hinter der Nachklärung in ein Kontaktbecken oder in den Flockungsraum eines Filters) eindosiert werden.

Die PAK wird in der Regel mit Tanklastwagen, Kleincontainern oder in sogenannten Big Bags mit ca. 1 m³ als trockenes Pulver angeliefert. Bei der Anlieferung mit Tanklastwagen wird die PAK in ein Silo geblasen, dabei dehnt sich die PAK aus. Die Ausdehnung der PAK ist bei der Dimensionierung des Silos und der Anlieferung zu berücksichtigen. Wenn möglich, sollte die Silogröße mindestens eine LKW-Ladung aufnehmen können. Silofahrzeuge führen in der Regel ein Volumen von ca. 50 m³ mit einer PAK Menge von ca. 15 Tonnen mit. Insofern sind Silogrößen von etwas mehr als 50 m³ (bzw. Vielfache von 50 m³ bei großen Anlagen) besonders wirtschaftlich.

Bei der Dosierung sind die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit der Dosiereinrichtung von besonderer Bedeutung. Bisher werden volumetrische oder gravimetrische Dosiereinrichtungen eingesetzt.

Wichtig ist die vollständige Trennung von eindosierter Pulveraktivkohle und gereinigtem Abwasser im Anschluss an die Adsorption der Mikroschadstoffe. Die Aktivkohle selber hat dabei voraussichtlich keine negativen Auswirkungen auf die Gewässer, jedoch ist sie mit den Mikroschadstoffen beladen, die nicht ins Gewässer gelangen sollen. Um eine möglichst vollständige Abtrennung der Pulveraktivkohle zu erreichen, werden in der Regel Fällmittel und Flockungshilfsmittel (FHM) zudosiert, um die PAK besser abscheiden zu können.

Das Verfahren der PAK-Abtrennung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fällmittelmenge. Die Anforderungen an die Flockenstruktur unterscheiden sich, je nachdem, ob die Abtrennung mittels Sedimentation oder Raumfiltration erfolgt. Für die Sedimentation sind größere Flocken anzustreben, die leicht absinken. Dies wird mit einer Dosierung von ca. 0,4 g Fe / g PAK erreicht. Bei der Abtrennung im Sandfilter dürfen die Flocken weder zu groß, da sie sich dann auf der Oberfläche ansammeln (Flächenfiltration), noch zu

klein sein, weil sie dann den Filter passieren. In der ARA Kloten/Opfikon hat sich eine Dosierung von 0,1 g Fe / g PAK bewährt. (20)

3.1.3.1 Einmischen der Pulveraktivkohle in die biologische Stufe

Pulveraktivkohle kann auf Kläranlagen direkt in das Belebungsbecken dosiert und vermischt werden. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 3-4 gezeigt. Die Abtrennung der PAK erfolgt zusammen mit dem Belebtschlamm in der Nachklärung. Um eine möglichst vollständige Abscheidung der beladenen Aktivkohle in der Nachklärung zu erreichen, werden in den Zulauf zur Nachklärung Fällmittel und Flockungshilfsmittel dosiert. Die überschüssige PAK wird zusammen mit dem Überschussschlamm weiter behandelt und anschließend entsorgt. Eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes ist wegen der enthaltenen beladenen Aktivkohle nicht möglich. Generell gilt, dass der PAK-Verbrauch beim Einmischen in die biologische Stufe wesentlich höher liegt als bei der nachfolgend beschriebenen Verfahrensführung mit einer Zudosierung ins gereinigte Abwasser im Ablauf der Nachklärung. Die Ursache liegt in der Konkurrenzsituation um die freien Adsorptionsflächen der Aktivkohle. In der Belebung liegt eine hohe Konzentration an gelösten Stoffen, Feststoffen und Suspensa vor, die sich an die Aktivkohle anlagern können und die Adsorption der Mikroschadstoffe damit verschlechtern (Verdrängungseffekt).

Die Nachschaltung einer Filtrationsstufe zum Rückhalt von Restkohle, die mit dem Ablauf der Nachklärung abfließt, ist in der Regel notwendig. Dies kann z.B. als Sandfilter bzw. als Tuchfilter ausgeführt werden.

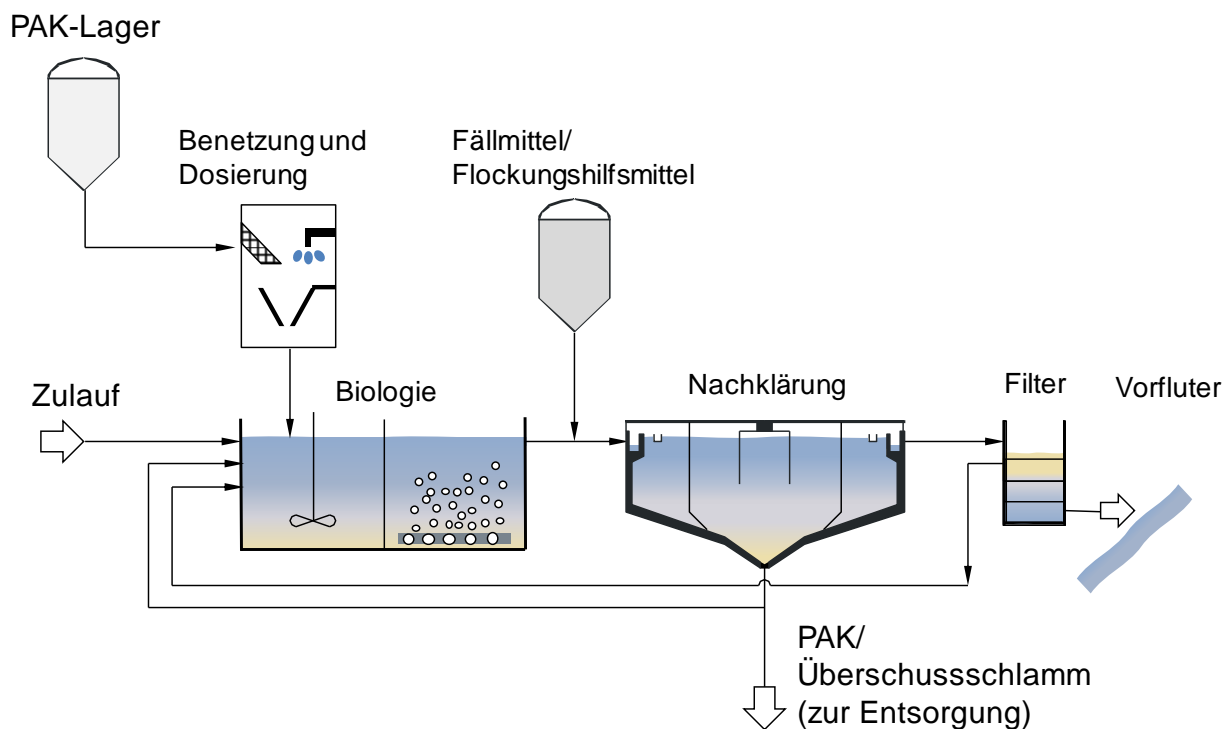


Abbildung 3-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung

3.1.3.2 Dosierung von Pulveraktivkohle in ein separates Kontaktbecken

Die effiziente Nutzung der Pulveraktivkohle zur Mikroschadstoffelimination setzt voraus, dass das zu behandelnde Abwasser nur eine geringe organische Hintergrundbelastung aufweist. Die Pulveraktivkohle wird deshalb im Anschluss an die Nachklärung in den gereinigten Abwasserstrom bzw. direkt in das Kontaktbecken dosiert. Das Kontaktbecken wird umgewälzt. Wichtig ist eine ausreichende Kontaktzeit der Aktivkohle mit den Abwasserinhaltsstoffen. Die Kontaktzeit wird im Rahmen der Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen meistens mit 30 Minuten angesetzt, obwohl die notwendige Zeit zur Adsorption vieler Mikroschadstoffe wesentlich kürzer ist. Die Abtrennung der Pulveraktivkohle vom gereinigten Abwasser erfolgt in der Regel in einem nachfolgenden Sedimentationsbecken. Das Sedimentationsbecken wird nach Aufenthaltszeit und Oberflächenbeschickung bemessen. Zur Mehrfachbeladung der PAK kann die Kohle aus dem Sedimentationsbecken zurück in das Kontaktbecken gefördert werden (Rücklaufkohle). Dadurch wird in der Regel eine bessere Ausnutzung der PAK erreicht, was einen positiven Einfluss auf den PAK-Verbrauch hat. Das Rückführverhältnis liegt dabei im Bereich zwischen 0,5 – 1,0. Zur Verbesserung der Absetzeigenschaften können im Zulauf zum Sedimentationsbecken z.B. Flockungshilfsmittel (FHM) und Fällmittel dosiert werden. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 3-5 gezeigt. Die Überschussskohle kann entweder aus dem Sedimentationsbecken oder mit dem Überschussschlamm aus der Belebung entnommen werden. Eine Regeneration der Kohle wird nicht durchgeführt. Eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes ist bei diesem Konzept nicht möglich.

Die notwendige Menge an zu dosierender PAK hängt u.a. davon ab, welche Hintergrundbelastung im Ablauf der Nachklärung z.B. durch Suspensa bzw. hohe CSB-, BSB-, DOC- bzw. TOC-Konzentrationen auftritt („Verdrängungseffekt“) sowie von der Art der eingesetzten Kohle, der Kontaktzeit, dem Dosierort, von einer vorgesehenen Rezirkulation und von der gewünschten Eliminationsleistung der Anlage. Die übliche Spannweite kann zwischen 10 und 20 mg PAK/l angegeben werden.

Untersuchungen in Baden-Württemberg konnten zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg PAK/l die gut adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie Carbamazepin und Metoprolol, zu 80 % eliminiert werden können. (21)

Zur sicheren Abtrennung der „Rest“-PAK wird der Ablauf aus dem Sedimentationsbecken über eine Filtrationsstufe geleitet (z.B. Sandfilter, Tuchfilter).

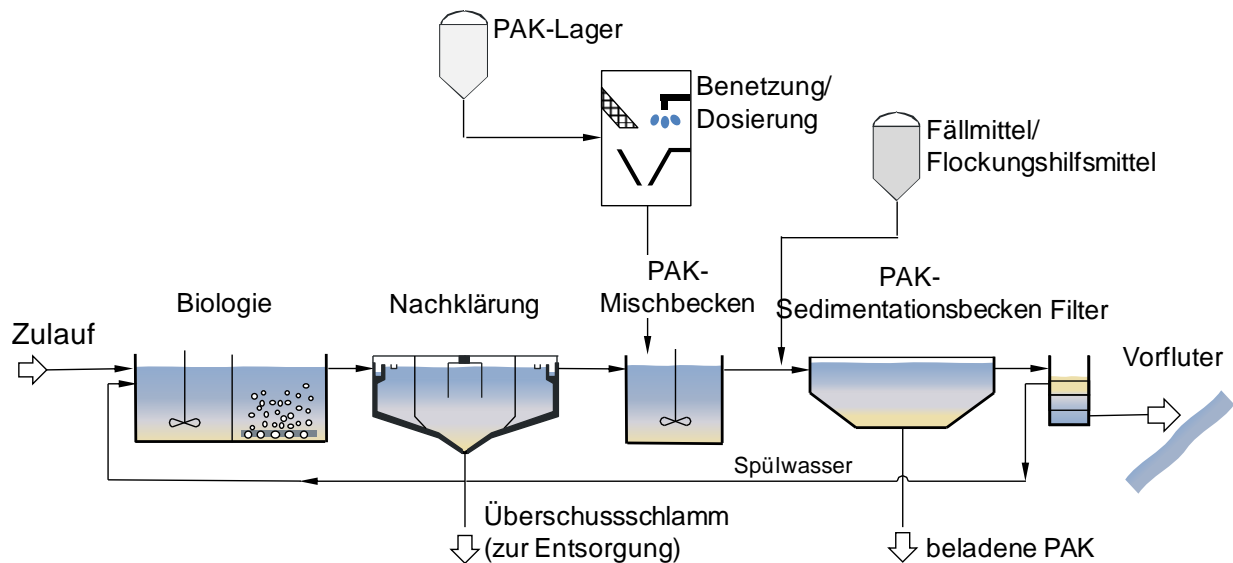


Abbildung 3-5: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken

3.1.3.3 Dosierung von Pulveraktivkohle in den Überstau eines Sandfilters

Alternativ zum Betrieb eines separaten Kontaktbeckens mit nachgeschaltetem Sedimentationsbecken kann die Pulveraktivkohle auch in den Zulauf der Filtration oder in den Flockungsraum einer Filtration dosiert werden. Auch hier wird die PAK mit dem vorbehandelten Abwasser aus dem Ablauf der Nachklärung (geringe Hintergrundbelastung) in Kontakt gebracht.

Der eigentliche Kontaktraum zur Adsorption wird im Filterüberstand des nachgeschalteten Filters realisiert. Der Rückhalt der PAK erfolgt dabei allein durch den Filter. Die PAK wird mit dem Rückspülwasser vorzugsweise in die biologische Stufe zurückgeführt. Die Entnahme der PAK aus dem System erfolgt dann mit dem Überschussschlamm (22), (23).

Möglich ist auch der Betrieb eines separaten Kontaktbeckens für die Einmischung der PAK ins Abwasser und die nachfolgende Abscheidung der PAK mit dem Sandfilter (ohne vorgeschaltetes Sedimentationsbecken).

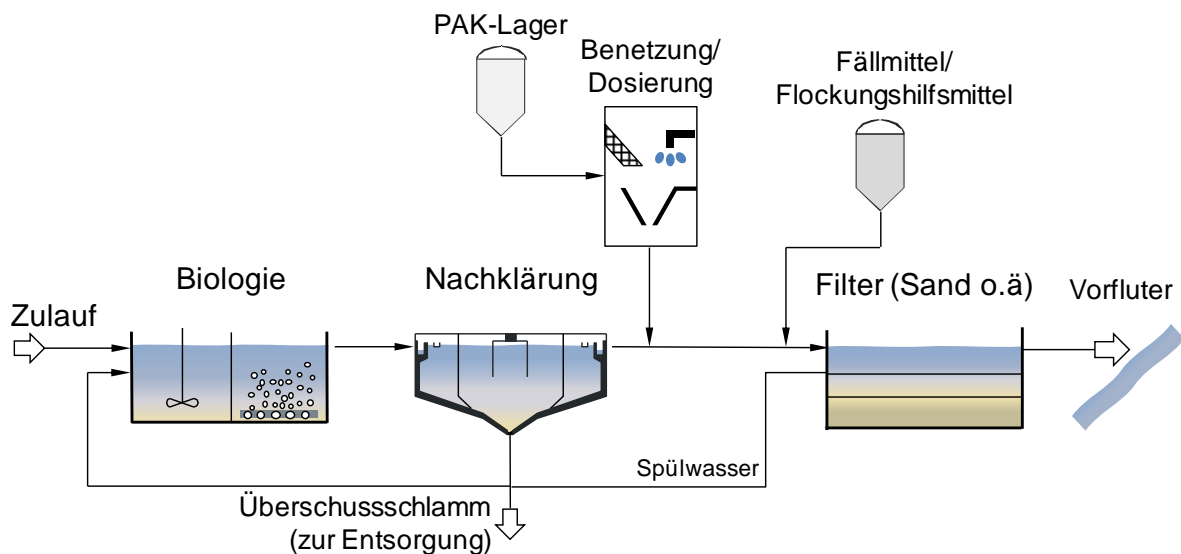


Abbildung 3-6: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum

3.1.4 Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

Die granulierte Aktivkohle wird in der Regel in einer der Nachklärung nachgeschalteten Filtrationsstufe eingesetzt. Üblich ist der Einsatz von Festbettfiltern, die von oben nach unten durchströmt werden. Sind beispielsweise noch Fest- oder Schwebstoffe in hohen Konzentrationen vorhanden, setzen diese die Aktivkohle schnell zu und „verstopfen“ die Poren. Eine zu schnelle Filterbelegung erfordert eine häufige Rückspülung des Filters. Je nach Qualität des Abwassers ist somit ggf. eine Vorfiltration zur Entfernung von Schweb- und Feststoffen erforderlich. Siehe auch die Verfahrensskizze in Abbildung 3-7.

Frische Kohle weist eine sehr hohe Adsorptionsfähigkeit auf, mit zunehmender Laufzeit nimmt diese ab. Die Durchbruchzeiten sind für verschiedene Stoffe sehr unterschiedlich, so dass sich u.U. sehr geringe Standzeiten der Filter ergeben können. In der Sickerwasserreinigung ist es deshalb üblich mehrere Aktivkohlefilter hintereinander zu schalten und rollierend zu betreiben. Auf kommunalen Kläranlagen sind die Wassermengen jedoch wesentlich höher und dynamischer, so dass der Betrieb mehrerer Filter in Reihe voraussichtlich nicht darstellbar ist. Ein Maß für die Standzeit eines Filters ist das „durchgesetzte Bettvolumen“, das auch abgekürzt als BVT (bed volume treated) bezeichnet wird. Die BVT geben an, wie oft ein Reaktorvolumen von der gleichen Volumenmenge Abwasser durchfahren werden kann bevor es ausgetauscht werden muss. Die zurzeit vorliegenden Erfahrungen zeigen eine deutliche Spannweite der erzielbaren Bettvolumina, die zwischen 3.000 – 15.000 m³ schwanken (21). Für einzelne Stoffe kann auch nach einer wesentlich längeren Standzeit eine Elimination erreicht werden.

Die Auslegung der GAK Filter erfolgt über die Leerbettkontaktzeit (EBCT – empty bed contact time) und über die Filterbettgeschwindigkeit.

In NRW wurden beim Einsatz von GAK Filtern zur Spurenstoffelimination positive Erfahrungen gesammelt (z.B. Obere Lutter in Gütersloh). Untersuchungen der Eawag (24) bewerten die Eliminationsleistung von

GAK Filtern als eher gering, weil einige Spurenstoffe schon nach wenigen Tagen nicht mehr effizient zurück gehalten wurden. Laut Benstöm et al. kann die Standzeit der GAK-Filter durch eine Parallelschaltung mehrerer Filter verlängert werden, weil diese zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK führt, wenn immer die höchstbeladene GAK gegen frische GAK ausgetauscht wird (25). Daneben ist beim Einsatz einer GAK-Filtration zu beachten, dass hohe AFS-Gehalte im Abwasser dazu führen, dass die GAK-Filter häufig gespült werden müssen, was bei zu hoher Spülfrequenz einen zuverlässigen Betrieb der Filter nicht zulässt (25). Daher sollten hohe AFS-Gehalte evtl. durch eine vorgeschaltete Filtration vermieden werden.

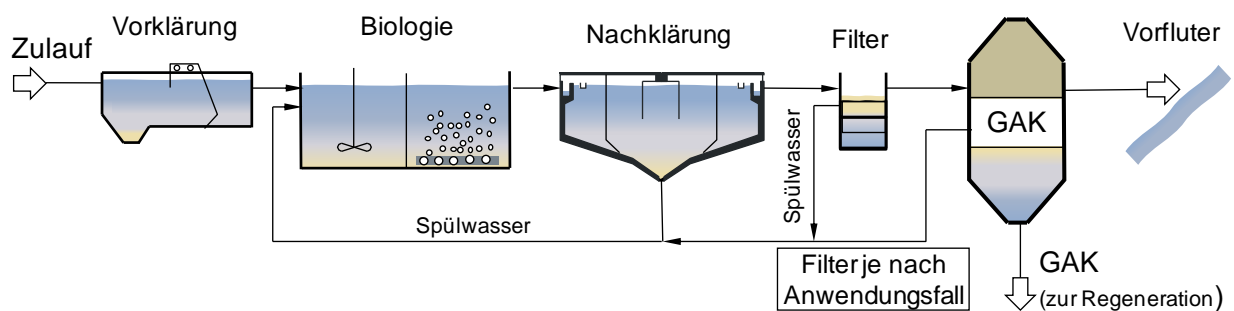


Abbildung 3-7: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter

3.2 Oxidative Verfahren

3.2.1 Grundlagen der Oxidation

Unter Oxidation versteht man ganz allgemein den Entzug von Elektronen aus einzelnen Teilchen wie z.B. aus Atomen, Ionen oder Molekülen. Die Umkehrung der Reaktion, d.h. die Aufnahme von Elektronen, wird als Reduktion bezeichnet.

Die ursprüngliche Bedeutung des Begriffs Oxidation war zunächst eng mit der Verbrennung unter Sauerstoffverbrauch verknüpft. In Erweiterung auf die oben beschriebene Definition bezeichnet man Substanzen, die in der Lage sind Sauerstoff abzugeben oder Elektronen zu binden, d.h. die in der Lage sind andere Substanzen zu oxidieren, als Oxidationsmittel (z.B. Ozon).

Der Oxidationsvorgang von Ozon mit organischen Substanzen basiert auf zwei sich überlagernden Reaktionstypen (Abbildung 3-8).

Die erste Reaktion ist die Reaktion des Ozonmoleküls mit den gelösten Substanzen. Diese direkte Reaktion ist äußerst selektiv, es werden Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen angegriffen. Die zweite Reaktion wird über OH-Radikale geführt, die beim Zerfall des Ozons entstehen. Diese OH-Radikale reagieren unselektiv in Millisekunden mit den Wasserinhaltsstoffen. Bei niedrigen pH-Werten überwiegt die erste, direkte Reaktion, während bei hohen pH-Werten fast ausschließlich die radikalische Reaktion abläuft.

Durch "Initiatoren" wie OH^- , H_2O_2 , UV-Strahlen oder gewisse organische Verbindungen (z.B. die im Abwasser vorkommenden Huminstoffe) werden $\text{O}_2^- \cdot / \text{HO}_2^-$ -Radikale gebildet; über Zwischenschritte entsteht das äußerst reaktive $\text{OH} \cdot$ -Radikal. Die $\text{OH} \cdot$ -Radikale reagieren mit den organischen Inhaltsstoffen (C), wobei Peroxylradikale entstehen, die ihrerseits $\text{O}_2^- \cdot / \text{HO}_2^-$ -Radikale abspalten und den Kreis damit schließen. Hohe Konzentrationen an "Radikalfängern" wie Carbonate/Hydrogencarbonate (CO_3/HCO_3) oder Alkylverbindungen wirken hier hemmend auf die Reaktionsgeschwindigkeit, da sie die Kettenreaktion durch Verbrauch von $\text{OH} \cdot$ -Radikalen unterbrechen können.

Bevor die Reaktion des Ozons mit den Wasserinhaltsstoffen erfolgen kann, muss es in die Wasserphase eingebracht werden. Sobald das Ozon in der Flüssigphase gelöst ist, kann die eigentliche Oxidation der Schadstoffe erfolgen. Geringe Ozonkonzentrationen in der Gasphase und schlechte Absorptionseigenschaften erschweren den Ozoneintrag.

Gleiches gilt für die Temperatureinstellung, die auf der einen Seite bei höheren Temperaturen eine niedrigere Ozonlöslichkeit zur Folge hat, zum anderen aber auch den Ozonzerfall und damit die Bildung von reaktionsfreudigem atomarem Sauerstoff fördert.

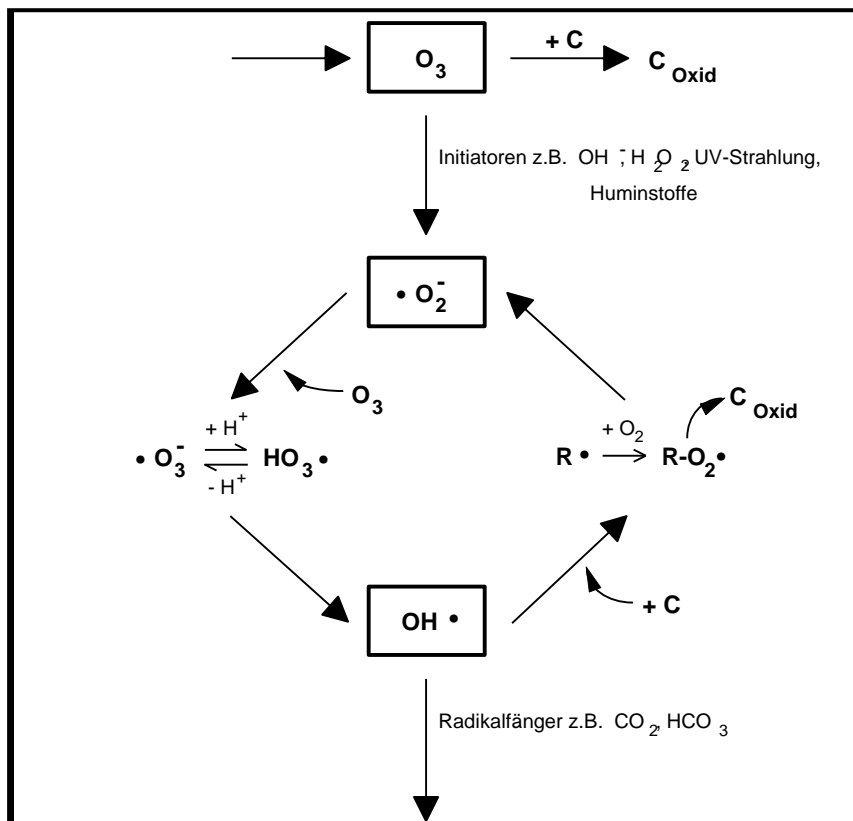


Abbildung 3-8: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

Viele Mikroverunreinigungen enthalten Doppelbindungen oder funktionelle Gruppen, die durch Ozon oxidiert (umgewandelt) werden können. Ozon wird seit Jahrzehnten für die Desinfektion und zur Elimination

von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt. Es reagiert einerseits mit den Mikroverunreinigungen, aber auch mit der organischen Hintergrundmatrix (DOC) und anderen anorganischen Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Nitrit).

3.2.2 Einsatz von Ozon auf Kläranlagen

Um den Ozonbedarf möglichst gering zu halten, wird die Ozonung beim Einsatz auf Kläranlagen im Anschluss an die weitgehende biologische Reinigung in der Regel hinter der Nachklärung eingesetzt. Wichtig ist eine gute biologische Reinigungsleistung der Belebung und ein gutes Abscheideergebnis der Nachklärung, um die Hintergrundbelastung des Abwassers mit organischen Stoffen, aber auch anorganischen Verbindungen wie Nitrit, gering zu halten und damit den Ozonbedarf zu minimieren.

Da durch die Behandlung mit chemischen Oxidationsmitteln aus langkettigen, schwer abbaubaren Stoffen kurzkettige und leicht abbaubare Stoffe entstehen, bevor sie durch weitere Oxidationsmittelzugabe vollständig mineralisiert werden, ist eine Nachbehandlung in Form einer biologisch aktiven Filtration oder eines GAK-Filters hinter der Ozonung erforderlich. Durch eine biologisch aktive Nachbehandlung (z.B. durch eine Sandfiltration oder ein Wirbelbett) können die meisten Transformationsprodukte eliminiert werden. Dies gilt jedoch nicht für die aus tertiären Aminen entstehenden N-Oxide. Diese können nur mit Hilfe von Aktivkohle (nachgeschalteter GAK-Filter) entfernt werden. (26)

3.2.2.1 Apparative Ausführung der Ozonierung für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

Ozon muss vor Ort in einem Ozongenerator erzeugt werden und wird anschliessend gasförmig ins Abwasser eingetragen. Als Trägergas dient in der Regel Sauerstoff, der flüssig angeliefert wird und in einem Tank gelagert wird. Es ist auch möglich, Ozon aus Umgebungsluft herzustellen.

Das zu behandelnde Abwasser wird in einen Ozonreaktor eingeleitet, dieser Reaktor ist auf Kläranlagen in der Regel der Nachklärung nachgeschaltet. Der Ozoneintrag kann entweder über am Reaktorboden installierte Keramikbelüfter (siehe Abbildung 3-9) oder über ein Injektorsystem, mit dem das Ozon in das Abwasser eingedüst wird, erfolgen. Der Ozonreaktor muss ausreichend groß dimensioniert sein, damit das Ozon mit den Abwasserinhaltsstoffen ausreichend lang reagieren kann.

Ozon ist klimaschädlich und ein starkes Reizgas. Durch die Abdeckung des Reaktors und Absaugung der Abluft wird sichergestellt, dass kein Ozon in die Umgebung gelangt. Die ozonhaltige Abluft, die oberhalb des Reaktors abgesaugt wird, wird über einen Restozonvernichter (Katalysator) geleitet. Im Anschluss an die Ozonbehandlung wird eine biologisch aktive Stufe empfohlen, um reaktive Oxidationsprodukte zu entfernen.

Um die Gefährdung des Betriebspersonals zu minimieren, muss nicht nur sichergestellt werden, dass kein Ozon aus dem Abwasser in die Umgebung austritt, sondern auch, dass die Raumluft im Maschinenhaus, wo der Ozongenerator aufgestellt ist, auf das eventuelle Auftreten einer Ozonkonzentration überwacht wird.

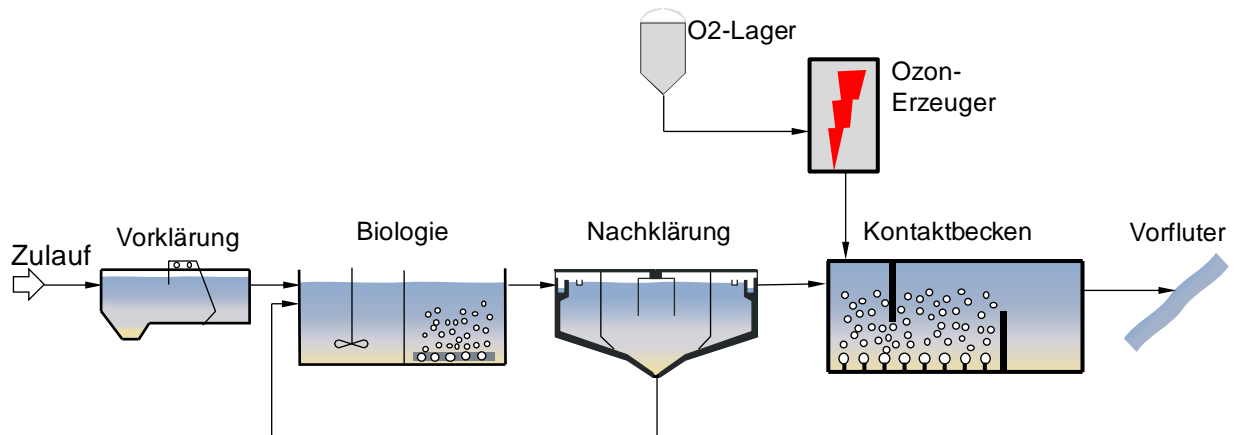


Abbildung 3-9: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung

Bei der Ozonisierung kann außerdem durch die Reaktion von Bromid und Ozon Bromat entstehen, das in der Trinkwasserverordnung stark reglementiert ist.

3.3 Membranverfahren

3.3.1 Grundlagen der Membrantechnik

Die Membrantechnik, speziell die Nanofiltration (NF) und die Umkehrosmose (UO), zählt zu den physikalischen Behandlungsverfahren und ist ein druckgetriebener Prozess an einer semipermeablen Membran, bei dem der natürliche Vorgang der Osmose durch Aufprägung eines den osmotischen Druck der Lösung übersteigenden Druckes, wie in Abbildung 3-10 dargestellt, umgekehrt wird. Die treibende Kraft der Osmose beruht auf dem Bestreben zweier in Kontakt stehender Lösungen, einen Konzentrationsausgleich durch Diffusion zu erreichen. Wird das gegenseitige Vermischen der beiden Lösungen mittels einer semipermeablen Wand (Membran) verhindert, so dass die Vermischung (Konzentrationsausgleich) nur in eine Richtung stattfinden kann, nennt man diesen Vorgang Osmose.

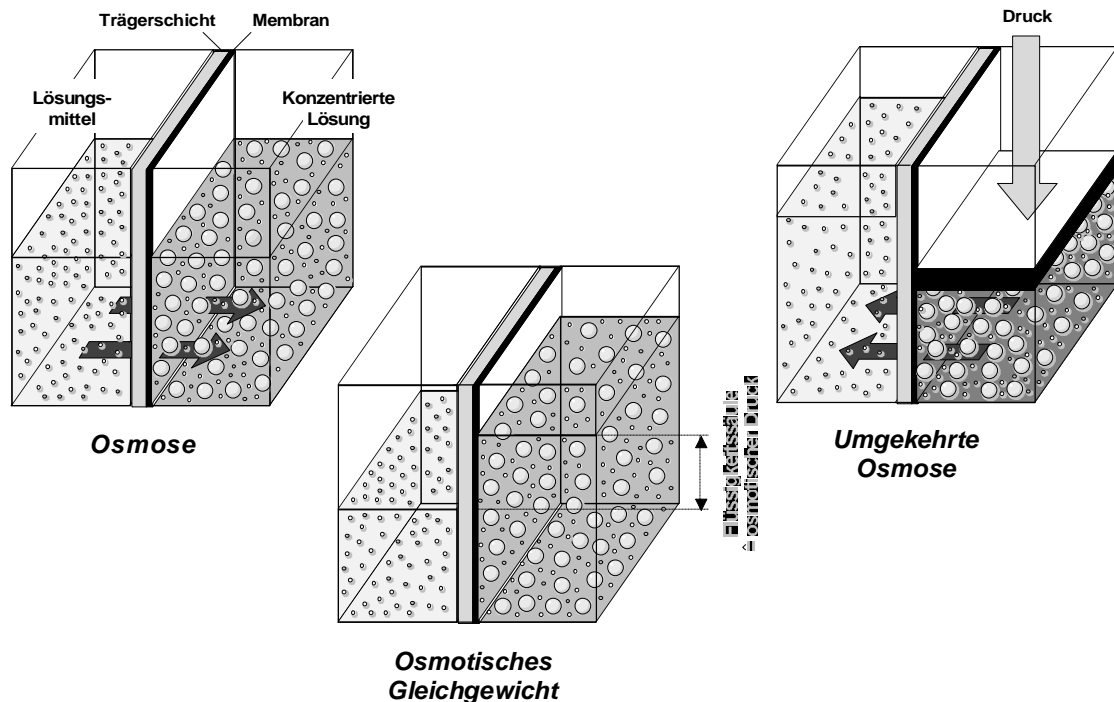


Abbildung 3-10: Osmose und Umkehrosmose -

Die Trennung erfolgt dadurch, dass mindestens eine Komponente in der zu trennenden Lösung, in der Regel ist dies Wasser, die Membran nahezu ungehindert passieren (permeieren) kann, während andere Komponenten mehr oder weniger stark zurückgehalten werden. Bei der natürlichen Osmose permeiert daher bevorzugt die Lösungsmittelkomponente Wasser durch die Membran aus der verdünnten Lösung in die konzentrierte Lösung, bis ein Konzentrationsausgleich geschaffen ist.

Durch das Aufprägen eines den osmotischen Druck übersteigenden Druckes kann dieser Prozess umgekehrt werden, so dass die konzentriertere Lösung entwässert, d. h. aufkonzentriert werden kann. Dieser Prozess wird in der technischen Anwendung dementsprechend Umkehrosmose genannt. Der Zulaufstrom (Feed) wird in ein gereinigtes Wasser (Permeat) und einen höher konzentrierten Ablauf, das Konzentrat, aufgetrennt.

Das verfahrenstechnische Grundprinzip der Mikro- bzw. Ultrafiltration ist mit der Umkehrosmose vergleichbar, jedoch beruht die Trennwirkung nicht auf einer Diffusion, sondern auf einer reinen Filtration. Der osmotische Druck des Mediums ist hierbei nicht relevant. Durch die Mikro- bzw. Ultrafiltration können im Gegensatz zur Umkehrosmose keine gelösten Stoffe abgetrennt werden, sondern lediglich Suspensa und zum Teil Bakterien.

Die Trennschärfe synthetisch hergestellter semipermeabler Membranen zum Einsatz in Umkehrosmose- und Nanofiltrationsanlagen deckt dabei den niedermolekularen Bereich der Filtrations- und Trennverfahren mit einer Teilchengröße von ca. 0,5 bis 10 nm ab. Man spricht hierbei auch oft von der Trenncharakteristik der Membran, welche dann auch als cut-off oder Molekulargewichtstrenngrenze angegeben wird. Diese

Trenngrenze entspricht bei der Umkehrosmose ca. 30 - 50 g/mol und bei der Nanofiltration ca. 180 - 250 g/mol.

Eine Übersicht über die Trennschärfe der verschiedenen Membranfiltrationsverfahren zeigt Abbildung 3-11. Nanofiltrations- und Umkehrosmoseverfahren können ein sehr breites Spektrum an Substanzen nahezu vollständig zurück halten. Viele Spurenstoffe, wie Arzneimittel, bewegen sich im Trennbereich der Nanofiltration und Umkehrosmose.

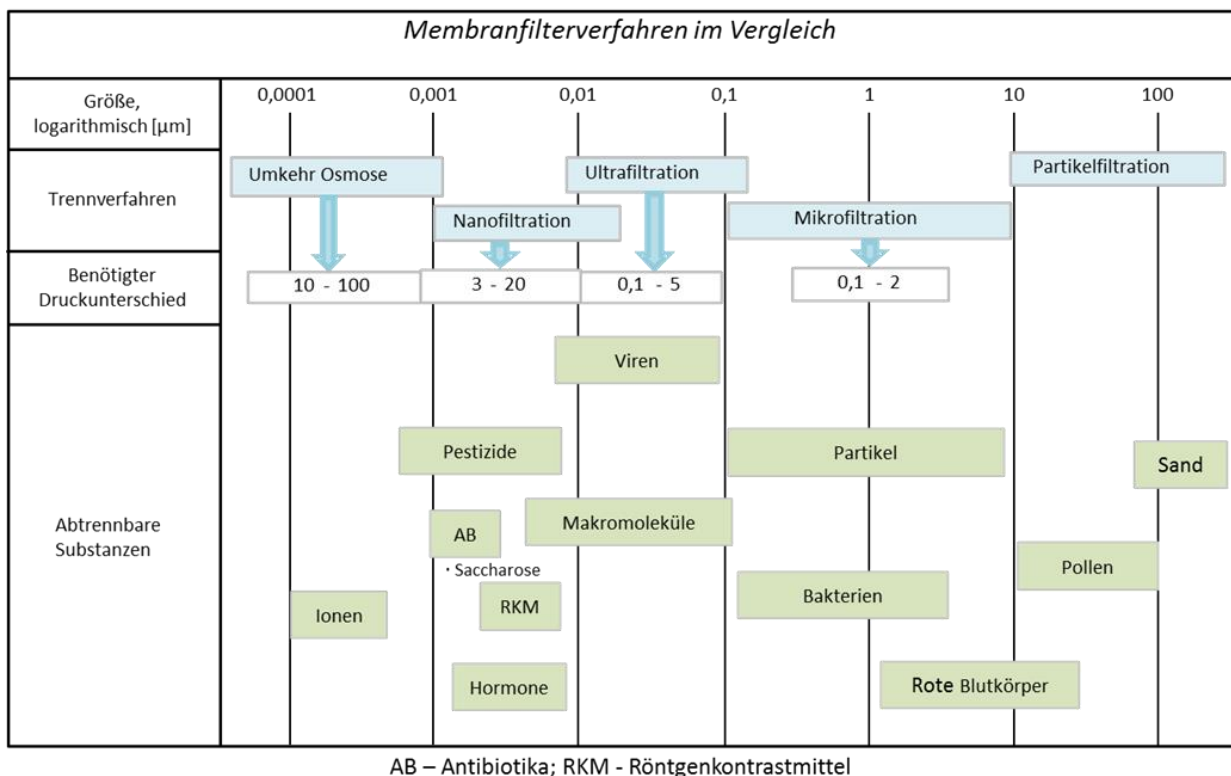


Abbildung 3-11: Membranfiltrationsverfahren im Vergleich

Je nach Trenncharakteristik der eingesetzten Membranen können somit nahezu alle im Wasser- bzw. Abwasser gelösten organischen und anorganischen Stoffe, teilweise selektiv, abgetrennt werden. Diese Verfahren werden somit eingesetzt, um gelöste Stoffe, die durch eine konventionelle Filtrationstechnik nicht abtrennbar sind, aus Lösungen zu entfernen.

Die konventionellen Filtrationstechniken, wie Ultra-, Mikro- und Partikelfiltration, werden für das Abtrennen von Kolloiden und Feststoffen aus einer Lösung an einer Porenmembran eingesetzt. Diese Anlagen können daher mit geringen Drücken, je nach System und Anwendung ca. 1-10 bar, betrieben werden. Bei der Umkehrosmose muss zuerst der osmotische Druck der Lösung überwunden werden, bevor eine Auftrennung der Lösung stattfinden kann. Daher sind vor allem bei der Umkehrosmose erheblich höhere Drücke erforderlich. Für die Nanofiltration gilt dies nur bedingt, da die einwertigen Neutralsalze zum größten Teil die Membran passieren und somit eine geringere Konzentrationsdifferenz zwischen der Konzentrat- und

der Permeatseite vorhanden ist als bei der Umkehrosmose. Daher können Nanofiltrationsanlagen in der Regel mit deutlich niedrigeren Betriebsdrücken betrieben werden.

Der Betriebsdruck der eingesetzten Membranen und Modulen war lange Zeit auf etwa 60 bis 80 bar für die Umkehrosmose und auf ca. 40 bar für die Nanofiltration begrenzt. Mittlerweile sind Systeme verfügbar, deren Konstruktionen Betriebsdrücke zwischen 120-300 bar für die Umkehrosmose erlauben. Der Trennvorgang wird dabei an der Membran von einer nur ca. 0,1-0,2 mm dicken aktiven Schicht geleistet, während die darunter liegende poröse Stützschiicht (ca. 0,1-0,2 mm) für die notwendige Festigkeit sorgt. Da der Betriebsdruck stets deutlich über dem maximal auftretenden osmotischen Druck des erzeugten Konzentrates liegen muss, ist der Aufkonzentrierung eine natürliche Grenze gesetzt.

Die Anwendbarkeit der Membrantechnik bei der Abwasserreinigung wird neben der konstruktiven Gestaltung der einzelnen Modul- bzw. Membransysteme auch durch eine Vielzahl von weiteren begrenzenden Faktoren beeinflusst. In Abbildung 3-12 sind einige dieser Faktoren und deren Einflüsse auf die Anlage dargestellt.

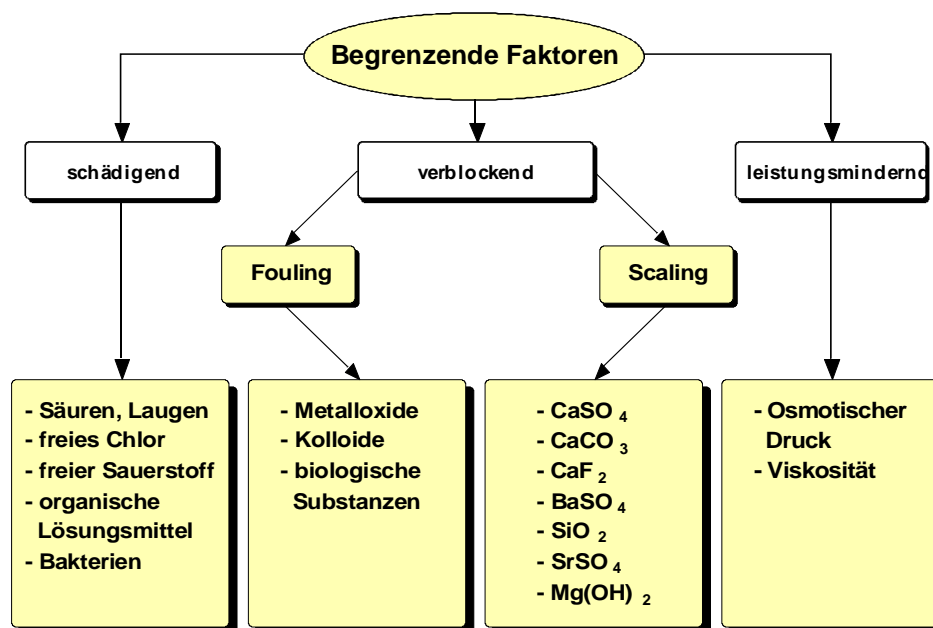


Abbildung 3-12: Begrenzende Faktoren

Die chemisch-physikalischen Grundlagen der Abwasseraufbereitung durch Membrantechnik machen vor dem Hintergrund der oben dargestellten Einflussfaktoren in der Regel einige Vorbehandlungsschritte (biologische Vorreinigung, Vorfiltration, Zugabe von Inhibitoren etc.) und betriebliche Maßnahmen (chemische Reinigung der Membranen etc.) notwendig, um in der Praxis eine ausreichende Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit sicherstellen zu können.

NF und UO werden in der Trinkwasseraufbereitung (z.B. bei Verunreinigungen mit Pestiziden) und bei der Behandlung von industriellen Prozessströmen eingesetzt, die Umkehrosmose vorwiegend in der Meerwasserentsalzung und der Produktion von Reinstwasser.

3.3.1.1 Apparative Ausführung der Membranen

Prinzipiell lässt sich jeder beliebige cut-off einer Membran herstellen. Großtechnisch im Bereich der Abwasserbehandlung eingesetzte Membranen sind jedoch hinsichtlich der Reinigungsleistung vergleichbar, wobei sich die bei der Nanofiltration eingesetzten Membranen durch eine erhöhte Durchlässigkeit für einwertige Salze bei gleichzeitig guten Reinigungsleistungen für bestimmte Schadstoffe (insbesondere Organik) auszeichnen.

Ausschlaggebend für die Auswahl und die Verschaltung der Membranmodule innerhalb der Membranstufen ist grundsätzlich die Notwendigkeit einer ausreichenden Überströmungsgeschwindigkeit an der Membranoberfläche.

Großtechnisch werden im Bereich Abwasser folgende Modulformen eingesetzt, welche sich hauptsächlich durch die konstruktive Gestaltung, d.h. die Anordnung der Membranen im Modul, unterscheiden:

- ⇒ Tubular- bzw. Rohrmodule
- ⇒ Scheiben- bzw. Diskmodule
- ⇒ Kassetten- bzw. Plattenmodule
- ⇒ Wickelmodule.

Die Unterschiede zwischen diesen Modulbauarten bestehen im Wesentlichen in der Packungsdichte (Membranfläche bezogen auf das Bauvolumen) und in der Größe der Strömungsquerschnitte.

Die Module werden bei der großtechnischen Anwendung zu einzelnen Blöcken verschaltet. Zur Sicherstellung ausreichender Strömungsgeschwindigkeiten wird innerhalb eines Blocks ein Mehrfaches der abgepressten Permeatmenge umgewälzt, so dass der gesamte Block auf einem nahezu konstanten Konzentrationsniveau arbeitet. Der umzuwälzende Volumenstrom ergibt sich aus der Aufteilung der Module auf parallele und in Reihe geschaltete Stränge, wobei die Anzahl der in Reihe geschalteten Module über den maximal zugelassenen Druckverlust begrenzt wird. Entsprechend der Geometrie der verschiedenen Module ergeben sich für die umzuwälzenden Volumenströme und die sich daraus ergebenden Pumpleistungen erhebliche Unterschiede.

3.3.2 Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

Nanofiltration und Umkehrosmose können ein breites Stoffspektrum der Mikroverunreinigungen nahezu vollständig zurückhalten. Um kommunales Abwasser jedoch mittels Nanofiltration oder Umkehrosmose behandeln zu können, ist eine sehr gute Vorreinigung (z.B. Ultrafiltration) die Voraussetzung, da die eingesetzten Membranen insbesondere vor ungelösten Stoffen gut geschützt werden müssen, um Belagbildung und Verstopfungen zuverlässig zu vermeiden.

Beim Einsatz der Membranverfahren fallen stets zwei Wasserströme an, einerseits das gereinigte Abwasser (Permeat), andererseits das Konzentrat oder Retentat, welches die abgetrennten Stoffe enthält und bis zu 25% des Eingangsvolumenstroms ausmachen kann. Während das gereinigte Abwasser abgeleitet werden kann, verbleibt nach der Membranbehandlung ein Konzentrat, das die abgetrennten Abwasserinhaltsstoffe enthält. Je nach eingesetzter Verfahrenstechnik sind die Konzentratmengen unterschiedlich groß. Das Konzentrat muss weiter behandelt und/oder entsorgt werden. Lösungsmöglichkeiten für die Konzentratsorgung in großen Mengen stehen zurzeit noch nicht zur Verfügung.

Membranen kommen für die Entfernung von Mikroverunreinigungen sowie von Keimen aus dem kommunalen Abwasser zwar in Frage und lassen die beste Eliminationsleistung erwarten, der hohe Energieverbrauch sowie die ungelöste Frage nach der Behandlung des Konzentrats sprechen jedoch gegen ihren Einsatz.

3.4 Sonstige Verfahren

3.4.1 AOP Advanced Oxidation Processes

Unter „Advanced Oxidation Processes“ (AOP) versteht man beispielsweise den Einsatz UV und H_2O_2 , UV und TiO_2 (oder einem anderen Halbleiter), O_3 und H_2O_2 und weiteren Oxidationsmitteln. AOP sind grundsätzlich in der Lage, ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. AOP beruhen auf der Oxidation von organischen Inhaltsstoffen durch OH-Radikale ($\text{OH}\cdot$). OH-Radikale müssen vor Ort (im Wasser) erzeugt werden und können nicht gelagert werden. Sie sind hoch reaktiv und reagieren mit praktisch allen organischen Stoffen, d. h. mit Mikroverunreinigungen, aber auch mit Hintergrund-DOC sowie mit einigen anorganischen Verbindungen. Die angegriffenen Substanzen werden wie bei der Ozonung in der Regel nicht zu CO_2 mineralisiert, sondern transformiert, wobei unbekannte Reaktionsprodukte entstehen. Aufgrund der hohen Reaktivität der Radikale ist eine gute Vorreinigung des Abwassers notwendig, damit die Radikale möglichst effizient mit den Mikroverunreinigungen reagieren können.

Für den Einsatz in kommunalen Kläranlagen sind diese Verfahren mittelfristig nicht geeignet. Es liegen bisher kaum Betriebserfahrungen in kommunalem Abwasser vor, des Weiterem sind der Energieverbrauch und die Kosten gegenüber der reinen Ozonung oder der Aktivkohlebehandlung höher.

3.4.2 Weitere Verfahren

3.4.2.1 Ferrat

Bei Ferrat handelt es sich um sechswertiges Eisenoxid (Fe(VI)O_4^{2-}), das erst vor kurzem für die Behandlung von Abwasser entdeckt wurde. Ähnlich wie Ozon reagiert auch Ferrat selektiv mit bestimmten chemischen Bindungen (funktionellen Gruppen). Die Elimination von Mikroverunreinigungen ist stark abhängig von der Dosis. Die Dosierung erfolgt in einen Kontaktreaktor. Der Vorteil von Ferrat ist, dass es bei der Reaktion zu dreiwertigem Eisen reduziert wird, das für die Phosphatfällung genutzt werden kann. Die Anwendung von Ferrat wurde zunächst im Labormaßstab getestet, wobei diese Versuche vielversprechend verliefen.

Ferrat kann, ähnlich wie Pulveraktivkohle, in die Belebung oder in eine eigene Behandlungsstufe dosiert werden. Bei der Dosierung in die Belebung ist eine höhere spezifische Dosiermenge notwendig. Die chemische Reaktivität ist etwas geringer als beim Ozon. Da Ferrat bislang nicht im industriellen Maßstab hergestellt wird, sind die Kosten relativ hoch. Die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit muss in der kommenden Zeit noch genauer untersucht werden. (20)

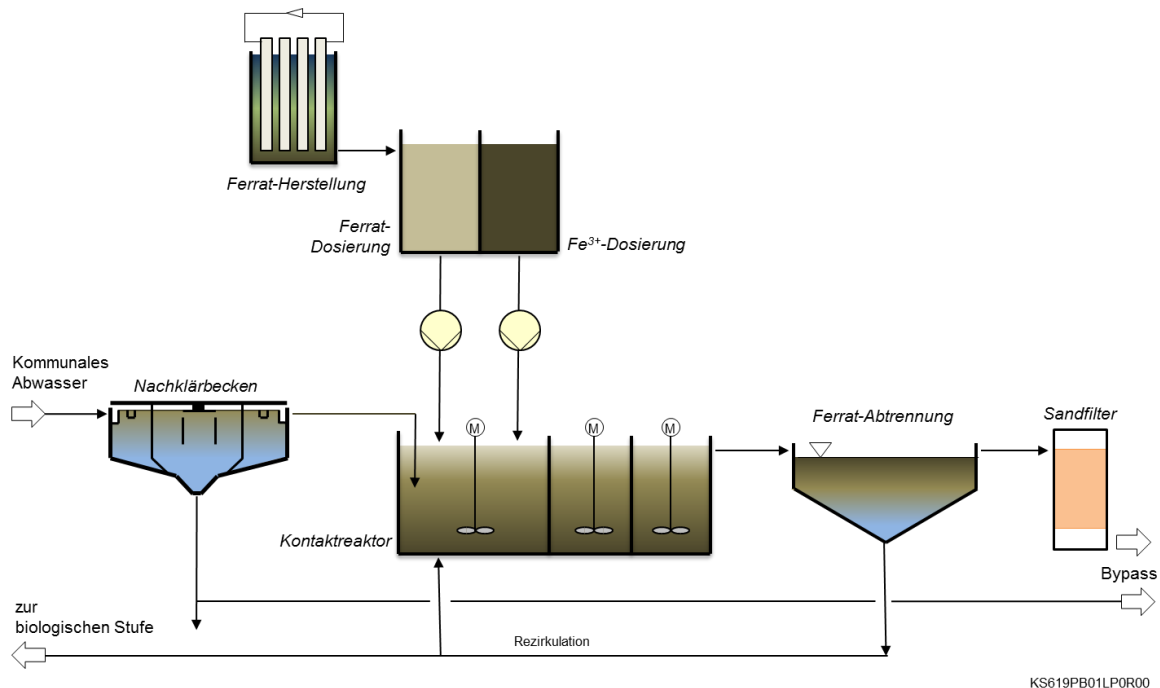


Abbildung 3-13: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Spurenstoffelimination (nach (20))

3.4.2.2 Chlor/Chlordioxid:

Chlor und Chlordioxid werden in der Trinkwasseraufbereitung hauptsächlich zur Desinfektion eingesetzt. Chlor ist ein starkes Oxidationsmittel, das selektiv mit bestimmten chemischen Bindungen reagiert. Es konnte gezeigt werden, dass Chlor keine Breitbandwirkung aufweist, d. h. nur ein kleines Stoffspektrum eliminieren kann. Für diese Eliminationsleistung sind zudem große Mengen Chlor notwendig (mehr als für die Desinfektion). Durch den hohen Gehalt an organischen Stoffen im Abwasser werden dabei relativ große Mengen an problematischen Nebenprodukten wie AOX (z.B. Trihalomethane) gebildet. Der Einsatz von Chlor ist daher für die Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser nicht geeignet. (20)

3.5 Photolyse

Bei der Photolyse wird das Abwasser mit einer Strahlungsquelle bestrahlt. Dies kann entweder natürliches Sonnenlicht oder künstliche UV-Strahlung sein. UV-Strahlung ist für die Desinfektion von Trink- und Ab-

wasser weit verbreitet. Zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser ist die Photolyse jedoch nicht geeignet, da nur relativ wenige Substanzen entfernt werden können und damit die Breitbandwirkung nicht gegeben ist. (20)

3.6 **Ultraschall**

Durch die Behandlung von Abwasser mit Ultraschall entstehen sehr kleinräumige und kurzlebige Mikroblasen, die lokal zur Freisetzung von großen Energiemengen führen. Dies führt zu einer Vielzahl von Prozessen, wie Pyrolyse oder Bildung von O- und OH-Radikalen. Durch diese Prozesse können Mikroverunreinigungen oxidiert werden. Dieses Verfahren muss in Zukunft noch genauer untersucht werden. (20)

3.7 **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 (20). 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 (vgl. Kap. 3.2.2). (26)

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 (24). Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (25) liegen die durchsetzbaren Bettvolumina in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt des Abwassers bei 5.000 bis 10.000 BV (DOC 14 bis 17 mg/l) bzw. 4.700 bis 24.000 BV (5 bis 11 mg/l DOC). Zu beachten ist jedoch bei der Betrachtung der erreichbaren Bettvolumina, dass eine Parallelschaltung und eine entsprechende 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 (25).

3.7.1 Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

In Nordrhein-Westfalen und in Baden-Württemberg wurden bereits mehrere großtechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination errichtet und in Betrieb genommen. Auch in der Schweiz beschäftigt man sich intensiv durch den Betrieb von Versuchsanlagen und großtechnischen Anlagen mit der Spurenstoffelimination.

Großtechnische Anlagen sind unter anderem auf den nachfolgend genannten Kläranlagen in Betrieb:

| | |
|--------------------------|--------------------------------|
| KA Bad Sassendorf: | Ozonung |
| KA Duisburg- Vierlinden: | Ozonung |
| KA Mannheim: | PAK-Dosierung in Kontaktbecken |

| | |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| KA Schwerte: | PAK-Dosierung und Ozonung |
| KA Buchenhofen: | PAK- Dosierung in Filterzelle |
| KA Obere Lutter: | GAK-Filtration |
| KA Gütersloh- Putzhagen | GAK-Filtration (Teilstrombehandlung) |
| KA Dülmen | PAK - Kombination aus Sedimentation und Filtration |
| KA Rietberg | GAK-Filtration |

In den kommenden Jahren werden mit den jetzt schon in Betrieb befindlichen Anlagen und mit den momentan im Bau befindlichen Anlagen weitergehende Betriebserfahrungen gesammelt, die für eine Optimierung der oben genannten Verfahren genutzt werden können. Mit fortschreitender technologischer Entwicklung und weiteren Betriebserfahrungen werden in Zukunft möglicherweise weitere Verfahren zur Verfügung stehen.

4 Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Hopsten

Die Auswertung der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Betriebstagebücher der Kläranlage Hopsten erfolgt für den Zeitraum 01.01.2012 bis 31.12.2014.

4.1 Tagesabwassermengen

Die Tagesabwassermengen für die Jahre 2012 bis 2014 sind in Abbildung 4-1 gezeigt. Die mittlere tägliche Menge, die in der KA Hopsten behandelt wurde, beträgt etwa 886 m³/d.

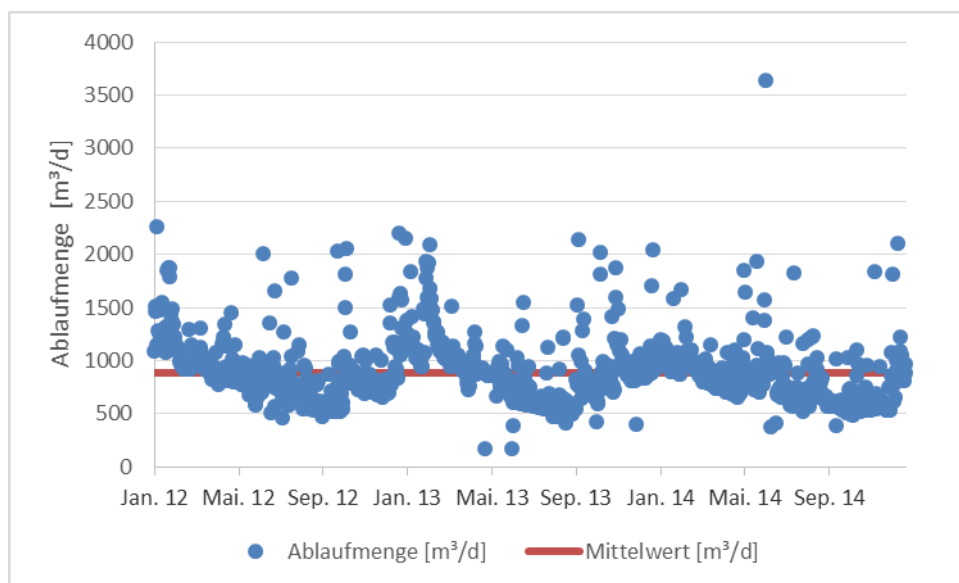


Abbildung 4-1: Tageszulaufmenge der Kläranlage Hopsten 2012 - 2014

In Tabelle 4-1 sind der Durchschnitt und das 85 %-Perzentil der Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage Hopsten sowie die aus diesen Zulauffrachten ermittelten angeschlossenen Einwohnerwerte [EW] zusammengefasst. In elwasweb werden 2014 im Mittel 6.308 EW angegeben (11). Im Folgenden werden einwohnerspezifische Angaben auf der Grundlage dieses Wertes berechnet.

Tabelle 4-1: Tagesschmutzfrachten und Einwohnerwerte (Durchschnitt und 85 %-Perzentil) der Kläranlage Hopsten

| Parameter | Durchschnittliche Tagesfracht | Ermittelte Einwohnerwerte (Durchschnitt) | 85 %-Perzentil Tagesfracht | Ermittelte Einwohnerwerte 85 %-Perzentil |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Einheit | kg/d | EW | kg/d | EW |
| CSB | 896 | 7467 | 1242 | 10353 |
| BSB ₅ | 403 | 6725 | 518 | 8636 |
| N _{ges.} | 83 | 7517 | 108 | 9840 |
| P _{ges.} | 10 | 5828 | 15 | 8095 |

Die Kläranlage Hopsten ist im Vergleich der 85 %-Perzentilbelastung zu ihrer Ausbaugröße von 12.500 EW in der Regel nicht voll ausgelastet.

4.2 Belebung

Auf der Kläranlage Hopsten besteht die biologische Stufe aus einem Bio-P-Becken, einem Denitrifikationsbecken und 2 belüfteten Nitrifikationsbecken ($V_I = 1.065 \text{ m}^3$, $V_{II} = 1.095 \text{ m}^3$). Der Schlammindex (Biologie 2 (BB2)) ist in Abbildung 4-2 gezeigt. Er liegt relativ stabil um einen Mittelwert von ca. 96 ml/g. Ab Herbst 2014 ist ein Anstieg des Schlammindex zu erkennen, der vermutlich durch die Umfahrung des Rücklaufschlammumpferwerks verursacht wurde. Zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Studie war der ISV bereits wieder rückläufig.

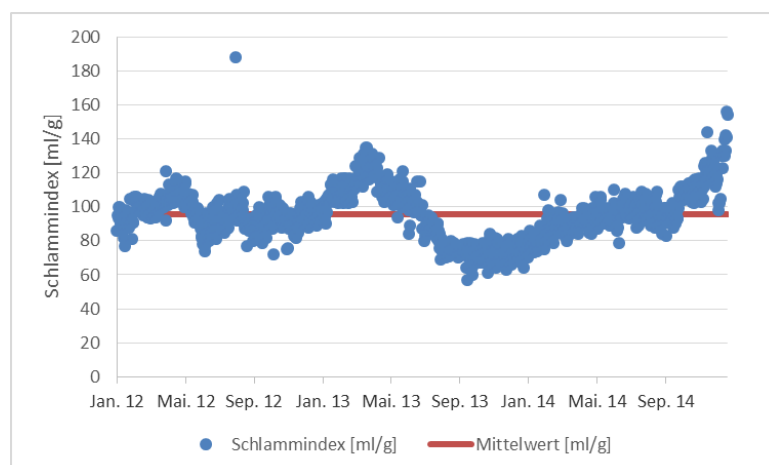


Abbildung 4-2: Schlammindex

Der Trockensubstanzgehalt (Abbildung 4-3) und das Schlammvolumen (Abbildung 4-4) zeigen den gleichen Anstieg ab Herbst 2014, wobei dieser für das Schlammvolumen deutlicher ausfällt als für den Trockensubstanzgehalt. Der Mittelwert des Trockensubstanzgehaltes liegt bei ca. 6,7 g/l; der Mittelwert des Schlammvolumens beträgt ca. 317 ml/l.

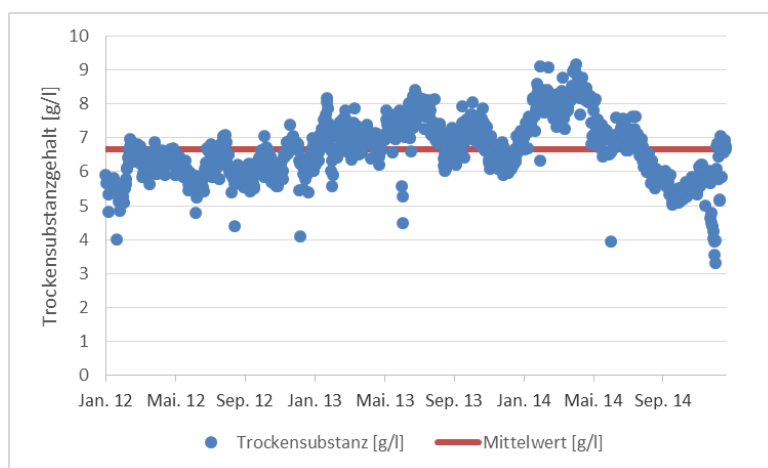


Abbildung 4-3: Trockensubstanzgehalt

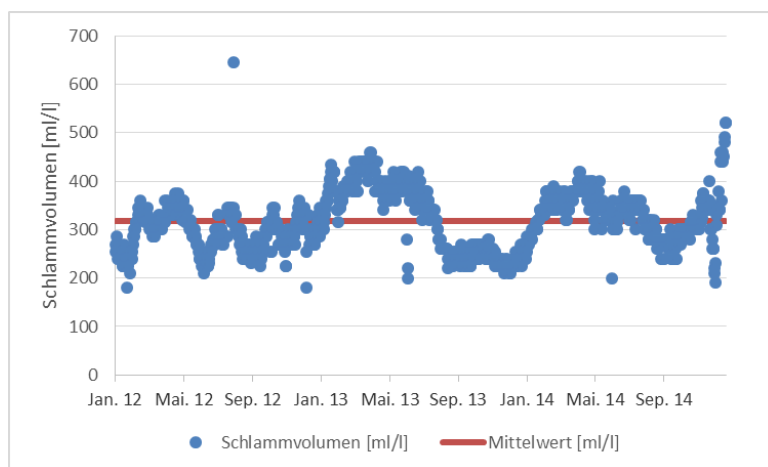


Abbildung 4-4: Schlammvolumen

4.3 Ablauf der Nachklärung

In Abbildung 4-5 ist die CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Hopsten in den Jahren 2012 bis 2014 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 36 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 46,6 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 56 mg/l wird von der Kläranlage Hopsten sicher eingehalten.

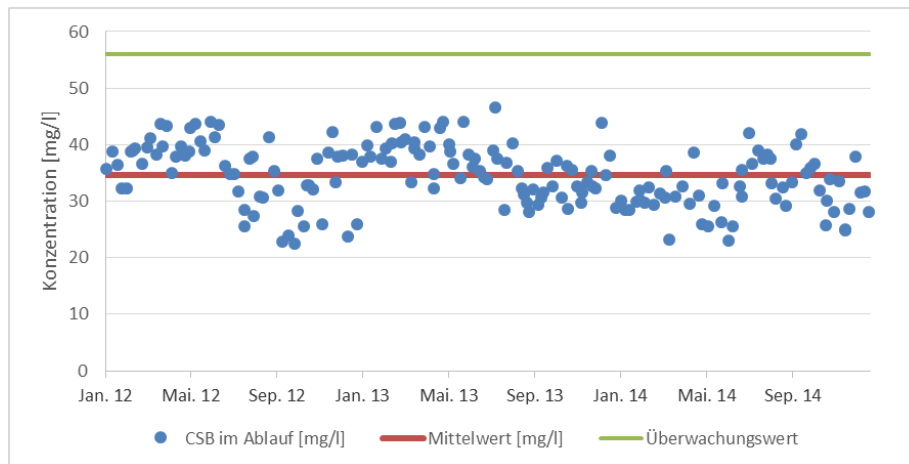


Abbildung 4-5: CSB-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

Der Gesamtgehalt an anorganisch gebundenem Stickstoff (N_{anorg} , berechnet als Summe der Konzentrationen von $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$) liegt im Mittel bei 3,8 mg/l (Abbildung 4-6). Als maximale Konzentration wurden im Betrachtungszeitraum 11,4 mg/l gemessen. Damit wird auch hier der Überwachungswert von 18 mg/l sicher eingehalten.

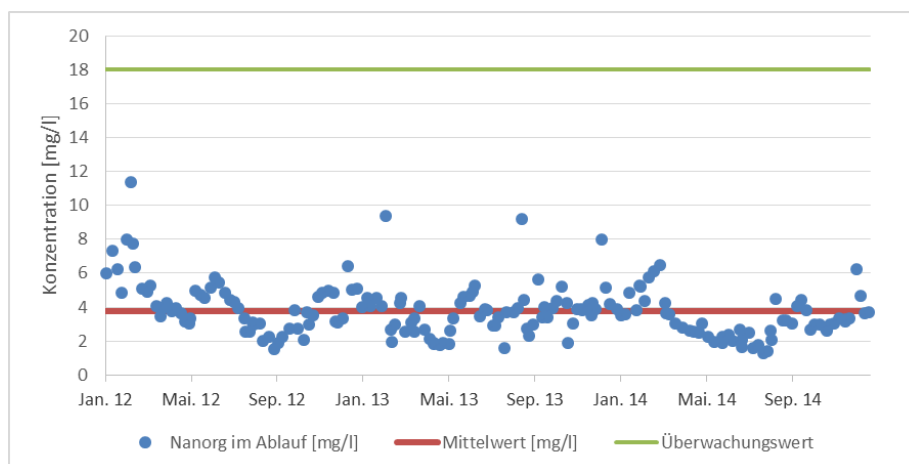


Abbildung 4-6: N_{anorg} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

Abbildung 4-7 zeigt die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Kläranlagenablauf sowie die Temperatur in der Belebung. Im Mittel beträgt die Konzentration 0,51 mg/l, wobei die Konzentration im Winter (bei niedrigen Temperaturen) höher ist als im Sommer. Die gemessenen Höchstwerte liegen bei 6,9 mg/l, allerdings bei einer Temperatur in der Belebung von nur 8,6 °C, so dass der Überwachungswert hier keine Gültigkeit hatte. Der Überwachungswert von 4 mg/l wird oberhalb einer Belebungstemperatur von 12 °C sicher eingehalten.

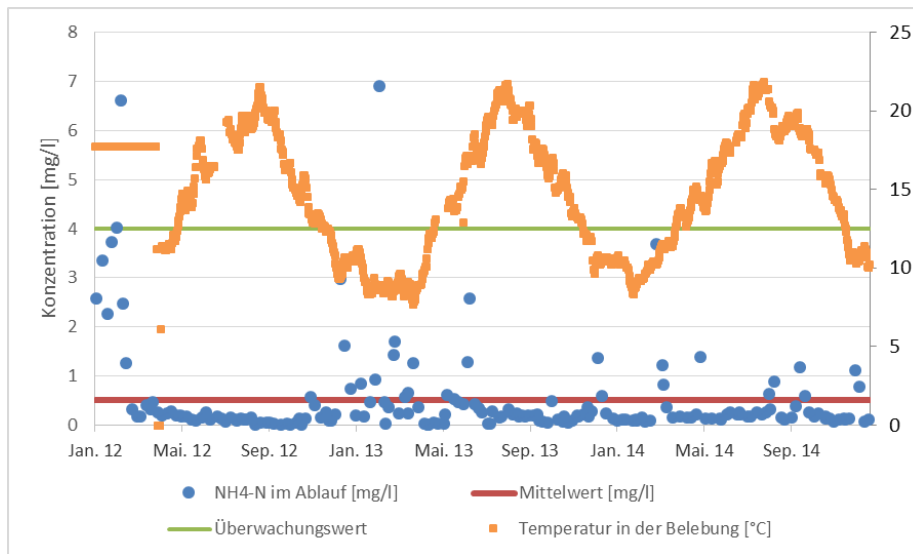


Abbildung 4-7: NH₄-N-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

Die P_{ges}-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Hopsten ist in Abbildung 4-8 dargestellt. Der Überwachungswert lag bis zum 31.05.2014 bei 1,5 mg/l, zum 01.06.2014 wurde er auf 1 mg/l gesenkt. Die P_{ges}-Konzentration im Ablauf der Kläranlage liegt im Mittel bei 0,4 mg/l. In der Regel wurde der Überwachungswert sicher eingehalten.

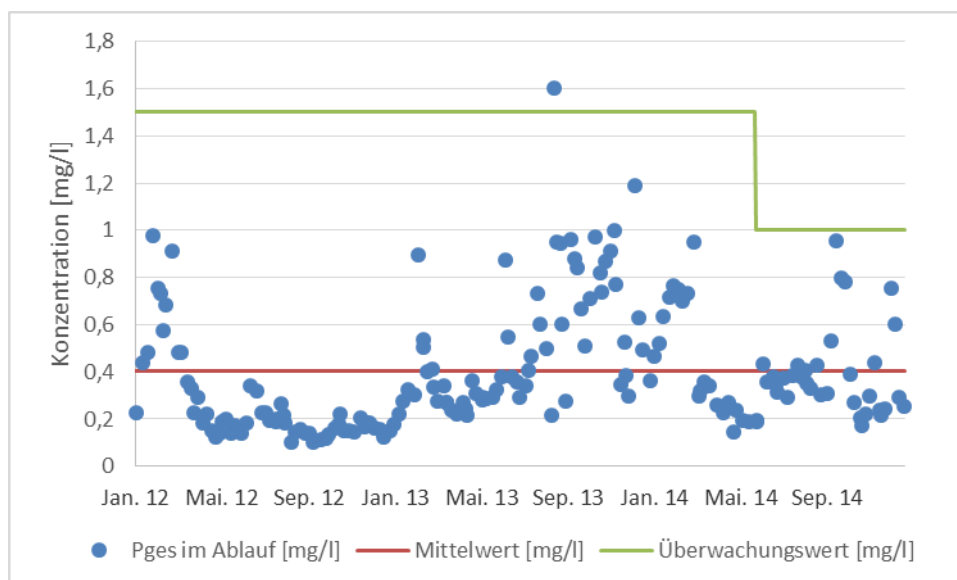


Abbildung 4-8: P_{ges}-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

Die Konzentrationen von NO₂-N und NO₃-N sind in Abbildung 4-9 und Abbildung 4-10 dargestellt. Die NO₂-N-Konzentration liegt im Mittel bei 0,06 mg/l. Im Sommer kann sie jedoch darüber liegen und erreicht im Betrachtungszeitraum maximal 0,57 mg/l. Insbesondere im Sommer kann es über längere Zeiträume zu

Werten um 0,12 mg/l kommen. Die NO_3 -Konzentrationen schwanken im betrachteten Zeitraum stark. Sie betragen im Mittel 3,2 mg/l und liegen maximal bei 8,8 mg/l.

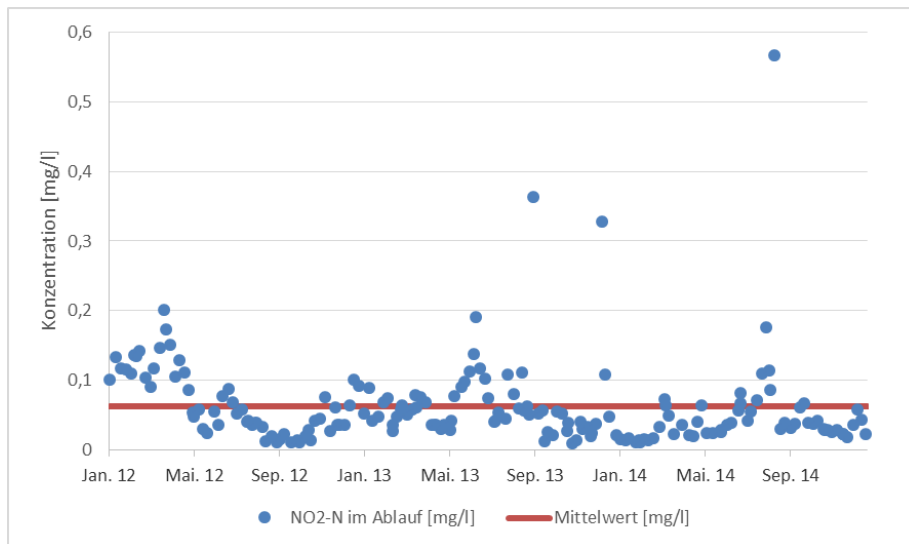


Abbildung 4-9: NO_2 -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

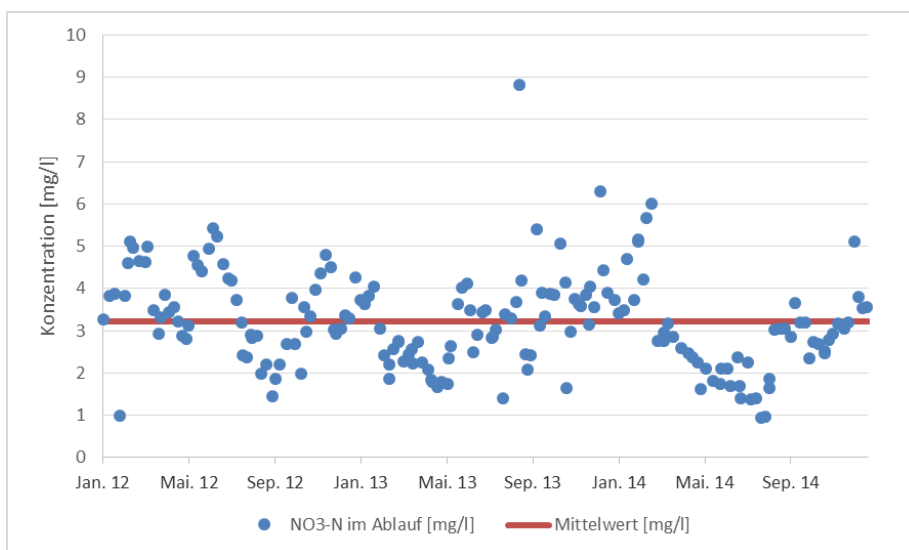


Abbildung 4-10: NO_3 -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hopsten

4.4 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe

Die Kläranlage Hopsten ist in Bezug auf ihre Ausbaugröße von 12.500 EW mit zurzeit ca. 8.600 angeschlossenen Einwohnern (bezogen auf das 85 %-Perzentil des BSB_5 -Zuflusses) nicht vollständig ausgelastet. Das Reinigungsergebnis der Kläranlage ist insgesamt als sehr gut einzuschätzen.

Generell ist es für den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe wünschenswert, wenn die Stoffkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung möglichst gering sind. Flockenabtrieb aus der Nachklärung und hohe CSB- (bzw. BSB₅-) Konzentrationen sind für alle in Frage kommenden Verfahren von Nachteil (vergleiche Kap. 3). Ebenso sind hohe Nitritablaufkonzentrationen für den Einsatz von Behandlungsverfahren mit Ozon zu vermeiden. Nitrit verursacht eine hohe Ozonzehrung, was sich negativ auf die Betriebskosten auswirkt.

Zurzeit erreicht die CSB-Konzentration selten mehr als 41 mg/l. Über 47 mg/l liegt die CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage nicht. Damit zeigt die Kläranlage Hopsten eine sehr gute Reinigungsleistung. In der Regel liegen die Nitritkonzentrationen niedrig, sie können aber zwischenzeitlich auch etwas ansteigen. Die Phasen mit erhöhtem Nitritgehalt im Abwasser werden bei der Auslegung der 4. Reinigungsstufe (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Ozon) berücksichtigt.

4.5 **Bisherige Untersuchungen durch den Betreiber der Kläranlage**

4.5.1 Untersuchungen des Vorfluters

Untersuchungen der Giegel Aa erfolgten im Mai 2013, im Juli 2014, im Dezember 2014 und im Juli 2015. (Kap. 7.1 bis 7.4). Im Mai 2013 konnte dabei insbesondere eine Erhöhung der NO₃-N-Konzentration von 2,5 mg/l auf 3,8 mg/l in der Giegel Aa unterhalb der Einleitstelle festgestellt werden. Im Juli 2014 konnte dagegen eine Verringerung der NO₃-N-Konzentration von 5,5 mg/l auf 3,5 mg/l unterhalb der Kläranlage Hopsten festgestellt werden, wobei auch die Sauerstoffzehrung verringert war (von 3,9 mg/l auf 2,0 mg/l). Im Dezember 2014 konnten keine Veränderungen der Giegel Aa unterhalb der Einleitstelle festgestellt werden. Im Juli 2015 wurde unterhalb der Kläranlage ein höherer Sauerstoffgehalt (und damit eine höhere Sauerstoffsättigung) festgestellt, wobei der Sauerstoffgehalt von 7,9 mg/l auf 9,12 mg/l stieg. Daneben wurden eine erhöhte Sauerstoffzehrung (stieg von 1,5 mg/l auf 2,4 mg/l) und ein höherer TOC-Wert (stieg von 5,4 mg/l auf 7,2 mg/l) gefunden.

Zu beachten ist dabei, dass die Unterschiede jedoch auch durch Messungenauigkeiten oder, da die Anzahl der Proben gering ist, durch Zufallsfehler verursacht sein können. Insgesamt lässt sich auf Basis der vorliegenden Daten keine klare Aussage zum Einfluss der KA Hopsten auf die Wasserqualität der Giegel Aa treffen.

Die PERLODES-Untersuchung aus dem Jahr 2014 (Kap. 7.5) ergab eine „unbefriedigende“ Qualitätsklasse der Giegel Aa sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Hopsten. Damit wurde das Qualitätsziel der WRRL (mindestens „guter“ Zustand) verfehlt. Ausschlaggebend für die Gesamtbewertung war dabei in beiden Fällen das Teilmodul „Allgemeine Degradation“, das mit „unbefriedigend“ bewertet wurde. Im Modul „Saprobie“, das auch die Belastung mit organischen Wasserinhaltsstoffen über einen längeren Zeitraum berücksichtigt, erreichte die Giegel Aa dagegen sowohl ober- als auch unterhalb der Kläranlage eine „gute“ Bewertung.

4.5.2 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs

Die Ergebnisse der Untersuchungen der allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter des Kläranlagenablaufes wurden für die Jahre 2012 bis 2014 ausgewertet. Bei den Proben handelt es sich um Proben, die im Rahmen der LANUV-Überwachung genommen werden. In allen Proben werden die gültigen Überwachungswerte der Kläranlage Hopsten eingehalten (siehe Tabelle 4-2).

Tabelle 4-2: Analyse der LANUV-Untersuchungen des Kläranlagenablaufs

| | Mittelwert | Maximalwert | Überwachungswert |
|----------------------|------------|-------------|------------------|
| CSB | 37,4 | 47,2 | 56 |
| N _{ges} | 4,3 | 9,4 | 18 |
| NH ₄ -N | 0,69 | 6,99 | 4 |
| NO ₃ -N | 3,2 | 8,5 | -- |
| NO ₂ -N | 0,07 | 0,17 | -- |
| N _{mineral} | 3,85 | 11,82 | -- |

4.6 **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 (Kap. 7.6). 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 (Kap. 7.7, 7.8 und 7.9). 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.

4.7 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 (vgl. Kap. 2.3), 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. Die untersuchten Stoffe für beide Messdurchgänge sind in Tabelle 4-3 (Zu- und Ablauf) und Tabelle 4-4 (nur Ablauf) zusammengefasst.

Tabelle 4-3: Untersuchte Parameter im Zu- und Ablauf der Kläranlage Hopsten

| Untersuchte Stoffe im Ab- und Zulauf der Kläranlage | |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Antibiotika</i> | Clarithromycin, Sulfamethoxazol |
| <i>Betablocker</i> | Atenolol, Metoprolol, Bisoprolol, Sotalol |
| <i>Hormone</i> | 17-beta-Estradiol, 17-alpha-Ethinylestradiol, Estron |
| <i>weitere Humanpharmaka</i> | Diclofenac, Naproxen, Bezafibrat, Oxazepam, Phenazon, Carbamazepin |
| <i>Röntgenkontrastmittel</i> | Amidotrizoesäure, Iopamidol, Iomeprol, Iopromid |
| <i>Zuckerersatzstoffe</i> | Acesulfam K, Sucralose, Saccharin, Cyclamat |
| <i>Auswahl prioritärer Stoffe (Anhang X der WRRL)</i> | Atrazin, Tetrabromdiphenylether (BDE 47), Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylene, DEHP, Diuron, Fluoranthren, Isoproturon, Nonylphenol, Octylphenol, Pentachlorphenol, Simazin, Tributylzinnverbindungen, Trichlormethan, Terbutryn |
| <i>Industriechemikalien</i> | Benzotriazol, Methylbenzotriazol |

Tabelle 4-4: Untersuchte Parameter im Ablauf der Kläranlage Hopsten

| Nur im Ablauf der Kläranlage untersuchte Stoffe | |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Schwermetalle</i> | Cadmium (-verbindungen), Quecksilber (-verbindungen), Nickel (-verbindungen), Blei (-verbindungen), Chrom |
| <i>ACP's</i> | Temperatur ¹⁾ , Farbe, Geruch, Sauerstoffkonzentration ¹⁾ , pH, NH ₄ -N, NO ₃ ⁻ -N, NO ₂ ⁻ -N, P _{ges} , ortho PO ₄ ⁻ -P, TOC, Chlorid, Leitfähigkeit |
| <i>Sonstiges</i> | AOX, Bromid |

¹⁾ nur im ersten Durchgang untersucht

Die erste Probenahme erfolgte im Oktober 2015, die zweite Probenahme wurde im April 2016 durchgeführt. Die Untersuchung der Proben wurde durch das Labor Wessling durchgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in Kap. 7.10 und 7.11. In Tabelle 4-5 sind die Ergebnisse der Analysen des Kläranlagenablaufs 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. Zu beachten ist, dass die Werte für einige Stoffe unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen (Fluoranthren, 17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol).

Die Ergebnisse zeigen für einige Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Saccharin, Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)).

In Tabelle 4-7 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 4-5: Ergebnisse der Spurenstoffuntersuchungen inkl. Referenzwerten

| Physikalische Untersuchung | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-----------------------------------|-------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| pH-Wert | | | 7,5 | | 7,5 | 7,9 | 8,1 | | |
| Leitfähigkeit [25°C], elektrische | µS/cm | | 1050 | | 780 | 1178 | 1460 | | |

| Summenparameter | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-----------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| AOX | mg/l | | <0,02 | | 0,026 | 0,0242 | 0,0370 | | |
| TOC | mg/l | | 12 | | 9,3 | 10 | 12 | | |

| Kationen, Anionen und Nichtmetalle | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|------------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Ammonium (NH4) | mg/l | | 0,24 | | 0,64 | 1,31 | 1,90 | | |
| Ammonium-Stickstoff (NH4-N) | mg/l | | 0,19 | | 0,50 | 1,02 | 1,50 | | |
| Bromid (Br) | mg/l | | <0,1 | | <0,1 | 0,36 | 0,40 | | |
| Nitrat (NO3) | mg/l | | 17 | | 14 | 15,62 | 42,00 | | |
| Nitrat-Stickstoff (NO3-N) | mg/l | | 3,8 | | 3,2 | 3,53 | 9,50 | | |
| Nitrit (NO2) | mg/l | | 0,19 | | 0,17 | 0,51 | 0,85 | | |
| Nitrit (NO2-N) | mg/l | | 0,058 | | 0,052 | 0,15 | 0,26 | | |
| ortho-Phosphat (PO4) | mg/l | | 0,6 | | 0,38 | 1,61 | 2,70 | | |
| ortho-Phosphat (P) | mg/l | | 0,2 | | 0,13 | 0,52 | 0,87 | | |
| Gesamtphosphor (P) | mg/l | | 0,35 | | <0,01 | 0,48 | 1,00 | | |
| Chlorid (Cl) | mg/l | | 110 | | 78 | 140 | 170 | | |

| Chlorphenole | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Pentachlorphenol | µg/l | <0,5 | <0,5 | | <0,5 | | | <BG | |

| Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|--------------------------------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Trichlormethan | µg/l | <0,5 | <0,5 | | <0,5 | <BG | | <BG | |

| Gesamtgehalt | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Quecksilber (Hg) | mg/l | | <0,0002 | | <0,0002 | <BG | | | |
| Blei (Pb) | mg/l | | <0,005 | | <0,005 | <BG | | | |
| Cadmium (Cd) | mg/l | | <0,0005 | | <0,0005 | <BG | | <BG | |
| Chrom (Cr) | mg/l | | <0,005 | | <0,005 | <BG | | <BG | |
| Nickel (Ni) | mg/l | | <0,005 | | <0,005 | 0,0045 | 0,0045 | 0,08 | 0,08 |

| Phthalate | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|---------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Di-(2-ethylhexyl)phthalat | µg/l | 10 | 3,7 | 63% | <2 | 2,2 | 2,2 | 10,8 | 16 |

| Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|----------------------------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Fluoranthren | µg/l | 0,03 | <0,02 | 33% | <0,02 | <BG | | 0,02 | 0,02 |
| Benzo(b)fluoranthren | µg/l | <0,02 | <0,02 | | <0,02 | <BG | | <BG | |
| Benzo(ghi)perylen | µg/l | <0,02 | <0,02 | | <0,02 | <BG | | <BG | |

| Nonylphenole | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-------------------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| 4-tert.-Octylphenol | µg/l | <0,1 | <0,1 | | <0,1 | 0,5 | 0,5 | 0,10 | 0,11 |
| 4-n-Nonylphenol | µg/l | <0,1 | <0,1 | | <0,1 | <BG | | <BG | |
| 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE) | µg/l | 1,1 | <0,1 | 91% | <0,1 | <BG | | 0,88 | 1,40 |
| 4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE) | µg/l | <0,1 | <0,1 | | <0,1 | <BG | | 0,35 | 0,35 |
| 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE) | µg/l | <0,5 | <0,1 | | <0,1 | <BG | | 0,85 | 1,40 |
| 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE) | µg/l | <0,1 | <0,1 | | <0,1 | <BG | | <BG | |
| 4-n-Octylphenol | µg/l | <0,1 | <0,1 | | <0,1 | <BG | | <BG | |
| 4-Nonylphenol | µg/l | 0,51 | 0,16 | 69% | <0,1 | <BG | | 1,46 | 1,80 |

| Polybromierte Diphenylether (PBDE) | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-------------------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| 2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether (BDE 47) | µg/l | | 0,017 | <0,001 | 94% | <0,0005 | <BG | 0,0005 | 0,0005 |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| Arzneimittel-Rückstände | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Carbamazepin | µg/l | 0,43 | 0,44 | -2% | 0,4 | 0,72 | 1,90 | 1,09 | 2,40 |
| Diclofenac | µg/l | 3 | 1,7 | 43% | 1,5 | 2,18 | 4,40 | 2,49 | 3,70 |
| Sulfamethoxazol | µg/l | 0,6 | 0,38 | 37% | 0,18 | 0,27 | 0,74 | 0,50 | 0,81 |
| Bezafibrat | µg/l | 0,76 | 0,041 | 95% | < 0,025 | 0,16 | 0,38 | 0,60 | 0,90 |
| Atenolol | µg/l | <0,1 | <0,05 | | 0,037 | 0,13 | 0,26 | 0,21 | 0,45 |
| Metoprolol | µg/l | 3,3 | 1,3 | 61% | 1,6 | 1,67 | 3,60 | 2,32 | 4,20 |
| Sotalol | µg/l | 0,39 | 0,31 | 21% | 0,32 | 0,14 | 0,64 | 0,20 | 0,52 |
| Phenazon | µg/l | <0,1 | <0,05 | | 0,041 | 0,23 | 0,51 | 0,14 | 0,23 |
| Clarithromycin | µg/l | 2,2 | 1,2 | 45% | 0,77 | 0,23 | 0,89 | 0,21 | 0,46 |
| Naproxen | µg/l | 1,1 | 0,11 | 90% | 0,084 | 0,48 | 3,70 | 1,92 | 3,70 |
| Bisoprolol | µg/l | 0,68 | 0,47 | 31% | 0,41 | 0,44 | 2,20 | 0,48 | 1,10 |
| Oxazepam | µg/l | <0,1 | 0,084 | | 0,031 | 0,24 | 1,20 | 0,38 | 1,50 |

| Pflanzenschutzmittel-Rückstände | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|---------------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| 4-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | 1,5 | 1 | 33% | 0,46 | 0,61 | 0,80 | 0,90 | 1,30 |
| 5-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | 1,7 | 1,4 | 18% | 0,38 | 0,57 | 0,91 | 0,74 | 0,85 |
| Benzotriazol | µg/l | 24 | 5,5 | 77% | 2,1 | 6,01 | 18,00 | 15,41 | 35,00 |
| Atrazin | µg/l | <0,05 | <0,025 | | < 0,025 | <BG | | <BG | |
| Diuron | µg/l | <0,05 | <0,025 | | < 0,025 | 0,21 | 0,42 | 0,18 | 0,42 |
| Isoproturon | µg/l | <0,05 | <0,025 | | < 0,025 | 0,20 | 0,39 | 0,03 | 0,03 |
| Simazin | µg/l | <0,05 | <0,025 | | < 0,025 | <BG | | <BG | |
| Terbutryn | µg/l | <0,05 | <0,025 | | < 0,025 | 0,08 | 0,22 | 0,19 | 0,37 |

| Süßstoffe | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Acesulfam K | µg/l | 60 | 14 | 77% | 25,00 | 5,3 | 45 | 29,4 | 55 |
| Saccharin | µg/l | 47 | 0,74 | 98% | 0,33 | 0,24 | 0,67 | 28,0 | 41 |
| Cyclamat | µg/l | 250 | <0,1 | 100% | 0,1 | 0,16 | 0,33 | 121,2 | 160 |
| Sucralose | µg/l | 4,5 | 3,7 | 18% | 3,6 | 1,98 | 5,10 | 3,8 | 5,5 |

| Steroid-Hormone | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|---------------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| 17 beta-Estradiol | µg/l | <0,005 | <0,005 | | < 0,05 | 0,120 | 0,120 | 6,84 | 34 |
| 17 alpha-Ethinylestradiol | µg/l | <0,005 | <0,005 | | < 0,05 | 0,079 | 0,079 | 0,06 | 0,06 |
| Estron (E1) | µg/l | 0,006 | 0,012 | -100% | < 0,05 | 0,059 | 0,110 | 3,33 | 23 |

| Röntgenkontrastmittel | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|-----------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Iopamidol | µg/l | <0,5 | 0,074 | | 0,15 | 2,5 | 7,6 | 2,43 | 3,9 |
| Iomeprol | µg/l | <0,5 | <0,05 | | < 0,025 | 17,9 | 84 | 51,61 | 120 |
| Amidotrizoesäure | µg/l | <0,5 | <0,05 | | 0,03 | 1,7 | 3,4 | 3,42 | 6,6 |
| Iopromid | µg/l | <0,5 | 0,12 | | < 0,025 | 8,7 | 28 | 24,50 | 73 |

| Organozinnverbindung | | Zulauf | Ablauf | Elimination- | Ablauf | Referenz | Referenz | Referenz | Referenz |
|----------------------|------|----------|----------|--------------|----------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 29.10.15 | 29.10.15 | srate: | 01.04.16 | Ablauf MW: | Ablauf Max.: | Zulauf MW: | Zulauf Max.: |
| Tributylzinn | µg/l | 0,0026 | 0,0013 | 50% | 0,00067 | 0,013 | 0,025 | 0,042 | 0,063 |

Tabelle 4-6: 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 |
| 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 |
| Sotalol | µg/l | 0,31 | | 0,32 | 0,14 |
| Clarithromycin | µg/l | 1,2 | | 0,77 | 0,23 |
| Bisoprolol | µg/l | 0,47 | | 0,41 | 0,44 |
| 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 |
| 5-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | 1,4 | | 0,38 | 0,57 |
| Süßstoffe | | Ablauf 29.10.15: | Ablauf 01.04.16: | Referenz Ablauf MW: | Referenz Ablauf Max.: |
| Acesulfam K | µg/l | 14 | | 25,00 | 5,3 |
| Saccharin | µg/l | 0,74 | | 0,33 | 0,24 |
| Sucralose | µg/l | 3,7 | | 3,6 | 1,98 |

Tabelle 4-7: 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. Die Analysenergebnisse tragen jedoch 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.

5 Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Hopsten

5.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Hopsten haben gezeigt, dass anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Die gemessenen Spurenstoffkonzentrationen sind in den meisten Fällen eher niedrig. Da auf der Kläranlage Hopsten keine besonderen Rahmenbedingungen (z.B. Nutzung von Bestandsbauwerken) gelten, die bestimmte Verfahren begünstigen oder ausschließen würden, werden im folgenden Kapitel alle gängigen Methoden zur Spurenstoffelimination betrachtet.

Wie in Kap. 3.7 beschrieben, kommen für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen zurzeit nur der Einsatz von Aktivkohle oder der Einsatz von Ozon in Frage. Die Eliminationsleistung der Verfahren für eine Auswahl von Spurenstoffen ist in Tabelle 5-1 dargestellt. Die Bewertung der Eliminationsleistung ist jedoch variabel und hängt signifikant von der Verfahrensführung ab. Die Elimination von Spurenstoffen steigt bspw. mit der Dosiermenge oder der Aufenthaltszeit deutlich an.

Tabelle 5-1: Eliminationsleistung für ausgewählte 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 | | | | | | |
| Atenolol | Gut | Gut | k.A. | k.A. | Gut | mäßig |
| Metoprolol | mäßig | Gut | Gut | Gut | Gut | schlecht |
| Bisoprolol | mäßig | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Sotalol | Gut | mäßig | k.A. | k.A. | mäßig | schlecht |
| Hormone | | | | | | |
| 17 beta-Estradiol | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | Gut |
| Estron | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | Gut |
| 17 alpha -Ethinylestradiol | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| weitere Humanpharmaka | | | | | | |
| Diclofenac | Gut | mäßig | Gut | Gut | mäßig | schlecht |
| Naproxen | Gut | Gut | k.A. | k.A. | Gut | mäßig |
| Bezafibrat | mäßig | Gut | Gut | k.A. | mäßig | mäßig |
| Oxazepam | Gut | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Phenazon | k.A. | mäßig | k.A. | k.A. | mäßig | k.A. |
| Carbamazepin | Gut | Gut | mäßig | Gut | Gut | schlecht |
| Röntgenkontrastmittel | | | | | | |
| Amidotrizoesäure | schlecht | k.A. | schlecht | k.A. | schlecht | schlecht |
| Iopamidol | mäßig | mäßig | mäßig | k.A. | mäßig | schlecht |
| Iomeprol | schlecht | mäßig | mäßig | k.A. | mäßig | schlecht |
| Iopromid | schlecht | mäßig | mäßig | k.A. | k.A. | mäßig |
| Zuckerersatzstoffe | | | | | | |
| Acesulfam | mäßig | k.A. | mäßig | k.A. | k.A. | schlecht |
| Sucralose | schlecht | k.A. | mäßig | k.A. | mäßig | schlecht |
| Saccharin | schlecht | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | Gut |
| Cyclamat | mäßig | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. | Gut |
| weitere Spurenstoffe | | | | | | |
| Benzotriazol | mäßig | Gut | mäßig | Gut | mäßig | schlecht |

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

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen ausgewertet (Quellen: (28), (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35), (36), Erfahrungswerte Ingenieurbüro ATEMIS)

Bei der Aktivkohle kann zwischen dem Einsatz von Pulveraktivkohle und dem Einsatz von granulierter Aktivkohle unterschieden werden. Die Pulveraktivkohle kann direkt in die Belebung (Simultanbehandlung), in den Flockungsraum eines Filters oder in ein separates Kontaktbecken dosiert werden.

Obwohl für eine Dosierung von PAK direkt in die Belebung bisher nur wenige Erfahrungen vorliegen und keine optimale Eliminationsleistung zu erwarten ist, wird diese Variante am Standort der KA Hopsten untersucht. Die PAK-Dosierung in die Belebung kann am Standort mit relativ wenig Aufwand (es ist wenig neue Infrastruktur erforderlich) umgesetzt werden (Variante 1). Durch die Dosierung der Aktivkohle in die

Belebung ergibt sich automatisch eine Vollstrombehandlung. Die biologische Stufe besteht aus einem Denitrifikationsbecken ($V = 1.120 \text{ m}^3$) und zwei Nitrifikationsbecken ($V_I = 2.150 \text{ m}^3$ und $V_{II} = 1.065 \text{ m}^3$). Die Nachklärung, die zur Abscheidung der Aktivkohle genutzt werden soll, hat ein Volumen von $V = 1.095 \text{ m}^3$.

Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken, dabei kann die Aktivkohle zusätzlich auch rezirkuliert werden (siehe Kap. 3.1.3.2, um eine möglichst vollständige Beladung der Aktivkohle zu erreichen (Variante 2). Bei dieser Variante wird bautechnisch die aufwendigste Verfahrensführung für den PAK-Einsatz abgebildet, die nach bisherigen Erkenntnissen die beste Eliminationsleistung erzielt.

Zusätzlich wird für die KA Hopsten auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) sowie der Einsatz granulierter Aktivkohle (Variante 4) untersucht.

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 $300 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 4 wird auf $195 \text{ m}^3/\text{h}$ bemessen. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von $105 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 4 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 5-1).

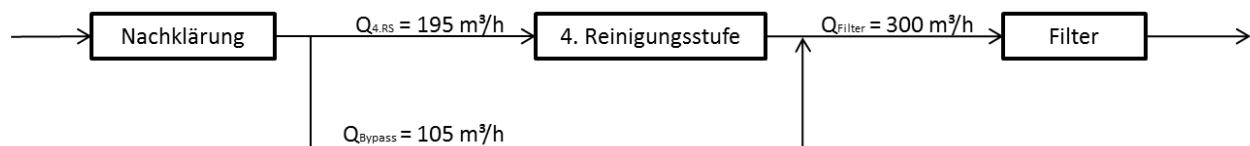


Abbildung 5-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration

5.2 Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe

Ein allgemein gültiger Ansatz zur Festlegung der Auslegungswassermenge für die Bemessung einer 4. Reinigungsstufe ist bisher noch nicht verfügbar. Im Entwurf „Anleitung zur Planung und Dimensionierung

von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ (21) werden verschiedene Aspekte genannt, die bei der Ermittlung der Bemessungswassermenge berücksichtigt werden sollten. Mit einbezogen werden muss die auf der jeweiligen Kläranlage anfallende Wassermenge und die Leistungsstärke des Vorfluters, aber auch das Eintragspotenzial für unerwünschte Spurenstoffe durch den Ablauf der Kläranlage, z.B. durch eine überdurchschnittliche Anzahl an Krankenhäusern, Kliniken etc. im Einzugsgebiet oder durch Indirekteinleiter wie z.B. Schwerindustrie oder chemische Industrie.

Eine Vollstrombehandlung wäre im Hinblick auf die möglichst weitgehende Verringerung der Frachten an Mikroschadstoffen im Kläranlagenablauf wünschenswert, jedoch sehr kostenintensiv, so dass für jeden Standort geprüft werden muss, ob auch die Behandlung des Trockenwetterzuflusses oder einer Teilmenge des Mischwasserzuflusses für das erforderliche Reinigungsziel ausreichend sein kann.

Wie zuvor erläutert ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das am Standort Hopsten durchgeführte Screening auf ausgewählte Spurenstoffe zeigt einige Überschreitungen der Mittelwerte der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen anderer Kläranlagen im Bereich der Arzneimittelrückstände, bei DEHP, bei den methylierten Benzotriazolen und den Süßstoffen. Auch weichen die Messergebnisse zwischen dem ersten und dem zweiten Durchlauf zum Teil stark ab. Ebenso sind momentan, aber auch in der absehbaren Zukunft, keine nennenswerten bzw. problematischen Spurenstofffrachten aus der Industrie zu erwarten.

Des Weiteren ist das Gewässer, in welches eingeleitet wird, zu berücksichtigen. Bei der Giegel Aa handelt es sich in Hinblick auf die Wassermenge um einen schwachen Vorfluter. Im Jahr 2014 wurde bei der PERLODES-Untersuchung ein unbefriedigender Zustand der Giegel Aa festgestellt. Das Ziel des guten chemischen Zustands kann ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe erreicht werden.

Bei der Auslegung muss beachtet werden, dass 75 % des zu behandelten Abwassers aus Trennkanalisation stammen. Daneben ist auch durch den schwachen Vorfluter Giegel Aa eine Auslegung auf eine größere Durchflussmenge als das 90 %-Perzentil des Trockenwetterabflusses sinnvoll. In Abbildung 5-2 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist der 90 %-Perzentilwert der maximalen Ablaufwerte (max. Ablaufmengen im 2-Stunden-Intervall; entspricht 195 m³/h).

Bei einer Auslegung auf 195 m³/h können fast 100 % der Gesamtwassermenge, die pro Jahr anfällt, behandelt werden. Dies entspricht einer Wassermenge von rund 310.962 m³/a (Tabelle 5-2). Damit erscheint die Auslegung auf den 90 %-Perzentilwert der Maximalabflussmengen als sinnvoll.

Tabelle 5-2: Behandelte Wassermengen pro Jahr bei Auslegung auf 90 % Gesamtabfluss

| | |
|----------------------------------------------|---------|
| Gesamte Abwassermenge [m ³ /a] | 311.409 |
| Behandelte Abwassermenge [m ³ /a] | 310.962 |
| Behandelte Abwassermenge [%] | 99,9 |

Die in Tabelle 5-2 gezeigten Werte basieren auf den 2-Stunden-Online-Messwerten. Aus den Betriebsbüchern geht hervor, dass die tatsächliche Menge bei 321.788 m³/a liegt. Auch mit diesem Wert ergäbe sich eine behandelte Abwassermenge von mindestens 96,6 %.

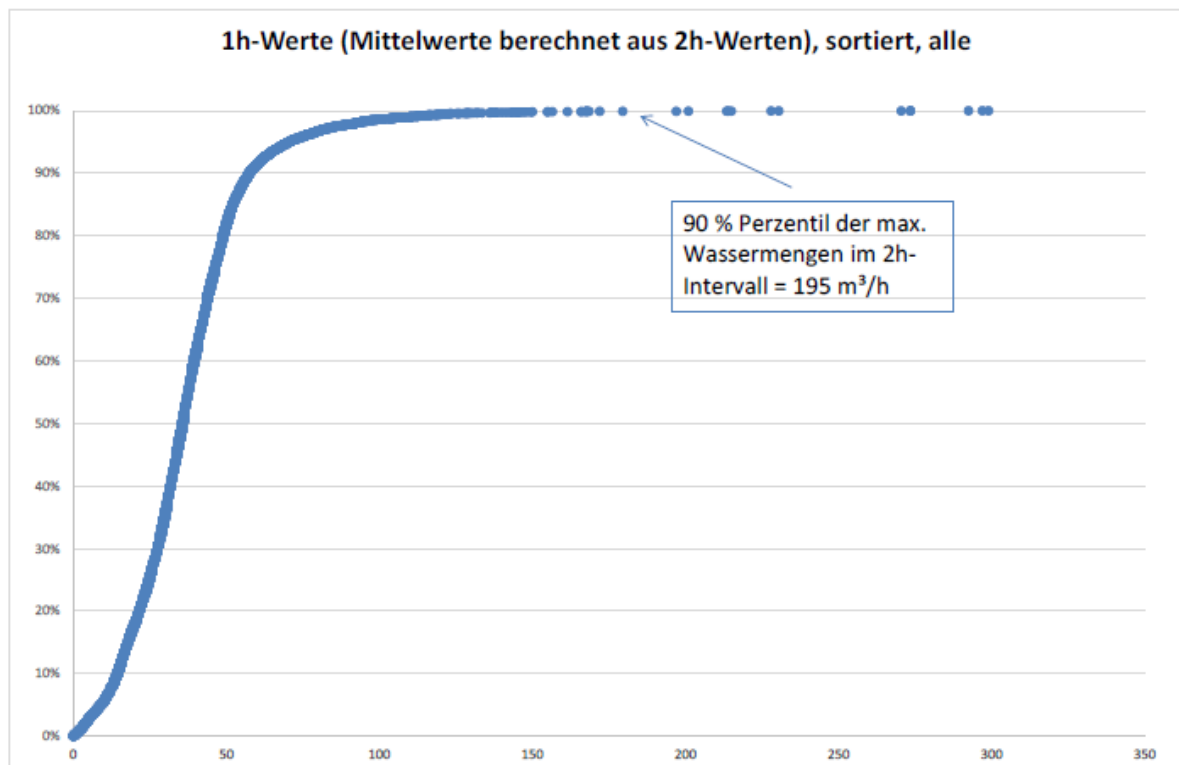


Abbildung 5-2: Stundenwerte Ablaufmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter

Als Vollstrom und damit für die Auslegung der Flockungsfiltration werden 300 m³/h angesetzt.

5.3 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 5-3).

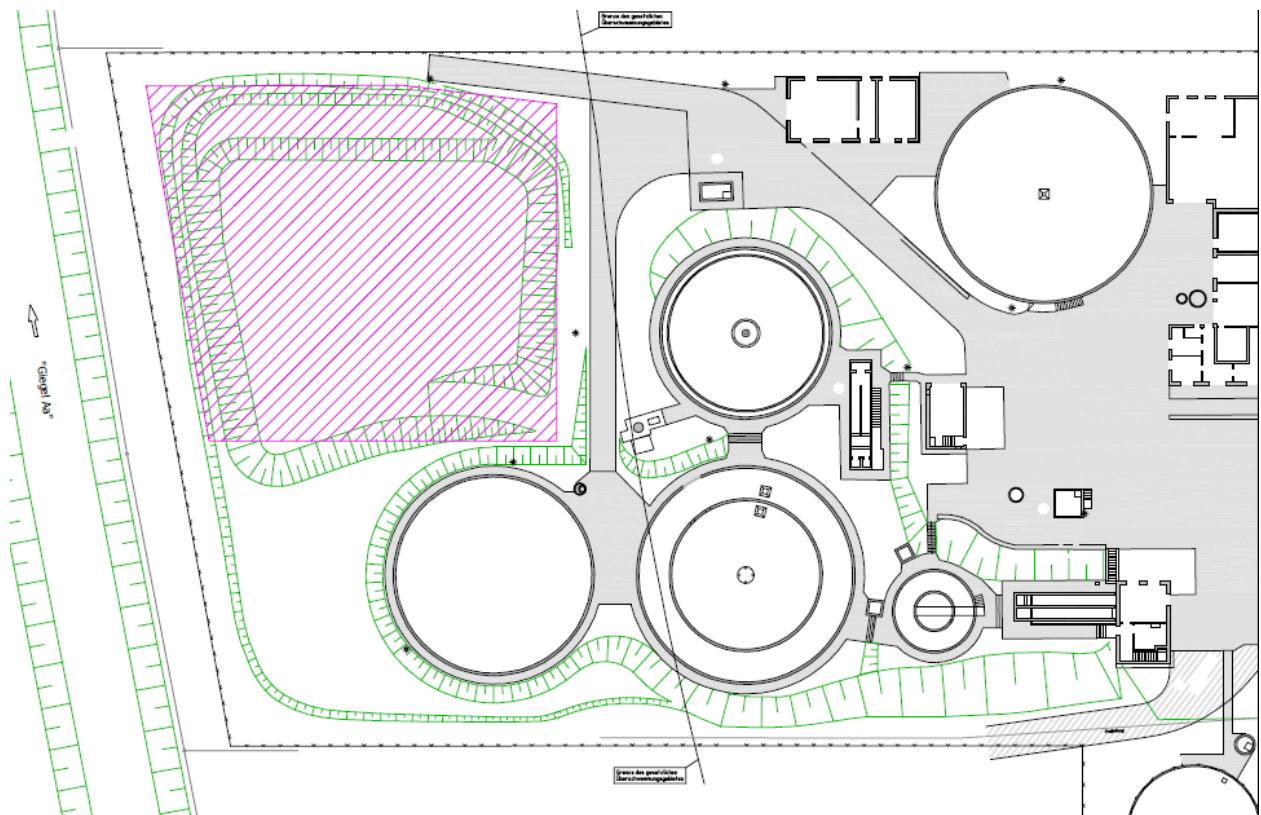


Abbildung 5-3: Mögliche Freifläche zum Aufstellen der 4. Reinigungsstufe (schraffierter Bereich)

5.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte

Für den Standort Hopsten werden wie in Kap. 5.1 vorgeschlagen 4 verschiedene Verfahrensvarianten genauer untersucht. Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebung, erfolgt automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Bei den Varianten 2 – 4 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms.

5.4.1 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 m³/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.

5.4.2 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 Absecheidung der PAK in der Nachklärung ($V = 1.095 \text{ m}^3$). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 5-4 gezeigt.

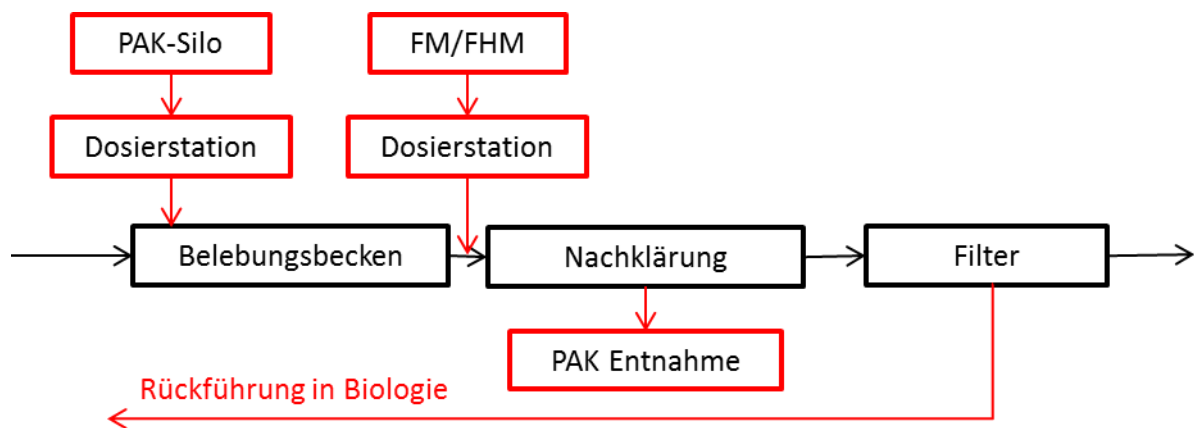


Abbildung 5-4: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebungsphase (Variante 1)

Wie in Kap. 3.1.3.1 beschrieben, ist bei der direkten Zugabe der PAK in die Belebungsphase eine höhere Dosiermenge an PAK als bei der Dosierung in ein separates Kontaktbecken erforderlich, um eine akzeptable Eliminationsleistung zu erzielen. Es werden PAK-Dosierungen von bis zu 50 mg/l beschrieben.

Aktuelle Untersuchungen ergeben jedoch, dass bereits bei Dosiermengen von 18 mg/l ein Großteil der Spurenstoffe eliminiert wird. Bei einer Dosiermenge von 11 mg/l konnte jedoch eine deutlich verschlechterte Eliminationsleistung nachgewiesen werden (37).

Vor der Umsetzung dieser Variante muss die Leistungsfähigkeit der bestehenden Nachklärung detailliert überprüft werden.

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK

Die benötigte PAK-Menge wird über die Jahresabwassermenge (Q_a) abgeschätzt. Sie ergibt sich wie folgt (Tabelle 5-3):

Tabelle 5-3: Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK, Variante 1

| | | |
|--------------------------------------|---------|------------------------|
| Jahresabwassermenge Q_a | 321.788 | m^3/a |
| PAK Dosierung | | |
| mittlere angenommene PAK-Dosiermenge | 0,02 | kg/m^3 |
| Jahresbedarf PAK | 6.436 | kg/a |
| Tagesbedarf PAK | 17,6 | kg/d |

Tabelle 5-4 zeigt die Empfehlung für das PAK-Silo:

Tabelle 5-4: Auslegung des PAK-Silos, Variante 1

| | | |
|-------------------------|------|-------------------|
| Schüttdichte Aktivkohle | 500 | kg/m ³ |
| Gewählte Silogröße PAK | 25 | m ³ |
| Nachfüllung PAK alle | 23,3 | Monate |

Zusätzlich zum Silo ist die Dosier- und Einmischeinheit erforderlich. Über volumetrische oder gravimetrische Dosiereinheiten und Einmischeinrichtungen wird eine konzentrierte Suspension hergestellt, die in die Belebung dosiert wird.

Abschätzung des Jahresverbrauchs an Fällmittel (FM) und Flockungshilfsmittel (FHM):

Bei dieser Verfahrensvariante ist ein nachgeschalteter Filter (im Anschluss an die Nachklärung) erforderlich, um suspendierte Pulveraktivkohle restlos abzuscheiden. Dazu ist in der Regel auch die Dosierung von FHM und Fällmittel erforderlich.

Die Entnahme der PAK erfolgt mit der bestehenden Nachklärung. Um die Sedimentationsfähigkeit der PAK zu erhöhen, werden Fäll- und Flockungshilfsmittel zudosiert. Der Bedarf jeweils an Fe bzw. Al aus dem verwendeten Fällmittel sowie der Bedarf an Flockungshilfsmittel (FHM) ist in Tabelle 5-5 dargestellt:

Tabelle 5-5: Bedarf Fällmittel und Flockungshilfsmittel (FHM), Variante 1

| | | |
|--------------------------------|--------|-------------------|
| Fällmitteldosierung | | |
| Dosiermenge Fe / Al aus FM | 5 | mg/l |
| | 0,005 | kg/m ³ |
| Jahresbedarf Fe / Al | 1.609 | kg/a |
| Eisen- / Aluminiumanteil FM | 14 | % |
| Jahresbedarf FM | 11.492 | kg/a |
| Dichte FM (FeCl ₃) | 1.440 | kg/m ³ |
| Silogröße FM (Bestand) | 20 | m ³ |
| Nachfüllung FM-Silo alle | 30,1 | Monate |
| Dosierung FHM | | |
| Dosiermenge FHM | 0,3 | mg/l |
| | 0,0003 | kg/m ³ |
| Jahresbedarf FHM | 96,5 | kg/a |
| Dichte FHM | 850 | kg/m ³ |
| Gewähltes Lagergebäude FHM | 1 | m ³ |
| Wechsel des Gebüdes | 105,7 | Monate |

Der vorhandene Fällmittellagertank kann für die 4. Reinigungsstufe genutzt werden. Eine Dosierstation muss ergänzt werden, sie wird direkt an der 4. Reinigungsstufe aufgestellt.

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 m².

5.4.3 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 (siehe auch Kap.3.1.3.2). 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 (siehe auch Kap. 5.1).

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für die Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 5-5 dargestellt.

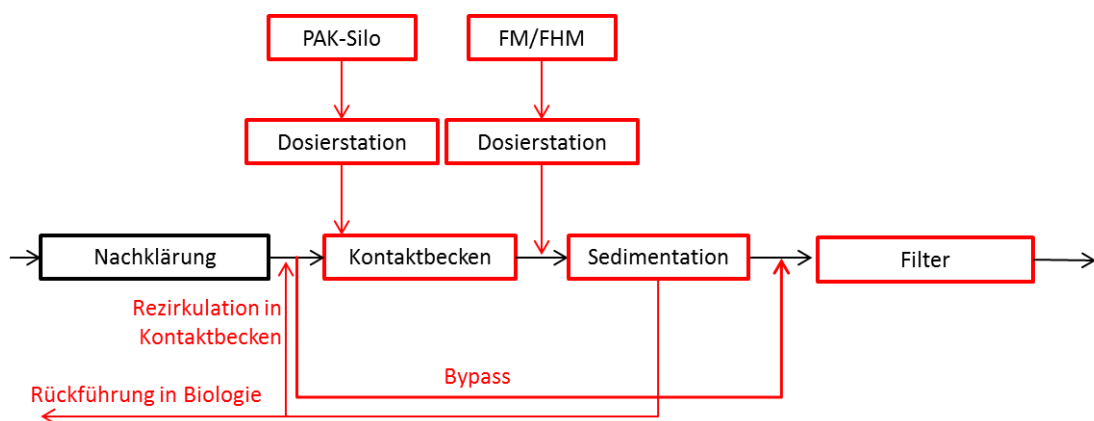


Abbildung 5-5: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2)

In Anlehnung an die Auslegungsempfehlung nach (21) kann für die PAK-Dosierung in Kontaktbecken, in welches vorbehandeltes, möglichst feststoffreies Abwasser zufließt, eine übliche Dosierrate (Z_{PAK}) von 10 - 20 mg_{PAK}/l angesetzt werden. Die Aufenthaltszeit im Kontaktbecken ($t_{Kont.}$) sollte mindestens 30 Minuten betragen. Beim Einsatz konventioneller Sedimentationsbecken wird eine hydraulische Aufenthaltszeit ($t_{Sedi.}$) von 2 Stunden und eine Oberflächenbeschickung ($q_{a, Sedi.}$) von 2 m/h empfohlen. Das empfohlene Rezirkulationsverhältnis liegt bei 0,5-1 (21).

Auslegung Kontaktbecken:

Die Auslegungsdaten für das Kontaktbecken sind in Tabelle 5-6 dargestellt:

Tabelle 5-6: Auslegung Kontaktbecken, Variante 2

| Auslegung Kontaktbecken (PAK) | | |
|--------------------------------------|------|-------------------|
| Auslegungswassermenge | 195 | m ³ /h |
| Kontaktzeit | 30 | min |
| | 0,5 | h |
| Erf. Volumen Kontaktbecken | 97,5 | m ³ |
| Wasserspiegelhöhe | 4 | m |
| Fläche Kontaktbecken (innen) | 24,4 | m ² |

Auslegung Sedimentationsbecken:

Das Sedimentationsbecken sollte mindestens die in Tabelle 5-7 aufgeführten Parameter erfüllen:

Tabelle 5-7: Auslegung Sedimentationsbecken, Variante 2

| Auslegung Sedimentationsbecken (PAK) | | |
|---------------------------------------------|------|-------------------|
| Auslegungswassermenge | 195 | m ³ /h |
| Absetzzeit | 120 | min |
| | 2 | h |
| Volumen Sedimentationsbecken | 390 | m ³ |
| Oberflächenbeschickung | 2 | m/h |
| Oberfläche Sedimentationsbecken | 97,5 | m ² |

Wird eine Rezirkulation der PAK vorgesehen, dann ist ein Rezirkulations-Pumpwerk erforderlich:

Tabelle 5-8: Auslegung Rezirkulations-Pumpwerk, Variante 2

| | | |
|----------------------------|-------|-------------------|
| Rezirkulationsverhältnis | 0,7 | - |
| Pumpleistung Rezirkulation | 136,5 | m ³ /h |

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK:

Die erforderliche Dosiermenge an Pulveraktivkohle ist wie in Kap. 3.1.3 erläutert von verschiedenen Faktoren wie der organischen Hintergrundbelastung, der erforderlichen Eliminationsleistung etc. abhängig. Sie ist in Tabelle 5-9 dargestellt. Für die Abschätzung der jährlichen Menge an PAK (M_{PAK}) wird, wie für die Varianten 3 und 4, ein Bemessungsvolumenstrom von 195 m³/h angenommen, wodurch sich eine fast vollständige Behandlung des Hauptstromes ergibt. Vor diesem Hintergrund wird die Jahresabwassermenge zugrunde gelegt.

Tabelle 5-9: Bedarf PAK und Auslegung PAK-Silo, Variante 2

| | | |
|--------------------------------------|--------|-------------------|
| PAK Dosierung | | |
| Jahresabwassermenge | 321788 | m ³ |
| mittlere angenommene PAK-Dosiermenge | 0,01 | kg/m ³ |
| | | |
| Jahresbedarf PAK | 3.218 | kg/a |
| Tagesbedarf PAK | 8,8 | kg/d |
| | | |
| Schüttdichte Aktivkohle | 500 | kg/m ³ |
| Gewählte Silogröße PAK | 10 | m ³ |
| Nachfüllung PAK alle | 18,6 | Monate |

Abschätzung des Jahresverbrauchs an Fällmitteln und Flockungshilfsmittel

Zur Bildung von gut absetzbaren Pulveraktivkohleflocken können Flockungshilfsmittel sowie Eisen- bzw. Aluminiumprodukte als Fällmittel eingesetzt werden. Der Bedarf nebst benötigten Lagerbehältern wird in folgender Tabelle 5-10 abgeschätzt.

Tabelle 5-10: Abgeschätzter Fällmittel- und Flockungshilfsmittelbedarf, Variante 2

| | | |
|-----------------------------|--------|-------------------|
| Fällmitteldosierung | | |
| Jahresabwassermenge | 321788 | m ³ |
| Dosiermenge Fe / Al aus FM | 4 | mg/l |
| | 0,004 | kg/m ³ |
| | | |
| Jahresbedarf Fe / Al | 1.287 | kg/a |
| Eisen- / Aluminiumanteil FM | 14 | % |
| Jahresbedarf FM | 9.194 | kg/a |
| | | |
| Dosierung FHM | | |
| Dosiermenge FHM | 0,3 | mg/l |
| | 0,0003 | kg/m ³ |
| | | |
| Jahresbedarf FHM | 96,5 | kg/a |
| Dichte FHM | 850 | kg/m ³ |
| Gewähltes Lagergebäude FHM | 1 | m ³ |
| Wechsel des Gebindes | 105,7 | Monate |

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 5-6 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 5-7 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist als Anhang C – Pläne (Kapitel 9.1) beigefügt.

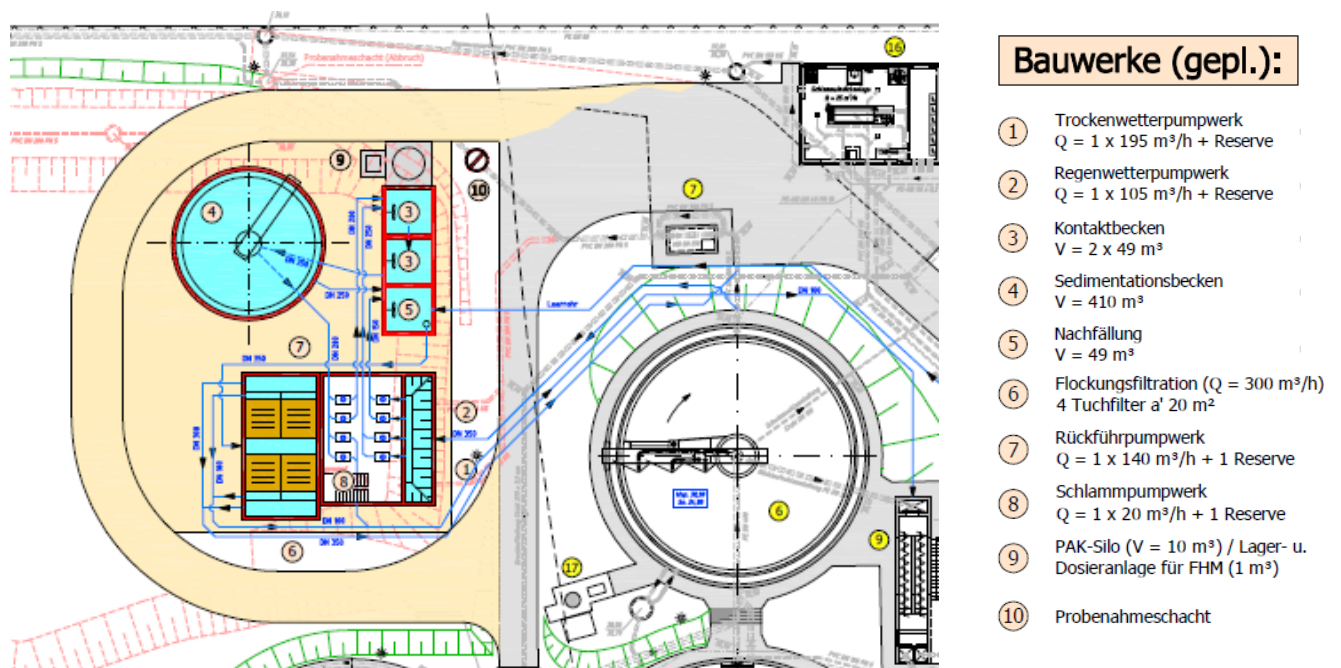


Abbildung 5-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

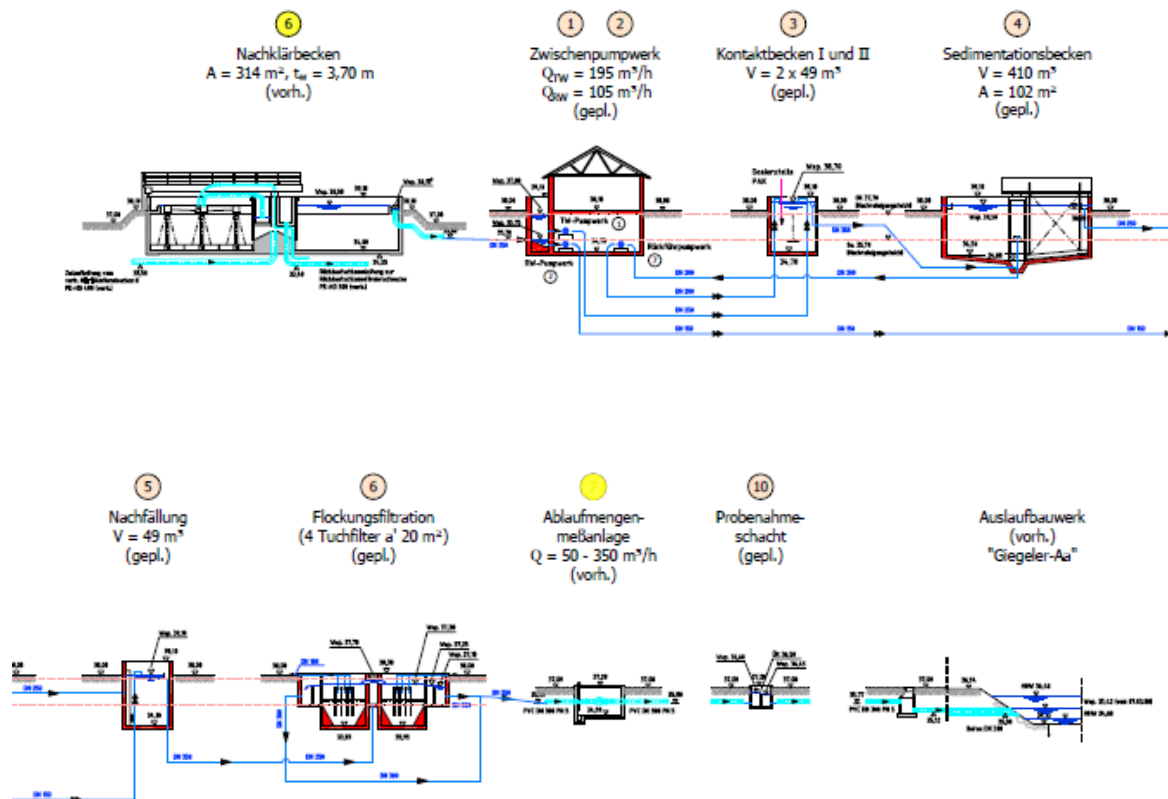


Abbildung 5-7: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

5.4.4 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 eine Voraussetzung. 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 5-8 gezeigt.

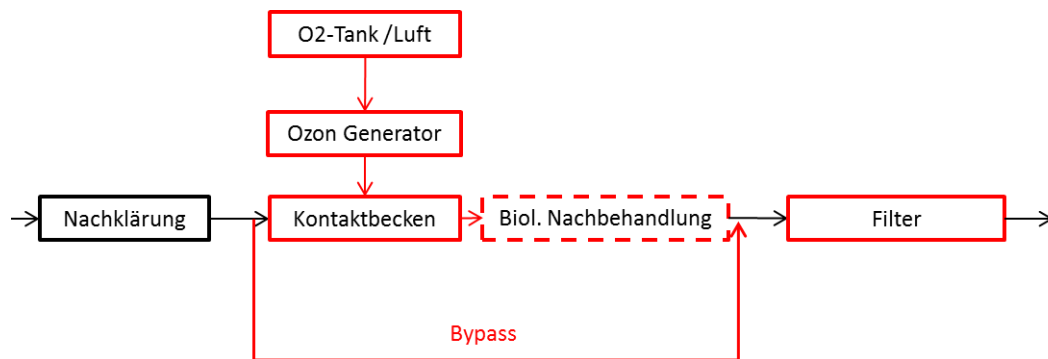


Abbildung 5-8: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3)

Für die Auslegung der Ozonungsanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (21). Die erforderliche Dosierate kann zwischen 0,6-0,9 mg O₃/mg DOC angesetzt werden. (20), (21). Zusätzlich ist zu berücksichtigen, ob im Ablauf der Nachklärung signifikante NO₂-N-Konzentrationen auftreten. Nitrit wird durch Ozon zu Nitrat oxidiert und führt zu einer hohen Ozonzehrung von 3,4 mg O₃/mg NO₂-N. Falls eine Ertüchtigung der Biologie zur Senkung der Nitritablauf-Konzentration nicht möglich ist, ist dieses bei der Auslegung des Ozonerzeugers zu berücksichtigen.

Auslegung des Ozonerzeugers

Die relevante DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonanlage wird über die ausgewerteten CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung abgeschätzt. Außerdem wurde die Ozonzehrung für die Nitritoxidation mit in Betracht gezogen.

Die benötigte Ozonkonzentration sowie die Mindestkapazität des Ozonerzeugers sind Tabelle 5-11 zu entnehmen.

Tabelle 5-11: Auslegung Ozongenerator, Variante 3

| | | |
|-----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| Auslegung Ozongenerator | | |
| Ozondosierrate für DOC | 0,8 | g O ₃ /g DOC |
| Ozondosierrate für NO ₂ -N | 3,4 | mg O ₃ /mg NO ₂ -N |
| Bemessungsvolumenstrom | 195 | m ³ /h |
| maßgebl. CSB-Konz. Abwasser | 44 | mg/l |
| DOC-Konzentration Abwasser (berechnet) | 13,3 | mg/l |
| | 13,3 | g/m ³ |
| Erf. Zielkonzentration Ozon (bezogen auf DOC) | 10,7 | g O ₃ /m ³ |
| Nitrit-Konzentration Abwasser | 0,15 | mg/l |
| | 0,15 | g/m ³ |
| Zielkonzentration Ozon (bezogen auf Nitrit) | 0,51 | g O ₃ /m ³ |
| Zielkonzentration Ozon (für DOC und Nitrit) | 11,2 | g O ₃ /m ³ |
| Benötigte Kapazität Ozonerzeuger | 2,18 | kg O ₃ /h |

Abschätzen des Sauerstoffbedarfs und Ermittlung der Größe des Sauerstofftanks

Für kleinere Ozonisierungsanlagen wird in der Regel flüssiger Sauerstoff (LOX) für die Herstellung von Ozon eingesetzt. Für die Erzeugung von einem Gramm Ozon wird die 10-fache Menge (f_{O_2/O_3}) an Sauerstoff benötigt. Folgende Menge wird abgeschätzt (Tabelle 5-12):

Tabelle 5-12: Ermittlung des Sauerstoffbedarfs, Variante 3

| | | |
|-----------------------------------------|---------|------------------------------------------|
| Ermittlung des Sauerstoffbedarfs | | |
| Ozondosierrate für DOC | 0,8 | g O ₃ /g DOC |
| Ozondosierrate für NO ₂ -N | 3,4 | mg O ₃ /mg NO ₂ -N |
| Jahresabwassermenge | 321.788 | m ³ /a |
| Jahresabwassermenge 4. RS | 321.788 | m ³ /a |
| mittlere CSB-Konz. Abwasser | 36 | mg/l |
| DOC-Konzentration Abwasser | 10,9 | mg/l |
| | 10,9 | g/m ³ |
| erf. Jahresmenge Ozon (für DOC) | 2808 | kg O ₃ /a |
| mittlere Nitrit-Konzentration Abwasser | 0,06 | mg/l |
| | 0,06 | g/m ³ |
| erf. Jahresmenge Ozon (für Nitrit) | 66 | kg O ₃ /a |
| erf. Jahresmenge Ozon (gesamt) | 2874 | kg O ₃ /a |
| f(O ₂ /O ₃) | 10 | kg O ₂ /kg O ₃ |
| Erf. Jahresmenge Sauerstoff | 28740 | kg O ₂ /a |
| Dichte Flüssigsauerstoff | 1,1 | g/cm ³ |
| | 1100 | kg/m ³ |
| Gewählte Größe Sauerstofftank | 10 | m ³ |
| Sauerstofflieferung alle | 19,9 | Wochen |

Auslegung des Ozonreaktors:

Das Volumen des Ozonreaktors wird über die erforderliche Aufenthaltszeit im Reaktor bestimmt. Die Aufenthaltszeit ($t_{\text{Aufenth.}}$) setzt sich aus der eigentlichen Reaktions- und der Ausgasungszeit zusammen und berücksichtigt damit die notwendige Zeit für die Ozonreaktion, Zehrung und Ausgasung von Ozon. Die mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss kann mit 15-30 Minuten festgelegt werden (21). Für den Standort Hopsten wurden die in Tabelle 5-13 aufgeführten Parameter gewählt:

Tabelle 5-13: Auslegung Ozonreaktor, Variante 3

| Auslegung Ozonreaktor | | |
|------------------------------|------|-------------------|
| Bemessungsvolumenstrom | 195 | m ³ /h |
| Reaktionszeit | 20 | min |
| Ausgasungszeit | 10 | min |
| Aufenthaltszeit (gesamt) | 30 | min |
| | 0,5 | h |
| Erf. Volumen Ozonreaktor | 97,5 | m ³ |
| Einblastiefe | 5 | m |
| Fläche Ozonreaktor (innen) | 19,5 | m ² |

Der Ozoneintrag in den Reaktor kann mit Diffusoren oder mit einem Injektorsystem (Treibstrahlensystem) erfolgen. Um einen effektiven Ozoneintrag mit Diffusoren zu ermöglichen, wird ein Mindestwasserspiegel von 5 m angesetzt. Der Reaktor kann auch als Schlaufenreaktor mit Leitwänden ausgeführt werden. Im Falle einer Umsetzung dieser Verfahrensvariante wird eine Strömungsoptimierung des Beckens mit Hilfe einer CFD-Simulation empfohlen. Der Ozonreaktor muss gasdicht abgedeckt und kontinuierlich abgesaugt werden. Das Off-Gas wird über einen Restozonvernichter geleitet.

Nachbehandlung:

In verschiedenen Studien finden sich Hinweise, dass bei der Ozonung u.U. entstandene Transformationsprodukte durch eine biologische Nachbehandlung oder ein Adsorptionsverfahren (z.B. GAK) entfernt werden können. Eine biologische Nachbehandlung kann mit verschiedenen Verfahren erfolgen, z.B. durch biologisch aktive Filter oder GAK-Filter, Wirbel- oder Festbettreaktoren, Tropfkörper etc. Im Konzept für die KA Hopsten wird eine Nachbehandlung in einem biologisch aktiven Filter (Flockungsfiltration) vorgesehen.

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 5-9 gezeigt, ein Längsschnitt in Abbildung 5-10. Der komplette Lageplan ist als Anhang C – Pläne (Kapitel 9.2) beigefügt.

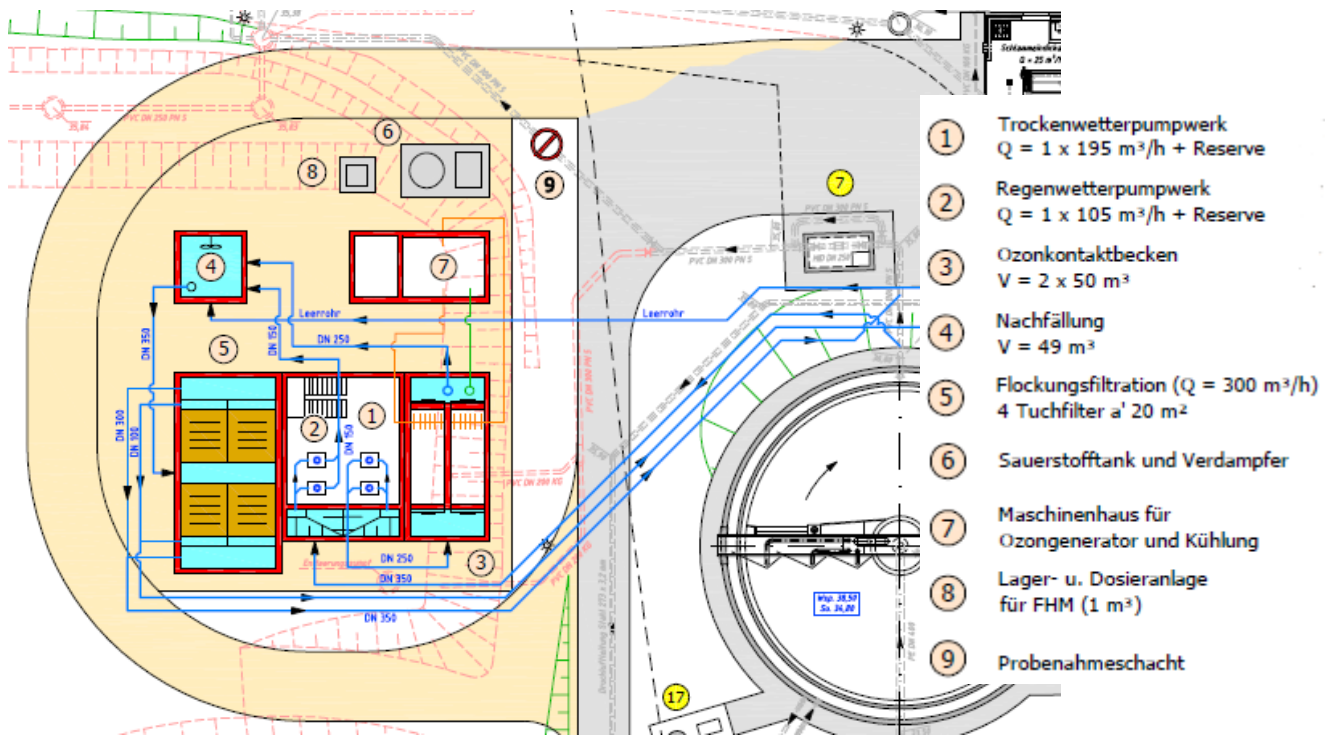


Abbildung 5-9: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

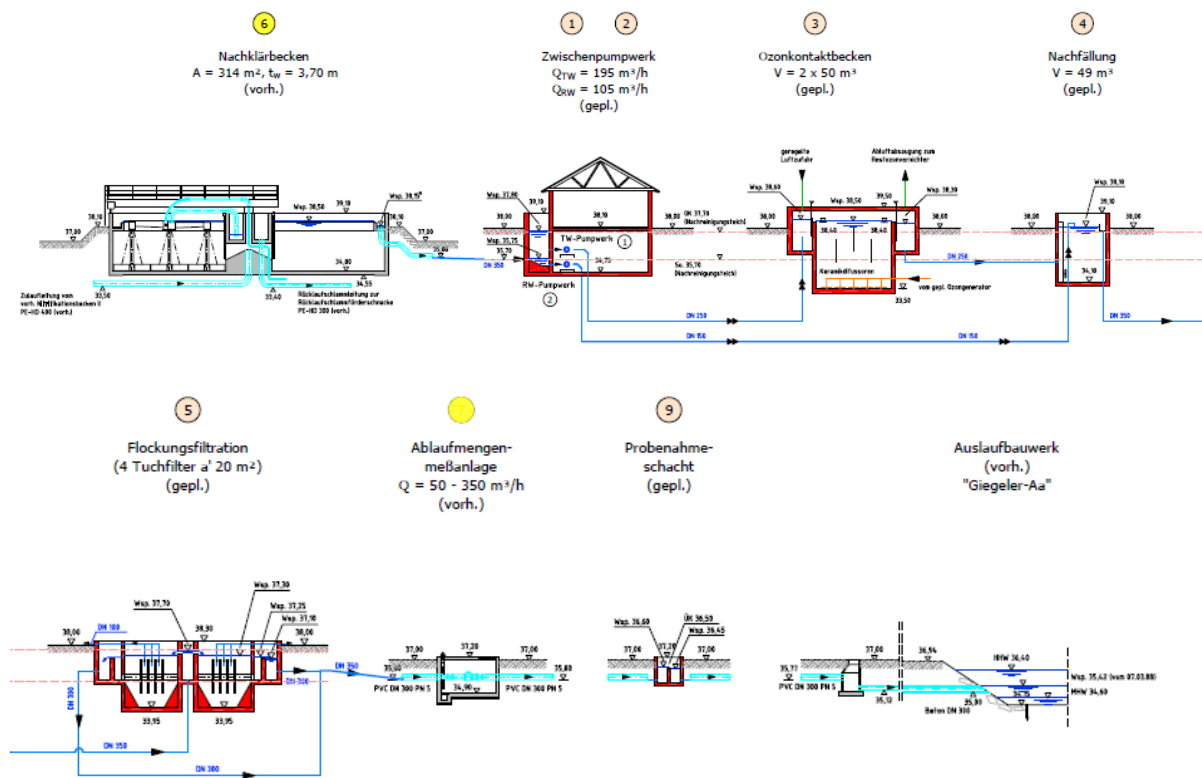


Abbildung 5-10: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

5.4.5 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden (siehe auch Kap. 3.1.4). Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung wird dabei den GAK-Filtern zugeführt. Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung muss eine Vorfiltration des Abwassers erfolgen, um die GAK-Filter vor einer zu schnellen Verblockung zu schützen und zu häufige Rückspülungen des GAK-Filters zu verhindern. Vor der Umsetzung dieser Variante am Standort Hopsten muss detailliert untersucht werden, wo die Flockungsfiltration optimal angeordnet werden sollte. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für den Einsatz der GAK-Filtration ist in Abbildung 5-11 dargestellt.

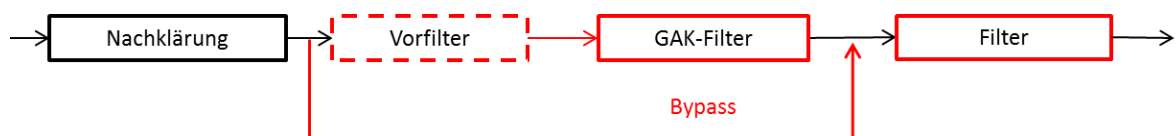


Abbildung 5-11: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Die GAK-Filtration wird in der Regel auf eine Leerbettkontaktzeit (EBCT) zwischen 5-30 Minuten und einer Filterbettgeschwindigkeit von 5-15 m/h bemessen (21).

Auslegung der GAK-Filtration:

In Tabelle 5-14 ist die Auslegung der GAK-Filtration nebst Abschätzung des GAK-Bedarfs aufgeschlüsselt.

Tabelle 5-14: Auslegung GAK-Filtration

| | | |
|--------------------------------------------|-----------|-------------------|
| Jahresabwassermenge | 321.788 | m ³ /a |
| Jahresabwassermenge 4. RS | 321.788 | m ³ /a |
| Bemessungsvolumenstrom | 195 | m ³ /h |
| Rückspülwasser (10 % von JAM 4. RS) | 3,7 | m ³ /h |
| Auslegungsvolumenstrom | 198,7 | m ³ /h |
| | | |
| Leerbettkontaktzeit | 20 | min |
| | 0,333 | h |
| Erforderliches Filtervolumen | 66,2 | m ³ |
| Maximale Filterbettgeschwindigkeit | 8 | m/h |
| Filterbetthöhe GAK | 2 | m |
| Erforderliche Filterfläche | 33,1 | m ² |
| Resultierende Filtergeschwindigkeit | 6 | m/h |
| Filterbetthöhe GAK | 2 | m |
| Anzahl paralleler Filter | 4 | |
| erf. Fläche je Filter | 8,3 | m ² |
| Gewählte Fläche je Filter (manuell wählen) | 11 | m ² |
| Resultierendes Gesamtfiltervolumen | 88 | m ³ |
| | | |
| Erreichbare Bettvolumina | 13.000 | BVT |
| Durchsetzbares Abwasservolumen | 1.144.000 | m ³ |
| Nutzungsdauer GAK | 38,8 | Monate |
| | | |
| Schüttdichte GAK | 350 | kg/m ³ |
| erf. GAK Menge Erstbefüllung je Filter | 7.700 | kg GAK/Filter |
| | | |
| Rückspülgeschwindigkeit GAK-Filter | 50 | m/h |
| Volumenstrom Spülung | 550 | m ³ /h |
| Spüldauer | 10 | min |
| Spülwasseranfall | 91,7 | m ³ |

Rechnerisch werden drei Filter benötigt. Es wird ein zusätzlicher Reservefilter vorgesehen.

Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

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. 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 5-12 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 5-13. Der komplette Lageplan ist als Anhang C- Pläne (Kapitel 9.3) beigefügt.

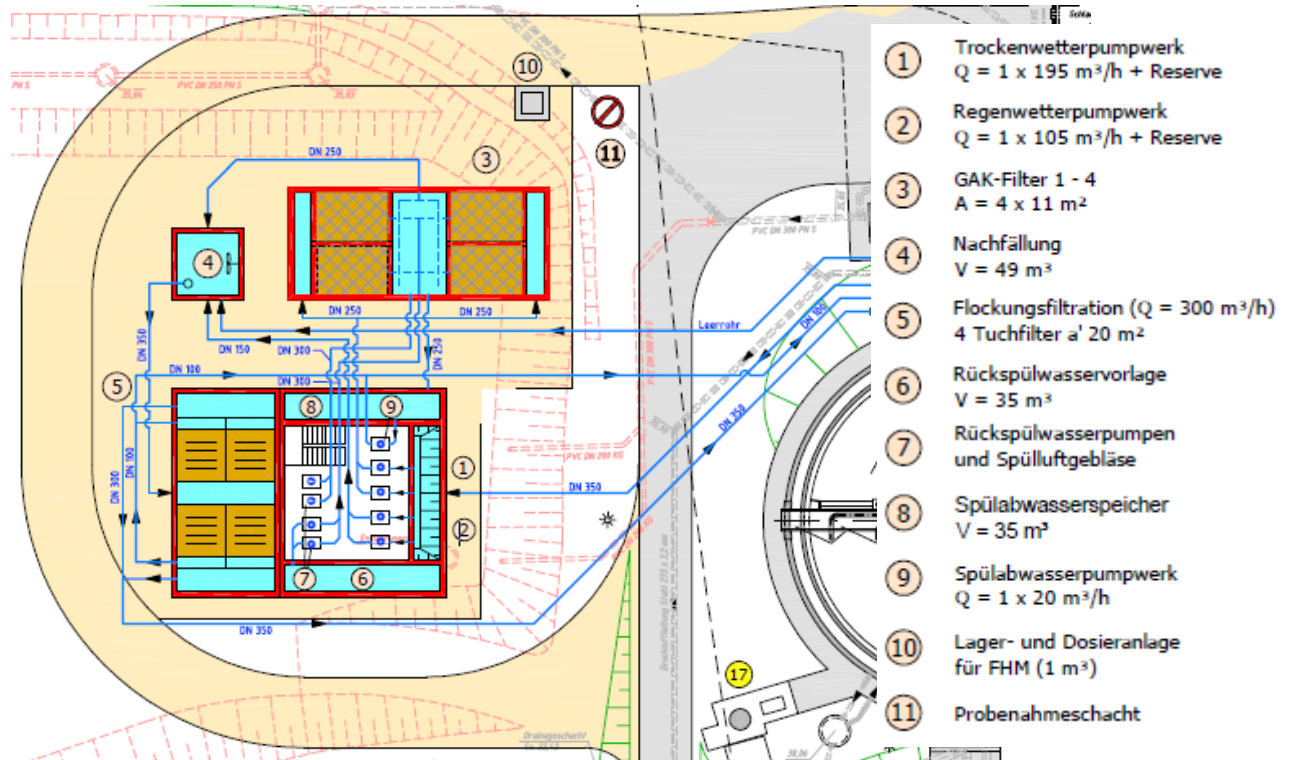


Abbildung 5-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

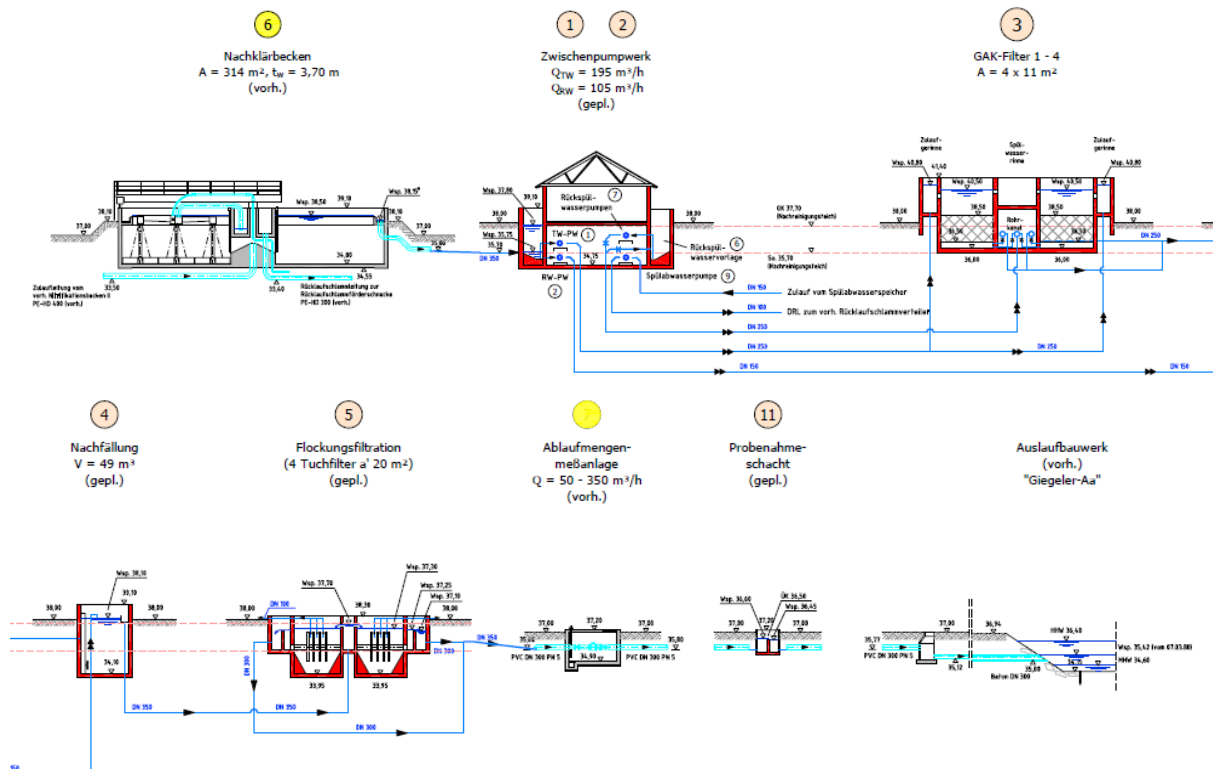


Abbildung 5-13: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

5.4.6 Auslegung der Flockungsfiltration

Wie in Kap. 5.1 beschrieben, ist für den zukünftigen Kläranlagenbetrieb mit 4. Reinigungsstufe am Standort Hopsten i.d.R. eine Flockungsfiltration erforderlich. Des Weiteren ist für die 4. Reinigungsstufe eine nachgeschaltete Filtration erforderlich, um Restfraktionen der Pulveraktivkohle abzuscheiden oder wie bei der Ozonierung mögliche Transformationsprodukte in einem biologisch aktiven Filter abzubauen. Auch bei der granulierten Aktivkohle kann eine zusätzliche Filtrationsstufe erforderlich sein, um einen effektiven Suspensa-Rückhalt vor der GAK-Filtration sicherzustellen.

Nachfolgend wird die Filtrationsstufe für eine Vollstrombehandlung des Abwasserstroms ausgelegt. Alle anderen Anwendungsfälle der 4. Reinigungsstufe (s.o.), die zum Teil eine geringere Filterfläche erfordern würden, können damit ebenfalls abgedeckt werden.

Der Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem.,Filt.}}$) für die Auslegung der Flockungsfiltration beträgt 300 m³/h.

Raumfiltration:

Die Bemessung von Raumfiltern (Sandfiltern, etc.) erfolgt über die Filtergeschwindigkeit ($v_{\text{Filt.}}$). Empfohlen werden die folgenden Filtergeschwindigkeiten ($v_{\text{Filt.}}$): Für den Trockenwetterfall 7,5 m/h und im Regenwetterfall 15 m/h. Dem Bemessungsvolumenstrom muss das Rückspülwasser hinzugerechnet werden. Die Rückspülwassermenge wird mit 10 % der Jahresabwassermenge angenommen. Die Auslegung findet sich in Tabelle 5-15.

Tabelle 5-15: Eingangsparameter und Auslegung Raumfilter, Flockungsfiltration

| | | |
|------------------------------------------|---------|-------------------|
| Bemessungsvolumenstrom | 300 | m ³ /h |
| Jahresabwassermenge | 321.788 | m ³ /a |
| <i>Raumfilter</i> | | |
| Auslegungsvolumenstrom Raumfiltr. | 303,7 | m ³ /h |
| Filtergeschwindigkeit (Raumfilter) | 6 | m/h |
| Erf. Filterfläche | 50,6 | m ² |
| Gewählte Filterfläche (manuell wählen) | 50,6 | m ² |
| Filterfläche der ausgewählten Raumfilter | 12,5 | m ² |
| Anzahl Filter Raumfiltration | 4 | Stück |
| Filterhöhe (Raumfilter) | 2 | m |
| Filtervolumen (gesamt) | 101 | m ³ |
| Volumen je Filtereinheit | 25 | m ³ |
| | | |
| Spülgeschwindigkeit Raumfilter | 60 | m/h |
| Volumenstrom Spülung Raumfilter | 750 | m ³ /h |
| Spüldauer Raumfilter | 10 | min |
| Spüldauer Raumfilter | 0,17 | h |
| Spülwasseranfall | 125 | m ³ |

Tuchfilter/Gewebefilter:

Alternativ zur Raumfiltration können Gewebefilter eingesetzt werden. Diese können z.B. als Trommelfilter oder Scheibenfilter ausgeführt werden. Exemplarisch wird die Filterstufe für den Einsatz von Polstoff-Tuchfiltern der Firma Mecana ausgelegt. Für diese Filter wird eine maximale Filtergeschwindigkeit von 6 m/h empfohlen. Eine Spülwasser- und Rückspüleinheit ist nicht erforderlich. Die erforderliche Filterfläche ergibt sich damit zu (Tabelle 5-16):

Tabelle 5-16: Auslegung Tuch-/Gewebefilter, Flockungsfiltration

| <i>Tuch- / Gewebefilter</i> | |
|------------------------------------------------------|-----------------------|
| Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter | 300 m ³ /h |
| Filtergeschwindigkeit | 6 m/h |
| Benötigte Filterfläche | 50 m ² |
| Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter | 20 m ² |
| Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter | 3 Stück |
| Gewählte Filterfläche | 60 |
| Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter) | 5 m/h |

Im Rahmen der Planung wurden insgesamt vier Tuch-/Gewebefilter vorgesehen (rechnerisch 3 erforderliche Filter + 1 Reserve).

6 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken und die wirtschaftliche Bewertung werden für die Kläranlage Hopsten folgende Verfahrenskonzepte berücksichtigt:

- Variante 1: Dosierung von PAK in die Belebung
- Variante 2: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken
- Variante 3: Ozonierung
- Variante 4: GAK-Filtration

Es gilt dabei, die o.g. Verfahrenskonzepte wirtschaftlich zu vergleichen. Für den wirtschaftlichen Vergleich werden die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW veröffentlichten Vorgaben zur Kostenermittlung genutzt (38). Die Ermittlung erfolgt dabei in Anlehnung an die LAWA-Richtlinie. In diese Berechnung gehen sowohl die Erstinvestitionen mit den Re-Investitionen als auch die Betriebsmittelverbräuche, Versicherungen, Personalbedarf und Reststoffverwertungskosten ein.

6.1 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 wird eine Ertüchtigung der Nachklärung vorgesehen.

Die Investitionen für die verschiedenen Verfahrensvarianten wurden anhand der Anlagenvorbemessung und der Lagepläne abgeschätzt und sind in Tabelle 6-1 zusammengestellt.

Tabelle 6-1: 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 € |

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen ist der Anlage B (Kapitel 8.1 bis 8.4) zu entnehmen. 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 1.983.492 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.

6.2 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. Eine Übersicht über die Ermittlung des Energiebedarfs ist Kap. 8.5 zu entnehmen.

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.

Die Zusammenstellung der Betriebsmittel- und Verbrauchsmittelkosten ist in Kap. 8.6 dargestellt. Tabelle 6-2 zeigt eine Zusammenfassung der auf das Jahr 2013 als Bezugsjahr umgerechneten Betriebskosten.

Tabelle 6-2: 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 6-2 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.

6.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Berechnung der Kosten zugrunde gelegt. Kap. 8.7 zeigt die Berechnung der Jahreskosten für die 4 Varianten. Die Kosten wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien auf das Bezugsjahr 2013 umgerechnet. Eine Zusammenstellung der Jahreskosten enthält Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: 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.

6.4 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.

6.5 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 muss – wie schon in Kap. 5.1 erläutert – 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 (37). 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 (24). 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 (11) 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 (8) 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 (39).

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.

7 Anhang A - Untersuchungsergebnisse

7.1 Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Mai 2013

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
 www.owlumwelt.de



UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 21.05.2013 RN

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
 (2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 13.05.2013 Zeit(en): (1) 10:35 Uhr (2) 11:05 Uhr

Abfluss: (1) Niedrig- bis Mittelwasser (2) Niedrig- bis Mittelwasser

Strömung: (1) fließend ohne Turbulenz (2) fließend ohne Turbulenz

Sohle: (1) vorherrschend Sand, teilweise grobes Geröll/Bauschutt, wenig Schlamm; wenig Makrophyten, Grün- und Kieselalgen
 (2) vorherrschend Sand, wenig grobes Geröll und Schlamm; wenig Makrophyten, Grün- und Kieselalgen

Witterung: (1) Während der Probe geringer Niederschlag, davor starke Schauer, Lufttemperatur: 11 °C
 (2) Während der Probe geringer Niederschlag, davor starke Schauer, Lufttemperatur: 11 °C

| Analysennummer: | | 125096 | 125098 | |
|---------------------------------|----------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen vor Ort</i> | | | | |
| Farbe | | schwach gelb | schwach gelb | visuell |
| Geruch | | muffig | muffig | olfaktorisch |
| Trübung | | gering | gering | visuell |
| Sauerstoff (O2) | mg/l | 10,6 | 9,94 | DIN 38405-G22 |
| Sauerstoffsättigung | % | 103 | 97 | berechnet |
| Wassertemperatur | °C | 12,5 | 12,7 | DIN 38404-C4 |
| pH-Wert | | 7,74 | 7,67 | DIN 38404-C5 |
| Leitfähigkeit 25 °C | µS/cm | 648 | 653 | DIN EN 27888 C8 |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Sauerstoffzehrung | mg/l | 2,5 | 1,9 | berechnet |
| TOC | mg/l | 6,7 | 7,1 | DIN EN 1484 |
| Ammonium - N | mg/l | 0,14 | 0,18 | analog DIN38405-E 5, BR.. |
| Nitrit - N | mg/l | 0,059 | 0,057 | DIN EN 26777 -D10' |
| Nitrat - N | mg/l | 2,5 | 3,8 | DIN EN ISO 13395-D28' |
| Phosphor-ges. (PO4-P) | mg/l | 0,04 | 0,05 | DIN EN 1189-D11 |
| Chlorid (Cl) | mg/l | 80 | 78 | analog DIN EN ISO 15682.. |
| <i>biologische Untersuchung</i> | | | | |
| Saprobienindex (S) | | 2,35 | 2,36 | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Summe Abundanzen | | 34 | 30 | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Wassergüteklasse | | II-III | II-III | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Saprobielle Qualitätsklasse | | mäßig [>2,25 - 2,85] | mäßig [>2,25 - 2,85] | PERLODES (2006) |

bitte wenden

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.2 Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Juli 2014

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
 www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 15.07.2014 RN

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
 (2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 01.07.2014 (1) Stichprobe: 11:30 Uhr (2) Stichprobe: 11:10 Uhr

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor geringer Niederschlag, Lufttemperatur: 16 °C
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor geringer Niederschlag, Lufttemperatur: 16 °C

| Analysennummer: | | 50524 156615 | 50527 156623 | |
|------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen vor Ort</i> | | | | |
| Farbe | | schwach gelb | schwach gelb | visuell |
| Geruch | | geruchlos | geruchlos | olfaktorisch |
| Trübung | | keine | keine | visuell |
| Wassertemperatur | °C | 17,5 | 17,8 | DIN 38404-C4 |
| pH-Wert | | 7,03 | 7,16 | EN ISO 10523:2012 |
| Leitfähigkeit 25 °C | µS/cm | 695 | 688 | DIN EN 27888 C8 |
| Sauerstoff (O ₂) | mg/l | 9,75 | 9,26 | DIN 38406-G22 |
| Sauerstoffsättigung | % | 105 | 100 | berechnet |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Sauerstoffzehrung | mg/l | 3,9 | 2,0 | berechnet |
| TOC | mg/l | 6,7 | 6,5 | DIN EN 1484 |
| Ammonium - N | mg/l | 0,04 | 0,047 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrit - N | mg/l | 0,008 | 0,011 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrat - N | mg/l | 5,5 | 3,5 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Phosphor-ges. (PO ₄ -P) | mg/l | < 0,02 | < 0,02 | DIN EN 1189-D11 |
| Chlorid (Cl) | mg/l | 84 | 86 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |

Az. 54.3-2.1-7.5.11-1429700 Nr. 1721

Die Untersuchung erfolgte gemäß Auflagen des Erlaubnisbescheides des RP Münster vom 12.12.2000 und Auftrag vom 13.12.2002.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

OWL Umweltanalytik
 Dr. Noll

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugswweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.3 Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Dezember 2014

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
 www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 23.12.2014 MK

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
 (2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 11.12.2014 Zeit(en): (1) 12:40 Uhr (2) 13:50 Uhr

Abfluss: (1) Niedrig- bis Mittelwasser (2) Niedrig- bis Mittelwasser

Strömung: (1) fließend ohne Turbulenz (2) fließend ohne Turbulenz

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 4 °C

(2) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 4 °C

| Analysennummer: | | 161519 | 161530 | |
|------------------------------------|----------|----------------|----------------|--------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen vor Ort</i> | | | | |
| Farbe | | schwach gelb | schwach gelb | visuell |
| Geruch | | schwach muffig | schwach muffig | olfaktorisch |
| Trübung | | mäßig | mäßig | visuell |
| Wassertemperatur | °C | 5,0 | 5,1 | DIN 38404-C4 |
| pH-Wert | | 7,83 | 7,80 | EN ISO 10523:2012 |
| Leitfähigkeit 25 °C | µS/cm | 699 | 712 | DIN EN 27888 C8 |
| Sauerstoff (O ₂) | mg/l | 12,7 | 12,4 | DIN 38406-G22 |
| Sauerstoffsättigung | % | 102 | 100 | berechnet |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Sauerstoffzehrung | mg/l | 3,9 | 3,9 | berechnet |
| TOC | mg/l | 7,8 | 7,7 | DIN EN 1484 (H 3) |
| Ammonium - N | mg/l | 0,19 | 0,23 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrit - N | mg/l | 0,047 | 0,05 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrat - N | mg/l | 3,2 | 3,3 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| o-Phosphat (o-PO ₄ -P) | mg/l | 0,03 | 0,05 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Phosphor-ges. (PO ₄ -P) | mg/l | 0,12 | 0,15 | DIN EN 1189 (D 11) |
| Chlorid (Cl) | mg/l | 78 | 80 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

OWL Umweltanalytik
 Dipl.-Biologe Krismann

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.4 Untersuchungsergebnisse ACP's im Vorfluter, Juli 2015

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
www.owlumwelt.de



UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 15.07.2015 FE

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
(2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 02.07.2015 Zeit(en): (1) 10:55 Uhr (2) 11:10 Uhr

Abfluss: (1) Niedrig- bis Mittelwasser (2) Niedrig- bis Mittelwasser

Strömung: (1) fließend ohne Turbulenz (2) fließend ohne Turbulenz

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 27 °C

(2) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 27 °C

| Analysennummer: | | 161520 | 161531 | |
|------------------------------------|----------|-----------|-----------|--------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen vor Ort</i> | | | | |
| Farbe | | ohne | ohne | visuell |
| Geruch | | geruchlos | geruchlos | olfaktorisch |
| Trübung | | keine | keine | visuell |
| Wassertemperatur | °C | 22,4 | 22,2 | DIN 38404-C4 |
| pH-Wert | | 7,74 | 7,77 | EN ISO 10523:2012 |
| Leitfähigkeit 25 °C | µS/cm | 626 | 650 | DIN EN 27888 C8 |
| Sauerstoff (O ₂) | mg/l | 7,90 | 9,12 | DIN 38406-G22 |
| Sauerstoffsättigung | % | 93 | 107 | berechnet |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Sauerstoffzehrung | mg/l | 1,5 | 2,4 | berechnet |
| TOC | mg/l | 5,4 | 7,2 | DIN EN 1484 (H 3) |
| Ammonium - N | mg/l | < 0,025 | < 0,025 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrit - N | mg/l | < 0,006 | 0,007 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Nitrat - N | mg/l | 1,1 | 1,4 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| o-Phosphat (o-PO ₄ -P) | mg/l | < 0,02 | < 0,02 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |
| Phosphor-ges. (PO ₄ -P) | mg/l | 0,08 | 0,12 | DIN EN 1189 (D 11) |
| Chlorid (Cl) | mg/l | 64 | 77 | E DIN ISO 15923-1 (D 42) |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (D-PL-14289-01-00).

OWL Umweltanalytik
M. Sc. Eisenhuth

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.5 PERLODES-Untersuchung 2014



Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung der Giegel Aa am 04.07.2014 gemäß dem Erlaubnisbescheid des Klärwerks Hopsten

Sehr geehrte Damen und Herren,
sehr geehrter Herr Harbecke,

nachstehend wird näher auf die Ergebnisse der im Sinne der wasserrechtlichen Erlaubnis am Vorfluter des Klärwerks Hopsten am 04.07.2014 nach dem PERLODES-Verfahren durchgeführten Gewässeruntersuchungen eingegangen. Die Erhebungen erfolgten bei Trockenwetter, wobei sich der Abfluss des Vorfluters zwischen dem mittleren Niedrigwasser und seiner Mittelwasserführung bewegte. Da die Giegel Aa im Rahmen der Festsetzungen der EG-WRRL für den untersuchten Abschnitt mittlerweile als „erheblich verändertes“ Gewässer (sog. HMWB) ausgewiesen wurde, wird nicht gefordert, dass der „gute ökologische Zustand“, sondern das „gute ökologische Potenzial“, innerhalb dessen die Biologie geringfügig vom Referenzzustand abweichen kann, anzustreben ist. Als für die Klassifizierung an diesem Gewässerabschnitt verantwortliche Nutzungskategorie wird „Landentwässerung und Hochwasserschutz“ begründend angeführt. Der Gewässerlauf wird im betrachteten Abschnitt gemäß der LAWA Klassifizierung dem Typus 14 (sandgeprägte Tieflandbäche) zugeordnet. Es erfolgten mehrfach Aktualisierungen der Auswertungssoftware ASTERICS. Die Version 4.0.3 implementiert nun auch die HMWB über ein spezifisches Bewertungsmodul (vgl. aktualisiertes Infoschreiben)!

1. Giegel Aa oberhalb der Einleitung des Klärwerks Hopsten

Die Gewässersohle der Giegel Aa wurde im betrachteten Abschnitt von sandigen Körnungen dominiert, vereinzelt lagen künstliche Substrate vor. Es war in mäßig höherem Umfang ein Bewuchs mit submersen wie auch emersenen Makrophyten und vereinzelt Algen zu verzeichnen.

Modul Saprobie

Die Gemeinschaft an Makrozoen rekrutierte sich an dieser Kontrollstelle zu ca. 21 % aus solchen Wirbellosen, deren Verbreitungsschwerpunkt in organisch stärker belasteten Gewässerabschnitten liegt. Bei den übrigen Taxa handelte es sich um weit verbreitete Generalisten; Organismen, die empfindlich gegenüber organischer Belastung reagieren, wurden nicht angetroffen. Über einen Saprobienindex von $S = 2,21$ berechnete sich die Wassergüteklasse II einer mäßigen organischen Belastung, respektive auf den Fließgewässertypus bezogen die gute saprobielle Qualitätsklasse. Über die hohe Abundanzsumme an Indikatororganismen erwies sich diese Einstufung als stark gesichert.

Allgemeine Degradation

Mit 41 Arten lag im Hinblick auf die Beprobungsintensität eine zufrieden stellende taxonomische Diversität vor. Das Besiedlungsmuster erwies sich als weitgehend ausgeglichen, lediglich die Lar-

OWL Umweltanalytik GmbH
Westring 93
33818 Leopoldshöhe
HRB 2744 (AG Lemgo)

☎ (0 52 02) 92 332 0
☎ (0 52 02) 92 332 20
Geschäftsführer Dr. R. Noll,
M.Sc. J. Brauer

Email: info@owlumwelt.de
Internet: <http://www.owlumwelt.de>

Seite 1 von 2

ven der Eintagsfliegen aus der *Baetis fuscatus*-Gruppe sowie Hydrachniden (Wassermilben) wurden in etwas höherem Umfang angetroffen. Die Auswertung durch die aktuelle Version der Software ASTERICS ergab insgesamt über den summierenden Multimetric Index eine unbefriedigende Bewertung. Dafür war insbesondere die unbefriedigende Bewertung des im Mittelpunkt stehenden Deutschen Fauna Index (DFI 14/16) verantwortlich. Da die Besiedlung neben zwei für den Fließgewässertypus uncharakteristischen „Störarten“ eine Reihe von wenig typischen Taxa umfasste, während die eigentlich zu erwartenden Leitarten fehlten, erfuhr dieser Index eine schlechte Bewertung. Auch der Anteil der Litoral-Besiedler (Stillwasser-Besiedler), der in naturnahen Gewässern des Typs 14 sehr gering ist, war mit einem Anteil von 20 % deutlich erhöht, was zu einer maximal ungünstigen Bewertung dieses funktionalen Metric führte. Für den funktionalen Metric „Zusammensetzung EPT“ (Eintags-, Stein- und Köcherfliegen) lag mit einem Anteil von 34 % dagegen eine gute Bewertung vor. Gleiches galt für die Anzahl an Trichoptera-Arten (Köcherfliegen), deren Vielfalt mit insgesamt acht nachgewiesenen Taxa eine gute Einstufung erfuhr. Insgesamt verdeutlichten die Teilmetrics der „Allgemeinen Degradation“ auf Grundlage der Bewertungsmuster von ASTERICS die Ausprägung einer in größeren Teilen uncharakteristischen Makrozoobenthosgemeinschaft.

2. Giegel Aa unterhalb der Einleitung des Klärwerks Hopsten

Die strukturelle Beschaffenheit der Gewässersohle und ihr Bewuchs glichen weitgehend der oberen Messstelle, lediglich der Gehalt an künstlichen Substraten fiel hier wenig höher aus.

Modul Saprobie

Der resultierende Saprobienindex veränderte sich gegenüber der oberen Überwachungsstelle nicht, woraus entsprechend auch keine Veränderungen der Gewässergüteklassifikationen folgten. Der Anteil gegenüber organischer Belastung unempfindlicher Taxa betrug hier ca. 19 %, die übrige Besiedlung rekrutierte sich ebenfalls aus saprobiellen eher indifferenten Ubiquisten. Die gemäß der DIN 38410 geforderte Abundanzsumme wurde um das Dreifache überschritten.

Allgemeine Degradation

Am unteren Kontrollabschnitt erwies sich die taxonomische Vielfalt als weniger reichhaltiger als an dem gewässeraufwärts der betrachteten Einleitungsstelle liegenden. Abermals dominierten die o.g. Eintagsfliegenlarven und Wassermilben zahlenmäßig leicht die bodengebundene Gewässerfauna. Für dieses Teilmodul berechnete sich über einen nur wenig abfallenden Multimetric Index ebenfalls die unbefriedigende Qualitätsklasse. Im Einzelnen variierten die Ergebnisse der zur Anwendung kommenden Metrics nur wenig gegenüber dem oberen Messpunkt. Auch hier war für die ungünstige Bewertung neben einer unbefriedigenden Einstufung des zentralen Deutschen Fauna Index (DFI 14/16) ebenfalls die schlechte Indikation des Anteils der Litoral-Besiedler verantwortlich, welcher hier immer noch 14 % betrug. Die Zusammensetzung der EPT-Fauna und die Anzahl der Trichoptera-Arten erfuhr weiterhin eine gute Bewertung.

3. Ökologische Potenzialklassen

Im Sinne des 5-stufigen Bewertungssystems PERLODES ergab sich für beide Kontrollabschnitte über die Zuordnung der „unbefriedigenden Potenzialklasse“ eine Klassifizierung, welche zwei Stufen unterhalb des Qualitätsziels der WRRL lag. Verantwortlich für diese Bewertung war gemäß dem „worst case“-Prinzip die unbefriedigende Bewertung des Teilmoduls der allgemeinen Degradation. Auch ohne Einstufung der Giegel Aa als erheblich verändertes Gewässer (HMWB) ergäbe sich keine abweichende Zuordnung. Die saprobielle Indikation des biologischen Besiedlungsbildes erfuhr gewässerabwärts der betrachteten Abwasserzufuhr keine Abwertung und genügte einheitlich der Wassergütekategorie II bzw. der „guten saprobiellen Qualitätsklasse“.

OWL Umweltanalytik GmbH
i.A.



(Diplom-Biologin C. Heise)

OWL Umweltanalytik GmbH
Westring 93
33818 Leopoldshöhe
HRB 2744 (AG Lemgo)

☎ (0 52 02) 92 332 0
☎ (0 52 02) 92 332 20
Geschäftsführer Dr. R. Noll,
M.Sc. J. Brauer

Email: info@owlumwelt.de
Internet: <http://www.owlumwelt.de>

Seite 2 von 2

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax - 92 332 20
 www.owlumwelt.de



BIOLOGISCH-ÖKOLOGISCHE UNTERSUCHUNG PERLODES

Leopoldshöhe, 25.07.2014 CH

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
 (2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 04.07.2014

| Taxon | Analysennummer DV-Nr. | (1) 50822 160023 | | (2) 50823 160024 | |
|------------------------------|--------------------------|---------------------|----|---------------------|----|
| | | Ind./m ³ | HK | Ind./m ³ | HK |
| Makrozoobenthos | | | | | |
| Spongillidae | 1014 | 2 | 1 | | |
| Dugesia lugubris / polychroa | 1177 | | | 3 | 2 |
| Ancylus fluviatilis | 1005 | 8 | 2 | | |
| Anisus vortex | 1040 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Bithynia tentaculata | 1009 | 5 | 2 | 6 | 2 |
| Gyraulus spp. | 1109 | 2 | 1 | | |
| Lymnaea stagnalis | 1030 | | | 1 | 1 |
| Physa fontinalis | 1083 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Pisidium amnicum | 1982 | 16 | 3 | 16 | 3 |
| Potamopyrgus antipodarum | 1036 | 5 | 2 | 3 | 2 |
| Radix auricularia | 1084 | | | 1 | 1 |
| Radix balthica | 1409 | 6 | 2 | 1 | 1 |
| Sphaerium corneum | 1012 | 16 | 3 | 8 | 2 |
| Erpobdella octoculata | 1000 | 5 | 2 | 6 | 2 |
| Glossiphonia nebulosa | 1334 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Helobdella stagnalis | 1008 | | | 1 | 1 |
| Limnodrilus spp. | 1110 | 2 | 1 | | |
| Pisicicola geometra | 1027 | | | 1 | 1 |
| Tubifex spp. | 1167 | 6 | 2 | 2 | 1 |
| Asellus aquaticus | 1004 | 16 | 3 | 16 | 3 |
| Dikerogammarus bispinosus | 1373 | | | 2 | 1 |
| Gammarus pulex | 1002 | 6 | 2 | 50 | 4 |
| Baetis fuscatus - Gruppe | 601 | 114 | 5 | 111 | 5 |
| Baetis vernus | 278 | 6 | 2 | 42 | 4 |
| Caenis horaria | 156 | | | 2 | 1 |
| Caenis luctuosa | 847 | 22 | 3 | 11 | 3 |
| Caenis robusta | 711 | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Centroptilum luteolum | 252 | 40 | 4 | 7 | 2 |
| Ephemera vulgata | 186 | 1 | 1 | | |
| Serratella ignita | 20021 | 26 | 3 | 2 | 1 |

bitte wenden

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

| Analysennummer | | (1) 50822 160023 | | (2) 50823 160024 | |
|------------------------------|--------|---------------------|----|---------------------|----|
| Taxon | DV-Nr. | Ind./m ² | HK | Ind./m ² | HK |
| Makrozoobenthos | | | | | |
| Calopteryx splendens | 124 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Platycnemis pennipes | 101 | | | 1 | 1 |
| Agabus spp. | 165 | | | 1 | 1 |
| Halplus fluviatilis | 35 | 3 | 2 | 16 | 3 |
| Halplus spp. | 102 | 1 | 1 | | |
| Sialis lutaria | 248 | 16 | 3 | 3 | 2 |
| Anabolia nervosa | 14 | 2 | 1 | 3 | 2 |
| Athripsodes cinereus | 211 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Cymus trimaculatus | 69 | | | 2 | 1 |
| Halesus radiatus | 194 | 2 | 1 | | |
| Hydropsyche angustipennis | 125 | | | 1 | 1 |
| Molanna angustata | 508 | 6 | 2 | 2 | 1 |
| Mystacides azurea | 451 | 10 | 2 | 2 | 1 |
| Mystacides longicornis | 781 | 2 | 1 | | |
| Polycentropus flavomaculatus | 12 | 8 | 2 | 5 | 2 |
| Tinodes waeneri | 803 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| Chironomini | 910 | 50 | 4 | 18 | 3 |
| Chironomus obtusidens-Gr. | 10390 | | | 2 | 1 |
| Orthocladinae | 106 | 26 | 3 | 8 | 2 |
| Prodiamesinae | 10489 | 67 | 4 | 13 | 3 |
| Simuliidae | 13 | 5 | 2 | 2 | 1 |
| Tanypodinae | 502 | | | 5 | 2 |
| Tanytarsini | 605 | 17 | 3 | 5 | 2 |
| Hydrachnidia | 15273 | 520 | 6 | 520 | 6 |

Zeichenerklärung: Ind./m² = Anzahl der Individuen/m², berechnet aus der Aufzählung und Sammlung von 1,25 m² Fläche des Fließgewässers gemäß der Verteilung der Fehlpunkte HK = Häufigkeitsklassen: ganze Zahl von 1 (Einzelfind) bis 7 (Massenorkommen) zur Kennzeichnung von Individuenzahlen einer Taxons gemäß Umrechnungstabelle PERLODES.

Die Biologisch-Ökologische Gewässeruntersuchung nach dem Bewertungssystem PERLODES wurde vorgenommen und freigegeben von Herr Dipl.-Biologe Hartmut Friedrich.

OWL Umweltanalytik
Dipl.-Biologin Heise

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Pleustabilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 25.07.2014 CH

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten
Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten
Probenahmestelle: (1) Giegei Aa oberhalb
 (2) Giegei Aa unterhalb
Entnahme: 04.07.2014 Zeit(en): (1) 10:10 Uhr (2) 12:05 Uhr
Abfluss: (1) Niedrig- bis Mittelwasser (2) Niedrig- bis Mittelwasser
Strömung: (1) fließend ohne Turbulenz (2) fließend ohne Turbulenz
Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 21 °C
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 26 °C

| Analysenummer: | | 160023 | 160024 | |
|------------------------------------|----------|---------------------|---------------------|--------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| Messungen vor Ort | | | | |
| Psammal (> 6 µm - 2 mm) | % | 40 | 40 | DIN EN 16150 M 70 |
| Technolithal 1 (künstl. Substrate) | % | 5 | 10 | DIN EN 16150 M 70 |
| Algen | % | 5 | 5 | DIN EN 16150 M 70 |
| Submerse Makrophyten | % | 20 | 20 | DIN EN 16150 M 70 |
| Emerse Makrophyten | % | 30 | 25 | DIN EN 16150 M 70 |
| biologische Untersuchung | | | | |
| Fließgewässertypus | | 14 | 14 | LAWA (2004) |
| typspezifischer Saprobienindex | | 1,65 | 1,65 | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Saprobienindex (S) | | 2,21 | 2,20 | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Summe Abundanzen | | 68 | 62 | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Wassergüteklasse | | II | II | DIN 38410 (Novelle 2005) |
| Saprobielle Qualitätsklasse | | gut [>1,8 - 2,25] | gut [>1,8 - 2,25] | PERLODES (2006) |
| Absicherung Saprobie | | gesichert | gesichert | |
| Deutscher Fauna Index Typ 14/16 | | 0,311 | 0,225 | Multimetr. Index (0-1) |
| Ergebnisabsicherung DFI 1416 | | gesichert | gesichert | |
| Anzahl Indikatorarten DFI 1416 | | 21 | 21 | |
| Σ Abundanzklassen DFI 1416 | | 41 | 33 | |
| Litoral-Besiedler (%) | | 0 | 0,074 | Multimetr. Index (0-1) |
| Zusammensetzung EPT (%) | | 0,716 | 0,671 | Multimetr. Index (0-1) |
| Anzahl Trichoptera-Arten | | 0,8 | 0,8 | Multimetr. Index (0-1) |
| Multimetrischer Index gesamt | | 0,4 | 0,37 | Multimetr. Index (0-1) |
| Allgemeine Degradation | | unbefriedigend | unbefriedigend | PERLODES (2006) |
| Ökologische Potenzialklasse | | unbefriedigend | unbefriedigend | PERLODES (2006) |

OWL Umweltanalytik
 Dipl.-Biologin Heise

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.6 Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juni 2013

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 20.06.2013 RN

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Ablauf Teich (PN)

Entnahme: (1) 10.06.2013 Stichprobe: 11:25 Uhr mehrtägige Mischprobe: 10.06.2013 13:00 Uhr - 13.06.2013 13:00 Uhr

| Analysennummer: | | 45630 130502 | |
|--------------------|----------|--------------|------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | Verfahren |
| Messungen im Labor | | | |
| Benzotriazol | µg/l | 4,80 | Hausmethode (LC-MS-MS) |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

OWL Umweltanalytik
Dr. Noll

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.7 Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juli 2014

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
 www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 15.07.2014 RN

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
 (2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 01.07.2014 (1) Stichprobe: 11:30 Uhr (2) Stichprobe: 11:10 Uhr

| Analysennummer: | | 50820 161540 | 50821 161544 | |
|---------------------------|----------|--------------|--------------|--------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Diclofenac | ng/l | 150 | 180 | Hausmethode LC/MS/MS |
| Carbamazepin | ng/l | 170 | 210 | Hausmethode LC/MS/MS |
| Metoprolol | ng/l | 160 | 220 | Hausmethode (LC-MS-MS) |
| Sotalol | ng/l | 79 | 94 | Hausmethode (LC-MS-MS) |
| Clarithromycin | ng/l | 19 | 16 | Hausmethode (LC-MS-MS) |
| Sulfamethoxazol | ng/l | 42 | 46 | Hausmethode (LC-MS-MS) |
| Benzotriazol | µg/l | 0,51 | 0,61 | EN ISO 11369 (F12) LC/MS |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14289-01-00).

OWL Umweltanalytik
 Dr. Noll

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.8 Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Dezember 2014

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
fon 0 52 02-92 332 0 fax -92 332 20
www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 13.01.2015 JB

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giegel Aa oberhalb
(2) Giegel Aa unterhalb

Entnahme: 11.12.2014 (1) Stichprobe: 12:40 Uhr (2) Stichprobe: 13:50 Uhr Laboreingang: 11.12.2014

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 4 °C
(2) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 4 °C

| Analysenummer: | | 50820 161541 | 50821 161545 | |
|---------------------------|----------|--------------|--------------|------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Diclofenac | µg/l | 0,330 | 0,410 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Carbamazepin | µg/l | 0,160 | 0,170 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Metoprolol | µg/l | 0,110 | 0,130 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Sotalol | µg/l | 0,057 | 0,084 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Clarithromycin | µg/l | < 0,05 | 0,061 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Sulfamethoxazol | µg/l | < 0,05 | 0,088 | SOP: HM-MA-M U-2-25* |
| Benzotriazol | µg/l | 1,60 | 1,70 | Hausmethode (LC-MS-MS) |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (DAP-PL-14170-01-00).

Durchschrift: Bezirksregierung Münster (per E-Mail)

OWL Umweltanalytik
Master of Science Brauer

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.9 Untersuchungsergebnis frühere Spurenstoffuntersuchungen, Juli 2015

ANALYTIK BERATUNG GUTACHTEN
 fon 0 52 02-92 332 0 fax - 92 332 20
 www.owlumwelt.de



Leopoldshöhe, 21.07.2015 RN

UNTERSUCHUNGSBEFUND

Auftraggeber: Abwasserwerk der Gemeinde Hopsten

Entnahmestelle: Kläranlage Hopsten

Probenahmestelle: (1) Giebel Aa oberhalb
 (2) Giebel Aa unterhalb

Entnahme: 02.07.2015 (1) Stichprobe: 10:55 Uhr (2) Stichprobe: 11:10 Uhr Laboreingang: 02.07.2015

Witterung: (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 27 °C
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 27 °C

| Analysenummer: | | 50820 161542 | 50621 161546 | |
|---------------------------|----------|--------------|--------------|----------------------------------|
| Parameter: | Einheit: | (1) | (2) | Verfahren |
| <i>Messungen im Labor</i> | | | | |
| Diclofenac | µg/l | 0,062 | 0,110 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Carbamazepin | µg/l | 0,220 | 0,240 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Metoprolol | µg/l | 0,089 | 0,120 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Sotalol | µg/l | < 0,05 | < 0,05 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Clarithromycin | µg/l | < 0,05 | < 0,05 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Sulfamethoxazol | µg/l | 0,051 | 0,061 | SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a |
| Benzotriazol | µg/l | 0,460 | 0,660 | Hausmethode (LC-MS-MS) |

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 (D-PL-14170-01-00).

Durchschrift: Bezirksregierung Münster (per E-Mail)

OWL Umweltanalytik
 Dr. Noll

Dieser Ergebnisbericht wurde geprüft und freigegeben. Er entspricht den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2005 an vereinfachte Ergebnisberichte und ist ohne Unterschrift gültig.

Die Prüfungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Bei Proben unbekanntem Ursprungs ist eine Plausibilitätsprüfung nur bedingt möglich. Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichts ohne unsere schriftliche Genehmigung ist nicht zulässig.

7.10 Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 1. Probenahme

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



WESSLING GmbH
Oststraße 7 · 48341 Altenberge
www.wessling.de

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Gemeinde Hopsten
Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung
Herr Dipl.-Ing. Schütte
Bunte Straße 35
48496 Hopsten

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: K. Dexheimer
Durchwahl: +49 2505 89153
Fax: +49 2505 89185
E-Mail: Kai.Dexheimer@wessling.de

Prüfbericht

**Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen
hier: Kläranlage Hopsten**

| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Probe Nr. | 15-160968-01 | | | | |
| Eingangsdatum | 29.10.2015 | | | | |
| Bezeichnung | Zulauf K.A. | | | | |
| Probenart | Abwasser | | | | |
| Probenahme | 29.10.2015 | | | | |
| Probenahme durch | WESSLING GmbH | | | | |
| Probennehmer | Herr Heerdt | | | | |
| Probenmenge | 8,85 Liter | | | | |
| Probengefäß | 7x1 L Schilff 0,5 L PE 0,5 L Glasflasche 3x250 ml Schilffflasche 2xSeptumglas | | | | |
| Untersuchungsbeginn | 29.10.2015 | | | | |
| Untersuchungsende | 23.11.2015 | | | | |

Probenvorbereitung

| | |
|------------------------|--------------|
| Probe Nr. | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | Zulauf K.A. |
| Mischprobe herstellung | 29.10.15 |

Chlorphenole

| | |
|------------------|--------------|
| Probe Nr. | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | Zulauf K.A. |
| Pentachlorphenol | µg/l WE <0,5 |



DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL 14162-01-00

Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die mit [®] markierten Prüfverfahren. Eine detaillierte Auflistung unserer akkreditierten Prüfverfahren befindet sich in der Urkundenanlage der DAkkS auf unserer Internetseite unter www.wessling.de. Messergebnisse basieren sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfobjekte. Prüfberichte dürfen ohne Genehmigung der WESSLING GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Geschäftsführer:
Dr. Michaela Nowak, Hans-Dieter
Bossemeyer, Florian Weßling
AB Steinfurt HRB 1953

| | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

| | | | | |
|----------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| Trichlormethan | µg/l | WE | | <0,5 |

Phthalate

| | | | | |
|----------------------------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) | µg/l | WE | | 10 |

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

| | | | | |
|----------------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| Fluoranthren | µg/l | WE | | 0,03 |
| Benzo(b)fluoranthren | µg/l | WE | | <0,02 |
| Benzo(ghi)perylen | µg/l | WE | | <0,02 |

Nonylphenole

| | | | | |
|-------------------------------------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| 4-tert.-Octylphenol | µg/l | WE | | <0,1 |
| 4-n-Nonylphenol | µg/l | WE | | <0,1 |
| 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE) | µg/l | WE | | 1,1 |
| 4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE) | µg/l | WE | | <0,1 |
| 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE) | µg/l | WE | | <0,5 |
| 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE) | µg/l | WE | | <0,1 |
| 4-n-Octylphenol | µg/l | WE | | <0,1 |
| 4-Nonylphenol | µg/l | WE | | 0,51 |

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

| | | | | |
|-----------------------------------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| 2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47) | µg/l | WE | | 0,017 |

Arzneimittel-Rückstände

| | | | | |
|-----------------|------|----|--|--------------|
| Probe Nr. | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | Zulauf K.A. |
| Carbamazepin | µg/l | WE | | 0,43 |
| Diclofenac | µg/l | WE | | 3 |
| Sulfamethoxazol | µg/l | WE | | 0,6 |
| Bezafibrat | µg/l | WE | | 0,76 |
| Atenolol | µg/l | WE | | <0,1 |

| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|----------------------------------------|----------------|-------------|--------------|-------|--------------|
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-01 |
| Metoprolol | | µg/l | WE | | 3,3 |
| Sotalol | | µg/l | WE | | 0,39 |
| Phenazon | | µg/l | WE | | <0,1 |
| Clarithromycin | | µg/l | WE | | 2,2 |
| Naproxen | | µg/l | WE | | 1,1 |
| Bisoprolol | | µg/l | WE | | 0,68 |
| Oxazepam | | µg/l | WE | | <0,1 |
| Pflanzenschutzmittel-Rückstände | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | | Zulauf K.A. |
| 4-Methyl-1H-benzotriazol | | µg/l | WE | | 1,5 |
| 5-Methyl-1H-benzotriazol | | µg/l | WE | | 1,7 |
| Benztotriazol | | µg/l | WE | | 24 |
| Atrazin | | µg/l | WE | | <0,05 |
| Diuron | | µg/l | WE | | <0,05 |
| Isoproturon | | µg/l | WE | | <0,05 |
| Simazin | | µg/l | WE | | <0,05 |
| Terbutryn | | µg/l | WE | | <0,05 |
| Süßstoffe | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | | Zulauf K.A. |
| Acesulfam K | | µg/l | WE | | 60 |
| Saccharin | | µg/l | WE | | 47 |
| Cyclamat | | µg/l | WE | | 250 |
| Sucralose | | µg/l | WE | | 4,5 |
| Steroid-Hormone | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | | Zulauf K.A. |
| 17 beta-Estradiol | | µg/l | WE | | <0,005 |
| 17 alpha-Ethinylestradiol | | µg/l | WE | | <0,005 |
| Estron (E1) | | µg/l | WE | | 0,006 |
| Röntgenkontrastmittel | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-01 |
| Bezeichnung | | | | | Zulauf K.A. |
| Iopamidol | | µg/l | WE | | <0,5 |
| Iomeprol | | µg/l | WE | | <0,5 |
| Amidotrizoesäure | | µg/l | WE | | <0,5 |
| Iopromid | | µg/l | WE | | <0,5 |

| | | | | | |
|------------------------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
| Organozinverbindungen | | | | | |
| Probe Nr. | 15-160968-01 | | | | |
| Bezeichnung | Zulauf K.A. | | | | |
| Tributylzinn | µg/l | WE | 0,0026 | | |



Prüfbericht Nr. **CAL15-133056-1** Auftrag Nr. **CAL-12396-15** Datum **24.11.2015**

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Probe Nr. | 15-160968-02 |
| Eingangsdatum | 29.10.2015 |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. |
| Probenart | Abwasser |
| Probenahme | 29.10.2015 |
| Probenahme durch | WESSLING GmbH |
| Probennehmer | Herr Heerdt |
| Probenmenge | 10,55 Liter |
| Probengefäß | 7x1 L Schilff 4x250 ml PE 0,5 L Glasflasche 7x250 ml Schilffflasche 4xSeptumglas |
| Anzahl Gefäße | 23 |
| Untersuchungsbeginn | 29.10.2015 |
| Untersuchungsende | 23.11.2015 |

Vor-Ort-Parameter

| | |
|-------------|-------------------------------|
| Probe Nr. | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. |
| Farbe | WE hellbeige |
| Geruch | WE muffig |
| Aussehen | WE wenige schwebstoffe |

Probenvorbereitung

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Probe Nr. | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. |
| Mischprobeherstellung | 0 |

Physikalische Untersuchung

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Probe Nr. | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. |
| pH-Wert | WE 7,5 |
| Leitfähigkeit [25°C], elektrische | µS/cm WE 1050 |

Summenparameter

| | |
|-------------|-------------------------|
| Probe Nr. | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. |
| AOX | mg/l WE <0,02 |
| TOC | mg/l WE 12 |



| | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

| | | | | | |
|------------------------------------------|--------------|----|-------|--|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | | |
| Ammonium (NH ₄) | mg/l | WE | 0,24 | | |
| Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N) | mg/l | WE | 0,19 | | |
| Bromid (Br) | mg/l | WE | <0,1 | | |
| Nitrat (NO ₃) | mg/l | WE | 17 | | |
| Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N) | mg/l | WE | 3,8 | | |
| Nitrit (NO ₂) | mg/l | WE | 0,19 | | |
| Nitrit (NO ₂ -N) | mg/l | WE | 0,058 | | |
| ortho-Phosphat (PO ₄) | mg/l | WE | 0,6 | | |
| ortho-Phosphat (P) | mg/l | WE | 0,2 | | |
| Gesamtphosphor (P) | mg/l | WE | 0,35 | | |
| Chlorid (Cl) | mg/l | WE | 110 | | |

Chlorphenole

| | | | | | |
|------------------|--------------|----|------|--|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | | |
| Pentachlorphenol | µg/l | WE | <0,5 | | |

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

| | | | | | |
|----------------|--------------|----|------|--|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | | |
| Trichlormethan | µg/l | WE | <0,5 | | |

Gesamtgehalt

Elemente

| | | | | | |
|------------------|--------------|----|---------|--|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | | |
| Quecksilber (Hg) | mg/l | WE | <0,0002 | | |
| Blei (Pb) | mg/l | WE | <0,005 | | |
| Cadmium (Cd) | mg/l | WE | <0,0005 | | |
| Chrom (Cr) | mg/l | WE | <0,005 | | |
| Nickel (Ni) | mg/l | WE | <0,005 | | |

Phthalate

| | | | | | |
|----------------------------------|--------------|----|-----|--|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | | |
| Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) | µg/l | WE | 3,7 | | |

| | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

| | | | | |
|----------------------|--------------|----|-------|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | |
| Fluoranthren | µg/l | WE | <0,02 | |
| Benzo(b)fluoranthren | µg/l | WE | <0,02 | |
| Benzo(ghi)perylen | µg/l | WE | <0,02 | |

Nonylphenole

| | | | | |
|-------------------------------------------|--------------|----|------|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | |
| 4-tert.-Octylphenol | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-n-Nonylphenol | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE) | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE) | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE) | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE) | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-n-Octylphenol | µg/l | WE | <0,1 | |
| 4-Nonylphenol | µg/l | WE | 0,16 | |

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

| | | | | |
|-----------------------------------------|--------------|----|--------|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | |
| 2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47) | µg/l | WE | <0,001 | |

Arzneimittel-Rückstände

| | | | | |
|-----------------|--------------|----|-------|--|
| Probe Nr. | 15-160968-02 | | | |
| Bezeichnung | Ablauf K.A. | | | |
| Carbamazepin | µg/l | WE | 0,44 | |
| Diclofenac | µg/l | WE | 1,7 | |
| Sulfamethoxazol | µg/l | WE | 0,38 | |
| Bezafibrat | µg/l | WE | 0,041 | |
| Atenolol | µg/l | WE | <0,05 | |
| Metoprolol | µg/l | WE | 1,3 | |
| Sotalol | µg/l | WE | 0,31 | |
| Phenazon | µg/l | WE | <0,05 | |
| Clarithromycin | µg/l | WE | 1,2 | |
| Naproxen | µg/l | WE | 0,11 | |
| Bisoprolol | µg/l | WE | 0,47 | |
| Oxazepam | µg/l | WE | 0,084 | |

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|------------------------------|----------------|-------------|--------------|-------|--------------|
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | | | | | Ablauf K.A. |
| 4-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | WE | 1 | | |
| 5-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | WE | 1,4 | | |
| Benztotriazol | µg/l | WE | 5,5 | | |
| Atrazin | µg/l | WE | <0,025 | | |
| Diuron | µg/l | WE | <0,025 | | |
| Isoproturon | µg/l | WE | <0,025 | | |
| Simazin | µg/l | WE | <0,025 | | |
| Terbutryn | µg/l | WE | <0,025 | | |
| Süßstoffe | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | | | | | Ablauf K.A. |
| Acesulfam K | µg/l | WE | 14 | | |
| Saccharin | µg/l | WE | 0,74 | | |
| Cyclamat | µg/l | WE | <0,1 | | |
| Sucralose | µg/l | WE | 3,7 | | |
| Steroid-Hormone | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | | | | | Ablauf K.A. |
| 17 beta-Estradiol | µg/l | WE | <0,005 | | |
| 17 alpha-Ethinylestradiol | µg/l | WE | <0,005 | | |
| Estron (E1) | µg/l | WE | 0,012 | | |
| Röntgenkontrastmittel | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | | | | | Ablauf K.A. |
| Iopamidol | µg/l | WE | 0,074 | | |
| Iomeprol | µg/l | WE | <0,05 | | |
| Amidotrizoesäure | µg/l | WE | <0,05 | | |
| Iopromid | µg/l | WE | 0,12 | | |
| Organozinverbindungen | | | | | |
| Probe Nr. | | | | | 15-160968-02 |
| Bezeichnung | | | | | Ablauf K.A. |
| Tributylzinn | µg/l | WE | 0,0013 | | |

| | | | | | |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL15-133056-1 | Auftrag Nr. | CAL-12396-15 | Datum | 24.11.2015 |
|-----------------|----------------|-------------|--------------|-------|------------|

15-160968-01

Kommentare der Ergebnisse:

Atrazin, 4-tert-Octylphenol-monoethoxylat: Hohe Matrixbelastung, daher erhöhte Bestimmungsgrenze

Abkürzungen und Methoden

| Abkürzungen und Methoden | | ausführender Standort |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Steroidhormone | WES 889 ^A | Umweltanalytik Rhein-Main |
| Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS | DIN 38407-36 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Spezielle org. Stoffe mit LC-MS | WES 779 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Röntgenkontrastmittel in Wasser/Eluat mittels LC-MS/MS | WES 439 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Arzneimittelrückstände in Wasser | WES 532 | Umweltanalytik Altenberge |
| Substanze in Wasser | WES 656 | Umweltanalytik Altenberge |
| Nonylphenole in Wasser/Eluat | ISO 18857-2 ^A | Umweltanalytik Bochum |
| Phthalate in Wasser/Eluat | EPA 808 | Umweltanalytik Altenberge |
| Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | DIN 38407 P8 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Organotinverbindungen | EN ISO 17363 F13 ^A | Umweltanalytik Oppin |
| Polybromierte Diphenylether (PBDE) | EN ISO 22032 mod ^A | Umweltanalytik Bochum |
| Chlorphenole in Wasser/Eluat | EN 12679 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| LHKW (jächref., halogen, Kohlenwasserst.) | EN ISO 10301 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| - | | Umweltanalytik Altenberge |
| pH-Wert in Wasser/Eluat | DIN 38404-5 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Phosphat in Wasser/Eluat | EN 1189 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat | DIN EN 27988 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gesamtphosphor in Wasser | EN ISO 6879 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) | EN 1484 (H13) ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Galbins Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat | DIN EN ISO 10304-1 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Galbins Anionen in Wasser/Eluat | DIN EN ISO 10304-1 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Adsorb. org. Halogenverbindungen (AOX) | DIN EN ISO 9982 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Metallelemente in Wasser/Eluat | ISO 11885 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Quarzdilber in Wasser/Eluat (AAS) | EN 1483 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Ammonium | DIN 38406 ES-1 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Nitrit in Wasser/Eluat | EN 26777 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Aussehen, Farbe, Geruch (F) | WES 080 | Umweltanalytik Altenberge |
| WE | Wasser/Eluat | |



Kai Dexheimer
Dipl.-Landschaftsökologe
Leiter Geschäftsfeld Wasser

Seite 10 von 10



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die mit * markierten Prüfverfahren. Eine detaillierte Auflistung unserer akkreditierten Prüfverfahren befindet sich in der Urkundenanlage der DAkkS auf unserer Internetseite unter www.wessling.de. Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfobjekte. Prüfberichte dürfen ohne Genehmigung der WESSLING GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Geschäftsführer:
Dr. Michaela Nowak, Hans-Dieter
Bossmeyer, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1933

7.11 Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 2. Probenahme

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



WESSLING GmbH
Oststraße 7 · 48341 Altenberge
www.wessling.de

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Gemeinde Hopsten
Herr Herbert Harbecke
Bunte Straße 35
48496 Hopsten

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: K. Dexheimer
Durchwahl: +49 2505 89 153
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Kai.Dexheimer@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen

Prüfbericht Nr. CAL16-043962-2 Auftrag Nr. CAL-14996-15 Datum 29.04.2016

| | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Probe Nr. | 16-049144-01 |
| Eingangsdatum | 01.04.2016 |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 |
| Probenart | Abwasser |
| Probenahme | 01.04.2016 |
| Probenahme durch | WESSLING GmbH |
| Probenehmer | Herr Heerd |
| Probenmenge | 9,4 Liter |
| Probengefäß | 7x1 L BG 0,5 L BG 4x250 ml BG 3x100 ml PED 250 ml PE 5xHS |
| Anzahl Gefäße | 21 |
| Untersuchungsbeginn | 01.04.2016 |
| Untersuchungsende | 29.04.2016 |

Probenvorbereitung

| | |
|-----------------------|---------------------------|
| Probe Nr. | 16-049144-01 |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 |
| Mischprobenerstellung | 04.04.16 |

Physikalische Untersuchung

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Probe Nr. | 16-049144-01 |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 |
| pH-Wert | W/E 7,5 |
| Leitfähigkeit [25°C], elektrische | µS/cm W/E 780 |



| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL16-043962-2 | Auftrag Nr. | CAL-14996-15 | Datum | 29.04.2016 |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|

Summenparameter

| | | | | | |
|-------------|---------------------------|-----|-------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| AOX | mg/l | W/E | 0,026 | | |
| TOC | mg/l | W/E | 9,3 | | |

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

| | | | | | |
|------------------------------------------|---------------------------|-----|-------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Ammonium (NH ₄) | mg/l | W/E | 0,64 | | |
| Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N) | mg/l | W/E | 0,50 | | |
| Bromid (Br) | mg/l | W/E | <0,1 | | |
| Nitrat (NO ₃) | mg/l | W/E | 14 | | |
| Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N) | mg/l | W/E | 3,2 | | |
| Nitrit (NO ₂) | mg/l | W/E | 0,17 | | |
| Nitrit (NO ₂ -N) | mg/l | W/E | 0,052 | | |
| ortho-Phosphat (PO ₄) | mg/l | W/E | 0,38 | | |
| ortho-Phosphat (P) | mg/l | W/E | 0,13 | | |
| Gesamtposphor (P) | mg/l | W/E | <0,01 | | |
| Chlorid (Cl) | mg/l | W/E | 78 | | |

Chlorphenole

| | | | | | |
|------------------|---------------------------|-----|------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Pentachlorphenol | µg/l | W/E | <0,5 | | |

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

| | | | | | |
|----------------|---------------------------|-----|------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Trichlormethan | µg/l | W/E | <0,5 | | |

Gesamtgehalt

Elemente

| | | | | | |
|------------------|---------------------------|-----|---------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Quecksilber (Hg) | mg/l | W/E | <0,0002 | | |
| Blei (Pb) | mg/l | W/E | <0,005 | | |
| Cadmium (Cd) | mg/l | W/E | <0,0005 | | |
| Chrom (Cr) | mg/l | W/E | <0,005 | | |
| Nickel (Ni) | mg/l | W/E | <0,005 | | |

| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL16-043962-2 | Auftrag Nr. | CAL-14996-15 | Datum | 29.04.2016 |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|

Phthalate

| | | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|-----|----|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) | µg/l | W/E | <2 | | |

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

| | | | | | |
|----------------------|---------------------------|-----|-------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Fluoranthren | µg/l | W/E | <0,02 | | |
| Benzo(b)fluoranthren | µg/l | W/E | <0,02 | | |
| Benzo(ghi)perylen | µg/l | W/E | <0,02 | | |

Nonylphenole

| | | | | | |
|-------------------------------------------|---------------------------|-----|------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| 4-tert.-Octylphenol | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-n-Nonylphenol | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE) | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE) | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE) | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE) | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-n-Octylphenol | µg/l | W/E | <0,1 | | |
| 4-Nonylphenol | µg/l | W/E | <0,1 | | |

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

| | | | | | |
|-----------------------------------------|---------------------------|-----|---------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| 2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47) | µg/l | W/E | <0,0005 | | |

Arzneimittel-Rückstände

| | | | | | |
|-----------------|---------------------------|-----|--------|--|--|
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Carbamazepin | µg/l | W/E | 0,4 | | |
| Diclofenac | µg/l | W/E | 1,5 | | |
| Sulfamethoxazol | µg/l | W/E | 0,18 | | |
| Bezafibrat | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Atenolol | µg/l | W/E | 0,037 | | |
| Metoprolol | µg/l | W/E | 1,6 | | |
| Sotalol | µg/l | W/E | 0,32 | | |
| Phenazon | µg/l | W/E | 0,041 | | |
| Clarithromycin | µg/l | W/E | 0,77 | | |
| Naproxen | µg/l | W/E | 0,084 | | |
| Bisoprolol | µg/l | W/E | 0,41 | | |

| | | | | | |
|----------------------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|-------|-------------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL16-043962-2 | Auftrag Nr. | CAL-14996-15 | Datum | 29.04.2016 |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Oxazepam | µg/l | W/E | 0,031 | | |
| Pflanzenschutzmittel-Rückstände | | | | | |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| 4-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | W/E | 0,46 | | |
| 5-Methyl-1H-benzotriazol | µg/l | W/E | 0,38 | | |
| Benzotriazol | µg/l | W/E | 2,1 | | |
| Atrazin | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Diuron | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Isoproturon | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Simazin | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Terbutryn | µg/l | W/E | <0,025 | | |
| Steroid-Hormone | | | | | |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| 17 beta-Estradiol | µg/l | W/E | <0,05 | | |
| 17 alpha-Ethinylestradiol | µg/l | W/E | <0,05 | | |
| Estron (E1) | µg/l | W/E | <0,05 | | |
| Organozinnverbindungen | | | | | |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Tributylzinn | µg/l | W/E | 0,00067 | | |
| Röntgenkontrastmittel | | | | | |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Acesulfam K | mg/l | W/E | 0,025 | | |
| Cyclamat | mg/l | W/E | 0,0001 | | |
| Saccharin | mg/l | W/E | 0,00033 | | |
| Sucralose | mg/l | W/E | 0,0036 | | |
| Iopamidol | mg/l | W/E | 0,00015 | | |
| Iomeprol | mg/l | W/E | <0,000025 | | |
| Amidotrizoesäure | mg/l | W/E | 0,00003 | | |
| Iopromid | mg/l | W/E | <0,000025 | | |
| Sonstiges | | | | | |
| Probe Nr. | 16-049144-01 | | | | |
| Bezeichnung | Ablauf Kläranlage Probe 1 | | | | |
| Farbe | W/E | schwach gelblich | | | |
| Geruch | W/E | muffig | | | |
| Aussehen | W/E | wenig Schwebstoffe | | | |

| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL16-043962-2 | Auftrag Nr. | CAL-14996-15 | Datum | 29.04.2016 |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|

Abkürzungen und Methoden

| Abkürzungen und Methoden | | ausführender Standort |
|----------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| pH-Wert in Wasser/Eluat | DIN 38404-5 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat | DIN EN 27888 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Adsorb. org. Halogenverbindungen (AOX) | DIN EN ISO 9562 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) | DIN EN 1484 (H3) ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Ammonium | DIN 38406 E5-1 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gelöste Anionen in Wasser/Eluat | DIN EN ISO 10304-1 ^A | Umweltanalytik Rhein-Main |
| Nitrit in Wasser/Eluat | EN 26777 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Phosphat in Wasser/Eluat | DIN EN 1189 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gesamtposphor in Wasser | DIN EN ISO 6878 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat | DIN EN ISO 10304-1 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Chlorphenole in Wasser/Eluat | EN 12673 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| LHKW (leichtfl. halogen. Kohlenwasserst.) | DIN EN ISO 10301 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Quecksilber in Wasser/Eluat (AAS) | DIN EN 1483 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Metalle/Elemente in Wasser/Eluat | ISO 11885 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Phthalate in Wasser/Eluat | EPA 606 | Umweltanalytik Altenberge |
| Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | DIN 38407 F8 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Nonylphenole in Wasser/ Eluat | ISO 18857-2 ^A | Umweltanalytik Bochum |
| Polybromierte Diphenylether (PBDE) | EN ISO 22032 mod. ^A | Umweltanalytik Bochum |
| Arzneimittelrückstände in Wasser | WES 532 | Umweltanalytik Altenberge |
| Spezielle org. Stoffe mit LC-MS | WES 778 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS | DIN 38407-36 ^A | Umweltanalytik Altenberge |
| Steroidhormone | WES 689 ^A | Umweltanalytik Rhein-Main |
| Organozinverbindungen | EN ISO 17353 F13 ^A | Umweltanalytik Oppin |
| Organische Stoffe in Wasser (RKM und Süßstoffe) | DIN 38407-36 | * |
| Aussehen, Farbe, Geruch (F) | WES 089 | Umweltanalytik Altenberge |
| Benzenotriazole und Süßstoffe in Wasser | DIN 38407-36 (F36) | * |
| . | | Umweltanalytik Altenberge |
| WE | Wasser/Eluat | |

* Durchführung in Kooperationslabor

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



WESSLING GmbH
Oststraße 7 · 48341 Altenberge
www.wessling.de

| | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|
| Prüfbericht Nr. | CAL16-043962-2 | Auftrag Nr. | CAL-14996-15 | Datum | 29.04.2016 |
|-----------------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|-------------------|

Kai Dexheimer
Dipl.-Landschaftsökologe
Leiter Geschäftsfeld Wasser

Seite 6 von 6



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die mit [®] markierten Prüfverfahren. Eine detaillierte Auflistung unserer akkreditierten Prüfverfahren befindet sich in der Urkundenanlage der DAkkS auf unserer Internetseite unter www.wessling.de. Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfobjekte. Prüfberichte dürfen ohne Genehmigung der WESSLING GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling,
Dr. Michaela Nowak, Hans-Dieter Bossemeyer
AG Steinfurt HRB 1953

8 Anhang B – Investitionen

8.1 Investitionen Variante 1

| PAK-Dosierung in die Belebung | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|--------------------|--------------------------|
| | Menge | Einheit | Einzelpreis [Euro] | Gesamtpreis netto [Euro] |
| Baukosten | | | | |
| Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten) | 1 | Psch | 26.200,00 € | 26.200,00 € |
| Vorbereitende Arbeiten: | | | | |
| Schönungsteichentleerung | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Schlammentsorgung | 300 | m³ | 150,00 € | 45.000,00 € |
| Geländeauffüllung | 3.000 | m³ | 15,00 € | 45.000,00 € |
| Abbruch von Betonschächten | 5 | Stk | 500,00 € | 2.500,00 € |
| Rückbau von Rohrleitungen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen DN 300 mit Absperrschieber | 2 | Stk | 5.000,00 € | 10.000,00 € |
| Fundamentplatte für PAK-Silo und IBC-Dosieranlage für FHM | 1 | Psch | 12.000,00 € | 12.000,00 € |
| Nachfällung Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 90 | m³ | 500,00 € | 45.000,00 € |
| Flockungsfiltration/Tuchfilter: Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrippen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 300 | m³ | 400,00 € | 120.000,00 € |
| Probenahmeschacht: Stahlbetonbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 10 | m³ | 1.000,00 € | 10.000,00 € |
| Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten | | | | |
| DN 350 | 110 | m | 285,00 € | 31.350,00 € |
| DN 300 | 18 | m | 275,00 € | 4.950,00 € |
| DN 100 | 100 | m | 125,00 € | 12.500,00 € |
| Leerrohre DN 100 | 60 | m | 125,00 € | 7.500,00 € |
| Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung | 500 | m² | 100,00 € | 50.000,00 € |
| Landschaftspflegerische Maßnahmen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Zwischensumme baulich netto | | | | 452.000,00 € |
| Maschinentechnik-Kosten | | | | |
| Ertüchtigung der Nachklärung | 1 | Psch | 150.000,00 € | 150.000,00 € |
| PAK-Silo (V = 25 m³) inkl. Dosiereinheiten | 1 | Stk | 220.000,00 € | 220.000,00 € |
| Ausrüstung Nachfällung: | | | | |
| Rührwerk | 1 | Stk | 15.000,00 € | 15.000,00 € |
| Dosierstation für Fällmittel | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| IBC-Dosieranlage (1 m³) | 1 | Stk | 25.000,00 € | 25.000,00 € |
| Ausrüstung Feinfiltration: | | | | |
| Filtereinheiten à 20 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher | 4 | Stk | 70.000,00 € | 280.000,00 € |
| Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb | 4 | Stk | 8.000,00 € | 32.000,00 € |
| Gewindeschieber DN 300 | 4 | Stk | 3.000,00 € | 12.000,00 € |
| Summe maschinell netto | | | | 739.000,00 € |
| Elektroausrüstung und MSR-Technik | | | | |
| EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik | | | | 222.000,00 € |
| Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto | | | | 222.000,00 € |
| Baunebenkosten | | | | |
| Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten) | | | | 28.200,00 € |
| Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten) | | | | 211.500,00 € |
| Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten) | | | | 14.100,00 € |
| Summe Nebenkosten netto | | | | 253.800,00 € |
| Gesamtkosten netto | | | | 1.666.800,00 € |
| + 19 % Mehrwertsteuer | | | | 316.692,00 € |
| Zwischensumme brutto | | | | 1.983.492,00 € |

8.2 Investitionen Variante 2

| PAK-Dosierung in Kontaktbecken | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|--------------------|--------------------------|
| | Menge | Einheit | Einzelpreis [Euro] | Gesamtpreis netto [Euro] |
| Baukosten | | | | |
| Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten) | 1 | Psch | 60.700,00 € | 60.700,00 € |
| Vorbereitende Arbeiten: | | | | |
| Schönungsteichentleerung | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Schlammentsorgung | 300 | m³ | 150,00 € | 45.000,00 € |
| Geländeauffüllung | 1.800 | m³ | 15,00 € | 27.000,00 € |
| Abbruch von Betonschächten | 5 | Stk | 500,00 € | 2.500,00 € |
| Rückbau von Rohrleitungen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen DN 300 mit Absperrschieber | 2 | Stk | 5.000,00 € | 10.000,00 € |
| Fundamentplatte für PAK-Silo und IBC-Dosieranlage für FHM | 1 | Psch | 12.000,00 € | 12.000,00 € |
| Kontaktbecken I und II, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 150 | m² | 400,00 € | 60.000,00 € |
| Sedimentationsbecken, Stahlbetonrundbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 620 | m² | 250,00 € | 155.000,00 € |
| Nachfüllung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 90 | m² | 500,00 € | 45.000,00 € |
| Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 300 | m² | 400,00 € | 120.000,00 € |
| Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Erdgeschoss in Massivbauweise inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke | 500 | m³ | 600,00 € | 300.000,00 € |
| Pumpenschacht für Zwischenpumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 70 | m² | 500,00 € | 35.000,00 € |
| Probenahmeschacht, Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 10 | m² | 1.000,00 € | 10.000,00 € |
| Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten | | | | |
| DN 350 | 120 | m | 285,00 € | 34.200,00 € |
| DN 300 | 18 | m | 275,00 € | 4.950,00 € |
| DN 250 | 28 | m | 250,00 € | 7.000,00 € |
| DN 200 | 40 | m | 200,00 € | 8.000,00 € |
| DN 150 | 11 | m | 150,00 € | 1.650,00 € |
| DN 100 | 100 | m | 125,00 € | 12.500,00 € |
| Leerrohre DN 100 | 60 | m | 125,00 € | 7.500,00 € |
| Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung | 800 | m² | 100,00 € | 80.000,00 € |
| Landschaftspflegerische Maßnahmen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Zwischensumme baulich netto | | | | 1.068.000,00 € |
| Maschinentechnik-Kosten | | | | |
| Zwischenpumpwerk | | | | |
| Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve | 4 | Stk | 13.750,00 € | 55.000,00 € |
| Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Psch | 35.000,00 € | 35.000,00 € |
| Ausrüstung Kontaktbecken: | | | | |
| Rührwerke | 2 | Stk | 12.500,00 € | 25.000,00 € |
| PAK-Silo (V = 10 m³) inkl. Dosiereinheiten | 1 | Stk | 210.000,00 € | 210.000,00 € |
| Ausrüstung Sedimentationsbecken: | | | | |
| Räumerbrücke | 1 | Stk | 58.000,00 € | 58.000,00 € |
| Ablaufrinne | 1 | Stk | 18.000,00 € | 18.000,00 € |
| Rückfuhrpumpwerk | | | | |
| Pumpen, Trockenaufstellung | 2 | Stk | 14.000,00 € | 28.000,00 € |
| Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Psch | 18.000,00 € | 18.000,00 € |
| Schlammumpwerk | | | | |
| Pumpen, Trockenaufstellung | 2 | Stk | 7.000,00 € | 14.000,00 € |
| Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Psch | 12.000,00 € | 12.000,00 € |
| Ausrüstung Nachfüllung: | | | | |
| Rührwerk | 1 | Stk | 15.000,00 € | 15.000,00 € |
| Dosierstation für Fällmittel | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| IBC-Dosierstation (1 m³) | 1 | Stk | 25.000,00 € | 25.000,00 € |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|-------------|-----------------------|
| Ausrüstung Feinfiltration: | | | | |
| Filtereinheiten à 20 m ² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher | 4 | Stk | 70.000,00 € | 280.000,00 € |
| Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb | 4 | Stk | 8.000,00 € | 32.000,00 € |
| Gewindeschieber DN 300 | 4 | Stk | 3.000,00 € | 12.000,00 € |
| Summe maschinell netto | | | | 842.000,00 € |
| Elektroausrüstung und MSR-Technik | | | | |
| EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik | | | | 253.000,00 € |
| Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto | | | | 253.000,00 € |
| Baunebenkosten | | | | |
| Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten) | | | | 43.400,00 € |
| Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten) | | | | 325.600,00 € |
| Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten) | | | | 21.700,00 € |
| Zwischensumme netto | | | | 390.700,00 € |
| Gesamtkosten netto | | | | 2.553.700,00 € |
| + 19 % Mehrwertsteuer | | | | 485.203,00 € |
| Zwischensumme brutto | | | | 3.038.903,00 € |

8.3 Investitionen Variante 3

| Ozonung | Menge | Einheit | Einzelpreis [Euro] | Gesamtpreis netto [Euro] |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|--------------------|--------------------------|
| Baukosten | | | | |
| Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten) | 1 | Psch | 53.755,00 € | 53.755,00 € |
| Vorbereitende Arbeiten: | | | | |
| Schönungsteichentleerung | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Schlammentsorgung | 300 | m ³ | 150,00 € | 45.000,00 € |
| Geländeauffüllung | 2.200 | m ³ | 15,00 € | 33.000,00 € |
| Abbruch von Betonschächten | 5 | Stk | 500,00 € | 2.500,00 € |
| Rückbau von Rohrleitungen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen DN 300 mit Absperrschieber | 2 | Stk | 5.000,00 € | 10.000,00 € |
| Ozonkontaktbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufschächte inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 265 | m ³ | 400,00 € | 106.000,00 € |
| Maschinenhaus für Ozongenerator und Kühlung in Massivbauweise inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke | 115 | m ³ | 600,00 € | 69.000,00 € |
| Fundamentplatte für Sauerstofftanks und Verdampferanlage | 1 | Stk | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Nachfüllung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 90 | m ³ | 500,00 € | 45.000,00 € |
| Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 300 | m ³ | 400,00 € | 120.000,00 € |
| Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Erdgeschoss in Massivbauweise inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke | 400 | m ³ | 600,00 € | 240.000,00 € |
| Pumpenschacht für Zwischenbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 50 | m ³ | 500,00 € | 25.000,00 € |
| Fundamentplatte für Lager- und Dosierstation für FHM | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| Probenahmeschacht, Stahlbetonbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 10 | m ³ | 1.000,00 € | 10.000,00 € |
| Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten | | | | |
| DN 350 | 112 | m | 285,00 € | 31.920,00 € |
| DN 300 | 16 | m | 275,00 € | 4.400,00 € |
| DN 250 | 32 | m | 250,00 € | 8.000,00 € |
| DN 150 | 17 | m | 150,00 € | 2.550,00 € |
| DN 100 | 92 | m | 125,00 € | 11.500,00 € |
| Leerrohre DN 100 | 75 | m | 125,00 € | 9.375,00 € |
| Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung | 730 | m ² | 100,00 € | 73.000,00 € |
| Landschaftspflegerische Maßnahmen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Zwischensumme baulich netto | | | | 945.000,00 € |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|--------------|-----------------------|
| Maschinentechnik-Kosten | | | | |
| Zwischenpumpwerk | | | | |
| Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve | 4 | Stk | 13.750,00 € | 55.000,00 € |
| Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Psch | 35.000,00 € | 35.000,00 € |
| Ozonkontaktbecken: | | | | |
| Absenkriennenschieber mit E-Antrieb | 4 | Stk | 7.500,00 € | 30.000,00 € |
| Keramikkdiffusoren in nachfolgender Position enthalten | | | | |
| Ozonanlage bestehend aus Ozongenerator, Keramikkdiffusoren, Kühlwassersystem und Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage | 1 | Stk | 315.000,00 € | 315.000,00 € |
| Ausrüstung Nachfällung: | | | | |
| Rührwerk | 1 | Stk | 15.000,00 € | 15.000,00 € |
| Dosierstation für Fällmittel | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| IBC-Dosierstation (1 m³) | 1 | Stk | 25.000,00 € | 25.000,00 € |
| Ausrüstung Feinfiltration: | | | | |
| Filtereinheiten à 20 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher | 4 | Stk | 70.000,00 € | 280.000,00 € |
| Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb | 4 | Stk | 8.000,00 € | 32.000,00 € |
| Gewindeschieber DN 300 | 4 | Stk | 3.000,00 € | 12.000,00 € |
| Summe maschinell netto | | | | 804.000,00 € |
| Elektroausrüstung und MSR-Technik | | | | |
| EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik | | | | 241.000,00 € |
| Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto | | | | 241.000,00 € |
| Baunebenkosten | | | | |
| Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten) | | | | 39.800,00 € |
| Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten) | | | | 298.500,00 € |
| Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten) | | | | 19.900,00 € |
| Zwischensumme netto | | | | 358.200,00 € |
| Gesamtkosten netto | | | | 2.348.200,00 € |
| + 19 % Mehrwertsteuer | | | | 446.158,00 € |
| Zwischensumme brutto | | | | 2.794.358,00 € |

8.4 Investitionen Variante 4

| GAK-Filtration | Menge | Einheit | Einzelpreis [Euro] | Gesamtpreis netto [Euro] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|--------------------|--------------------------|
| Baukosten | | | | |
| Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten) | 1 | Psch | 63.775,00 € | 63.775,00 € |
| Vorbereitende Arbeiten: | | | | |
| Schönungsteichentleerung | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Schlammentsorgung | 300 | m³ | 150,00 € | 45.000,00 € |
| Geländeauffüllung | 2.000 | m³ | 15,00 € | 30.000,00 € |
| Abbruch von Betonschächten | 5 | Stk | 500,00 € | 2.500,00 € |
| Rückbau von Rohrleitungen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen DN 300 mit Absperrschieber | 2 | Stk | 5.000,00 € | 10.000,00 € |
| GAK-Filterbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufgerinne, Rohrkanal, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 540 | m³ | 400,00 € | 216.000,00 € |
| Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 90 | m³ | 500,00 € | 45.000,00 € |
| Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufgerinne inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 300 | m³ | 400,00 € | 120.000,00 € |
| Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Erdgeschoss in Massivbauweise inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke | 450 | m³ | 600,00 € | 270.000,00 € |
| Pumpenschacht für Zwischenpumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten | 70 | m³ | 500,00 € | 35.000,00 € |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------------|-----------------------|
| Rückspülwasservorlage inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlossearbeiten | 80 | m³ | 500,00 € | 40.000,00 € |
| Spülwasserspeicher inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlossearbeiten | 80 | m³ | 500,00 € | 40.000,00 € |
| Fundamentplatte für Lager- und Dosierstationen für FHM | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| Probenahmeschacht, Betonbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlossearbeiten | 10 | m³ | 1.000,00 € | 10.000,00 € |
| Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten | | | | |
| DN 350 | 95 | m | 285,00 € | 27.075,00 € |
| DN 300 | 58 | m | 275,00 € | 15.950,00 € |
| DN 250 | 48 | m | 250,00 € | 12.000,00 € |
| DN 150 | 23 | m | 150,00 € | 3.450,00 € |
| DN 100 | 90 | m | 125,00 € | 11.250,00 € |
| Leerrohre DN 100 | 80 | m | 125,00 € | 10.000,00 € |
| Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung | 840 | m² | 100,00 € | 84.000,00 € |
| Landschaftspflegerische Maßnahmen | 1 | Psch | 10.000,00 € | 10.000,00 € |
| Zwischensumme baulich netto | | | | 1.126.000,00 € |
| Maschinentechnik-Kosten | | | | |
| Zwischenpumpwerk | | | | |
| Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve | 4 | Stk | 13.750,00 € | 55.000,00 € |
| Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Psch | 35.000,00 € | 35.000,00 € |
| GAK-Filterbecken: | | | | |
| 4 Filterböden à 11 m² | 44 | m² | 600,00 € | 26.400,00 € |
| Aktivkohle, Erstbefüllung (88 m³ x 0,3 Mg/m³ x 1.250 €/Mg) | 26,4 | Mg | 1.250,00 € | 33.000,00 € |
| Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung | 1 | Psch | 36.000,00 € | 36.000,00 € |
| Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung | 1 | Psch | 30.000,00 € | 30.000,00 € |
| Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung | 1 | Psch | 30.000,00 € | 30.000,00 € |
| Rückspülanlagen: | | | | |
| Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve | 2 | Stk | 15.000,00 € | 30.000,00 € |
| Spülluftgebläse | 2 | Stk | 10.000,00 € | 20.000,00 € |
| Rohrleitungen und Armaturen | 1 | Psch | 30.000,00 € | 30.000,00 € |
| Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen | 1 | Stk | 15.000,00 € | 15.000,00 € |
| Ausrüstung Nachfällung: | | | | |
| Rührwerk | 1 | Stk | 15.000,00 € | 15.000,00 € |
| Dosierstation für Fällmittel | 1 | Stk | 5.000,00 € | 5.000,00 € |
| IBC-Dosierstation (1 m³) | 1 | Stk | 25.000,00 € | 25.000,00 € |
| Ausrüstung Feinfiltration: | | | | |
| Filtereinheiten à 20 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher | 4 | Stk | 70.000,00 € | 280.000,00 € |
| Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb | 4 | Stk | 8.000,00 € | 32.000,00 € |
| Gewindeschieber DN 300 | 4 | Stk | 3.000,00 € | 12.000,00 € |
| Summe maschinell netto | | | | 709.400,00 € |
| Elektroausrüstung und MSR-Technik | | | | |
| EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik | | | | 213.000,00 € |
| Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto | | | | 213.000,00 € |
| Baunebenkosten | | | | |
| Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten) | | | | 41.000,00 € |
| Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten) | | | | 307.500,00 € |
| Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten) | | | | 20.500,00 € |
| Zwischensumme netto | | | | 369.000,00 € |
| Gesamtkosten netto | | | | 2.417.400,00 € |
| + 19 % Mehrwertsteuer | | | | 459.306,00 € |
| Zwischensumme brutto | | | | 2.876.706,00 € |

8.5 Energiebedarf

| | | PAK in Belebung | PAK in Kontakt- becken | Ozon | GAK |
|------------------------------------|--------------|--------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| Trockenwetterpumpwerk | | | | | |
| Anzahl | Stück | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Leistung | kW | 0,0 | 2,1 | 2,1 | 4,6 |
| Laufzeit | h/d | 0 | 24 | 24 | 24 |
| Energiebedarf | kWh/a | 0 | 18.449 | 18.449 | 39.972 |
| Regenwetterpumpwerk | | | | | |
| Anzahl | Stück | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Leistung | kW | 0,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Laufzeit | h/d | 0 | 3 | 3 | 3 |
| Energiebedarf | kWh/a | 0 | 1.035 | 1.035 | 1.035 |
| Zwischenpumpwerk | | | | | |
| Anzahl | Stück | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Leistung | kW | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Laufzeit | h/d | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Energiebedarf | kWh/a | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PAK-Rezirkulationspumpen | | | | | |
| Anzahl | Stück | | 1,0 | | |
| Leistung | kW | | 0,8 | | |
| Laufzeit | h/d | | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | | 6.623 | | |
| PAK Dosiereinheit | | | | | |
| Leistung | kW | 1,0 | 0,4 | | |
| Laufzeit | h/d | 24 | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | 8.760 | 3.504 | | |
| Dosierpumpe Fällmittel | | | | | |
| Anschlussleistung | kW | 0,5 | 0,4 | | |
| Laufzeit | h/d | 24 | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | 4.380 | 3.504 | | |
| Dosierpumpe FHM | | | | | |
| Anschlussleistung | kW | 0,2 | 0,2 | | |
| Laufzeit | h/d | 24 | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | 1.752 | 1.752 | | |
| Rührwerke Kontaktbecken PAK | | | | | |
| Anzahl | Stück | | 2,0 | | |
| Anschlussleistung | kW | | 1,0 | | |
| Laufzeit | h/d | | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | | 17.520 | | |
| Räumer Sedimentation PAK | | | | | |
| Anzahl | Stück | | 1 | | |
| Anschlussleistung | kW | | 0,8 | | |
| Laufzeit | h/d | | 24 | | |
| Energiebedarf | kWh/a | | 7.008 | | |
| Spülwasserpumpen | | | | | |
| Anzahl | Stück | | | | 1 |
| Anschlussleistung | kW | | | | 8,0 |
| Laufzeit | h/d | | | | 2 |
| Energiebedarf | kWh/a | | | | 5.840 |

| | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Spülluftgebläse | | | | | |
| Anzahl | Stück | | | | 2 |
| Anschlussleistung | kW | | | | 17,6 |
| Laufzeit | h/d | | | | 0,3 |
| Energiebedarf | kWh/a | | | | 3.843 |
| Ozonanlage | | | | | |
| Energiebedarf | kWh/a | | | 127.799 | |
| Sonstiges (Messtechnik etc) | | | | | |
| Energiebedarf | kWh/a | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 |
| Betrieb Tuchfiltration | | | | | |
| Energiebedarf je Filtrationseinheit | kWh/d | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Energiebedarf | kWh/a | 14.600 | 14.600 | 14.600 | 14.600 |
| Rührwerke Nachfällung | | | | | |
| Anzahl | Stück | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Anschlussleistung | kW | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Laufzeit | h/d | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Energiebedarf | kWh/a | 7.516 | 7.516 | 7.516 | 7.516 |
| Summe Energiebedarf | | | | | |
| | kWh/a | 44.508 | 89.010 | 176.898 | 80.306 |

8.6 Betriebskosten

| Betriebskosten | | | | | |
|------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|
| | | PAK in Belebung | PAK in Kontaktbecken | Ozon | GAK |
| Energiekosten | | | | | |
| Menge/a | kWh/a | 44.508 | 89.010 | 176.898 | 80.306 |
| spezifische Kosten pro kWh | Euro/kWh | 0,168 | 0,168 | 0,168 | 0,168 |
| Summe Energiekosten | Euro/a | 7.477,36 | 14.953,68 | 29.718,91 | 13.491,44 |
| Personalkosten | | | | | |
| Mitarbeiter | MA/a | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 |
| Jahreskosten MA | Euro/a | 40.000,0 | 40.000,0 | 40.000,0 | 40.000,0 |
| Summe Personalkosten | Euro/a | 16.000,00 | 20.000,00 | 16.000,00 | 16.000,00 |
| Wartung / Versicherungen | | | | | |
| Bautechnik (1,0 % vom Invest) | €/a | 4.520,0 | 10.680,0 | 9.450,0 | 11.260,0 |
| Maschinenteknik (3,0 % vom Invest) | €/a | 22.170,0 | 25.260,0 | 24.120,0 | 21.282,0 |
| Elektrotechnik (5,0 % vom Invest) | €/a | 11.100,0 | 12.650,0 | 12.050,0 | 10.650,0 |
| Versicherungen (0,5 % vom Invest) | €/a | 7.065,0 | 10.815,0 | 9.950,0 | 10.242,0 |
| Summe Wartung / Versicherungen | €/a | 44.855,0 | 59.405,0 | 55.570,0 | 53.434,0 |
| Kosten Sauerstoff (inkl. Miete Lagerbehälter) | | | | | |
| Menge/a | kg O2/a | | | 28.740 | |
| spezifische Kosten pro kg | Euro/kg | | | 0,22 | |
| Summe Kosten Sauerstoff | Euro/a | | | 6.323 | |
| Kosten Aktivkohle | | | | | |
| Menge/a | kg/a | 6.436 | 3.218 | | 9.555 |
| spezifische Kosten pro Tonne | Euro/t | 1.500 | 1.500 | | 1.300 |
| Summe Kosten Aktivkohle | Euro/a | 9.654 | 4.827 | | 12.421 |
| Kosten FHM | | | | | |
| FHM | kg/a | 97 | 96 | | |
| spezifische Kosten pro Tonne | Euro/t | 1.400 | 1.400 | | |
| Summe Kosten FHM | Euro/a | 135 | 134 | | |
| Kosten Fällmittel | | | | | |
| Fällmittel | t Fällmittel /a | 11 | 9 | | |
| spezifische Kosten pro Tonne | Euro/t | 140 | 140 | | |
| Summe Kosten FHM | Euro/a | 1.609 | 1.287 | | |
| Schlammehranfall | | | | | |
| Schlammanfall (TR) FM | t TR/a | 4,02 | 3,22 | | |
| Schlammanfall (TR) PAK | t TR/a | 6,44 | 3,22 | | |
| Schlammanfall (TR) AFS | t TR/a | 1,56 | 1,56 | | |
| spezifische Kosten Entsorgung pro t TR | Euro/t TR | 320 | 320 | | |
| Entsorgungskosten | Euro/a | 3.845 | 2.557 | | |
| Summe Betriebskosten (netto) | Euro/a | 83.575 | 103.163 | 107.611,7 | 95.346 |
| Summe Betriebskosten (brutto) | Euro/a | 99.454 | 122.764 | 128.058 | 113.462 |

8.7 Jahreskosten

8.7.1 Varianten 1 (PAK in die Belebung) und 2 (PAK in Kontaktbecken)

| KA Hopsten 4. RS mit Flockungsfiltration | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------------|----------------------|
| Datenerhebung und Kostenermittlung | | | | | |
| ALLGEMEINES | | | | | |
| Kläranlage | | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | | Variante 1 | Variante 2 |
| | | | | PAK in BB | PAK in Kontaktbecken |
| Auftraggeber | | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | | S | S |
| BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN | | | | | |
| Ausbaugröße EW | [E] | | | 12.500 | 12.500 |
| Anschlussgröße EW | [E] | | | 6.308 | 6.308 |
| Jahresabwassermenge (JAM) | [m³/a] | | | 311.409 | 311.409 |
| Behandelte JAM der 4. Stufe | [m³/a] | | | 311.409 | 310.962 |
| Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM | [%] | | | 100 | 100 |
| Bemessungswassermenge der 4. Stufe | [m³/h] | | | Vollstrom | 195 |
| Frischwassermenge | [m³/a] | | | | |
| Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein] | [-] | | | Ja | Nein |
| Anmerkungen bzgl. der Nutzung der Bausubstanz | [-] | | | Dosierung in vorh. Belebung | |
| Nachbehandlung [Ja/Nein] | [-] | | | Flockungsfiltration | Flockungsfiltration |
| Sonstige Anmerkungen | | | | | |
| VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION | | | | | |
| Ozon | | | | | |
| Dosiermengen | mg O ₃ /l | | | | |
| Eintragungssystem / Dosiervorrichtung | | | | | |
| Eintragungspunkt | | | | | |
| Reaktionsvolumen | m³ | | | | |
| Aufenthaltszeit bei QTW | min | | | | |
| Maximale Ozonproduktion | kg O ₃ /h | | | | |
| Sauerstoffbedarf | g O ₂ /gO ₃ | | | | |
| Pulverisierte Aktivkohle (PAK) | | | | | |
| <i>PAK Kontaktbecken</i> | | | | | |
| Dosiermengen | mg/l | | | | 10 |
| Eintragungssystem / Dosiervorrichtung | | | | | gravimetrisch |
| Eintragungspunkt | | | | | Kontaktbecken |
| Reaktionsvolumen | m³ | | | | 2 x 49 |
| Aufenthaltszeit bei QTW | min | | | | 30 |
| Beckentiefe | m | | | | 4 |
| Zulauf | l/s | | | | 54 |
| <i>PAK Absetzbecken</i> | | | | | |
| Aufenthaltszeit bei QTW | h | | | | 120 |
| Gesamtvolumen | m³ | | | | 410 |
| Oberflächenbeschickung | m/h | | | | 2 |
| Polymerdosierung | mg/l | | | | 0,3 |
| Fällmitteldosierung | mg Fe/l | | | | 4 |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| ALLGEMEINES | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|--|-----------------------------------------|----------------------|
| Kläranlage | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | Variante 1 | Variante 2 |
| | | | PAK in BB | PAK in Kontaktbecken |
| Auftraggeber | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | S | S |
| Granulierte Aktivkohle (GAK) | | | | |
| Aktivkohlesorte | | | | |
| Reaktivierungszyklus | | | | |
| Filtertyp | | | | |
| Filteranzahl | | | | |
| Filterfläche je Filter | m ² | | | |
| Betthöhe | m | | | |
| Bettvolumen | m ³ | | | |
| Leerbettkontaktzeit | min | | | |
| Filtergeschwindigkeit | m/h | | | |
| Spülintervall | | | | |
| Filterspülgeschwindigkeit | m/h | | | |
| Spülluftgeschwindigkeit | m/h | | | |
| Aufenthaltszeit | min | | | |
| STEUERUNG UND REGELUNG | | | | |
| Zeitproportional | | | | |
| Mengenproportional | | | | ja |
| DOC-proportional | | | | |
| SAK-proportional | | | | |
| Gelöstozonkonzentration | | | | |
| Offgasozonkonzentration | | | | |
| Rezirkulation | | | | |
| Druckmessung | | | | |
| INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN | | | | |
| Investitionskosten | | | | |
| Bezugsjahr der Kosten | | | 2016 | 2016 |
| Bautechnik | [€] | | 452.000 | 1.068.000 |
| Maschinentechnik | [€] | | 739.000 | 842.000 |
| EMSR Technik | [€] | | 222.000 | 253.000 |
| Nebenkosten | [€] | | 253.800 | 390.700 |
| Gesamtkosten (Nettokosten) | [€] | | 1.666.800 | 2.553.700 |
| Betriebskosten | | | | |
| Energie | [€/a] | | 7.477 | 14.954 |
| Personal | [€/a] | | 16.000 | 20.000 |
| Wartung/ Instandhaltung | [€/a] | | 44.855 | 59.405 |
| Sauerstoff | [€/a] | | | |
| PAK/GAK | [€/a] | | 9.654 | 4.827 |
| FHM, FM | [€/a] | | 1.744 | 1.420 |
| Transport/ Logistik | [€/a] | | | |
| Schlammensorgung | [€/a] | | 3.845 | 2.557 |
| Einsparungen durch bessere Wasserqualität | [€/a] | | | |
| Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten) | [€/a] | | 83.575 | 103.163 |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|
| ALLGEMEINES | | | | |
| Kläranlage | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | Variante 1 | Variante 2 |
| | | | PAK in BB | PAK in Kontaktbecken |
| Auftraggeber | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | S | S |
| Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013) | | | | |
| Annahmen zur Aktualisierung der Kosten | | | | |
| Bezugszeitpunkt | | | 2013 | 2013 |
| Jahre seit Urkalkulation | [a] | | -3 | -3 |
| Zinsen | [%] | 3,00% | | |
| AFA Bautechnik , Nebenkosten | [a] | 30 | | |
| AFA Maschinentchnik | [a] | 15 | | |
| AFA Elektrotechnik | [a] | 10 | | |
| Preisentwicklung bis Bezugsjahr | | | Faktoren LAWA | Faktoren LAWA |
| Preissteigerung Personal | | 0,5% | 0,98515 | 0,98515 |
| Preissteigerung Energie/Strom | | 3,0% | 0,91514 | 0,91514 |
| Preissteigerung PAK | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Preissteigerung O2 | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten | | 0,5% | 0,98515 | 0,98515 |
| Preissteigerung Maschinentchnik | | 0,3% | 0,99254 | 0,99254 |
| Preissteigerung Elektrotechnik | | 0,0% | 1,00000 | 1,00000 |
| Preissteigerung Allgemein | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Investitionskosten | | | | |
| Bezugsjahr der Kosten | | | 2013 | 2013 |
| Bautechnik | [€] | | 445.287 | 1.052.139 |
| Maschinentchnik | [€] | | 733.485 | 835.716 |
| EMSR Technik | [€] | | 222.000 | 253.000 |
| Nebenkosten | [€] | | 250.031 | 384.898 |
| Gesamtkosten (Nettokosten) | [€] | | 1.650.803 | 2.525.753 |
| Betriebskosten | | | | |
| Energie | [€/a] | | 6.843 | 13.685 |
| Personal | [€/a] | | 15.762 | 19.703 |
| Wartung/ Instandhaltung | [€/a] | | 44.189 | 58.523 |
| Sauerstoff | [€/a] | | 0 | 0 |
| PAK/GAK | [€/a] | | 9.370 | 4.685 |
| FHM, FM | [€/a] | | 1.692 | 1.379 |
| Transport/ Logistik | [€/a] | | | |
| Schlamm Entsorgung | [€/a] | | 3.732 | 2.482 |
| Einsparungen durch bessere Wasserqualität | [€/a] | | | |
| Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten) | [€/a] | | 81.588 | 100.456 |
| Reinvestitionskosten in EURO | | | | |
| | | Faktoren LAWA | | |
| Bautechnik | 0 [€] | | 0 | 0 |
| Maschinentchnik (nach 15 a) | 0,66636 [€] | | 488.763 | 561.073 |
| Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) | 1,29776967 [€] | | 288.105 | 328.336 |
| Nebenkosten | 0 [€] | | 0 | 0 |
| Gesamtkosten | [€] | | 776.868 | 889.409 |
| Kapitalkosten | | | | |
| | | Faktoren LAWA | | |
| Bautechnik | 0,05102 [€/a] | | 22.718 | 53.679 |
| Maschinentchnik | 0,05102 [€/a] | | 62.358 | 71.263 |
| Elektrotechnik | 0,05102 [€/a] | | 26.025 | 29.659 |
| Nebenkosten | 0,05102 [€/a] | | 12.756 | 19.637 |
| Gesamtkosten | [€/a] | | 123.858 | 174.239 |
| Jahreskosten (Bezugsjahr 2013) | | | | |
| Jahreskosten gesamt | [€/a] | | 205.446 | 274.695 |
| Spez. Jahreskosten je m ³ behandeltes Abwasser | [€/(m ³ ·a)] | | 0,66 | 0,88 |
| Spez. Jahreskosten je m ³ Frischwasser | [€/(m ³ ·a)] | | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Spez. Jahreskosten je E | [€/(E·a)] | | 32,57 | 43,55 |

8.7.2 Varianten 3 (Ozon) + 4 (GAK-Filtration)

| KA Hopsten 4. RS mit Flockungsfiltration | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--|--|-----------------------------------------|---------------------|
| Datenerhebung und Kostenermittlung | | | | | |
| ALLGEMEINES | | | | | |
| Kläranlage | | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | | Variante 3 | Variante 4 |
| | | | | Ozon | GAK |
| Auftraggeber | | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | | S | S |
| BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN | | | | | |
| Ausbaugröße EW | [E] | | | 12.500 | 12.500 |
| Anschlussgröße EW | [E] | | | 6.308 | 6.308 |
| Jahresabwassermenge (JAM) | [m³/a] | | | 311.409 | 311.409 |
| Behandelte JAM der 4. Stufe | [m³/a] | | | 310.962 | 310.962 |
| Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM | [%] | | | 100 | 100 |
| Bemessungswassermenge der 4. Stufe | [m³/h] | | | 195 | 195 |
| Frischwassermenge | [m³/a] | | | | |
| Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein] | [-] | | | Nein | Nein |
| Anmerkungen bzgl. der Nutzung der Bausubstanz | [-] | | | | |
| Nachbehandlung [Ja/Nein] | [-] | | | Flockungsfiltration | Flockungsfiltration |
| Sonstige Anmerkungen | | | | | |
| VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION | | | | | |
| Ozon | | | | | |
| Dosiermengen | mg O ₃ /l | | | 11,2 | |
| Eintragungssystem / Dosiervorrichtung | | | | Tellerdiffusoren | |
| Eintragungspunkt | | | | Ozonreaktor | |
| Reaktionsvolumen | m³ | | | 2 x 50 | |
| Aufenthaltszeit bei QTW | min | | | 30 | |
| Maximale Ozonproduktion | kg O ₃ /h | | | 2,18 | |
| Sauerstoffbedarf | g O ₂ /gO ₃ | | | 10 | |
| Pulverisierte Aktivkohle (PAK) | | | | | |
| <i>PAK Kontaktbecken</i> | | | | | |
| Dosiermengen | mg/l | | | | |
| Eintragungssystem / Dosiervorrichtung | | | | | |
| Eintragungspunkt | | | | | |
| Reaktionsvolumen | m³ | | | | |
| Aufenthaltszeit bei QTW | min | | | | |
| Beckentiefe | m | | | | |
| Zulauf | l/s | | | | |
| <i>PAK Absetzbecken</i> | | | | | |
| Aufenthaltszeit bei QTW | h | | | | |
| Gesamtvolumen | m³ | | | | |
| Oberflächenbeschickung | m/h | | | | |
| Polymerdosierung | mg/l | | | | |
| Fällmitteldosierung | mg Fe/l | | | | |

| ALLGEMEINES | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|--|-----------------------------------------|-------------------|
| Kläranlage | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | Variante 3 | Variante 4 |
| | | | Ozon | GAK |
| Auftraggeber | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | S | S |
| Granulierte Aktivkohle (GAK) | | | | |
| Aktivkohlesorte | | | | |
| Reaktivierungszyklus | | | | |
| Filtertyp | | | | offene Filtration |
| Filteranzahl | | | | 4 |
| Filterfläche je Filter | m ² | | | 11 |
| Betthöhe | m | | | 2 |
| Bettvolumen | m ³ | | | 22 |
| Leerbettkontaktzeit | min | | | 20 |
| Filtergeschwindigkeit | m/h | | | 6 |
| Spülintervall | | | | |
| Filterspülgeschwindigkeit | m/h | | | 50 |
| Spülluftgeschwindigkeit | m/h | | | |
| Aufenthaltszeit | min | | | 10 |
| STEUERUNG UND REGELUNG | | | | |
| Zeitproportional | | | | |
| Mengenproportional | | | ja | |
| DOC-proportional | | | | |
| SAK-proportional | | | | |
| Gelöstozonkonzentration | | | ja | |
| Offgasozonkonzentration | | | ja | |
| Rezirkulation | | | | |
| Druckmessung | | | | |
| INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN | | | | |
| Investitionskosten | | | | |
| Bezugsjahr der Kosten | | | 2016 | 2016 |
| Bautechnik | [€] | | 945.000 | 1.126.000 |
| Maschinenteknik | [€] | | 804.000 | 709.400 |
| EMSR Technik | [€] | | 241.000 | 213.000 |
| Nebenkosten | [€] | | 358.200 | 369.000 |
| Gesamtkosten (Nettokosten) | [€] | | 2.348.200 | 2.417.400 |
| Betriebskosten | | | | |
| Energie | [€/a] | | 29.719 | 13.491 |
| Personal | [€/a] | | 16.000 | 16.000 |
| Wartung/ Instandhaltung | [€/a] | | 55.570 | 53.434 |
| Sauerstoff | [€/a] | | 6.323 | 0 |
| PAK/GAK | [€/a] | | | 12.421 |
| FHM, FM | [€/a] | | 0 | 0 |
| Transport/ Logistik | [€/a] | | | |
| Schlammentsorgung | [€/a] | | | |
| Einsparungen durch bessere Wasserqualität | [€/a] | | | |
| Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten) | [€/a] | | 107.612 | 95.346 |

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hopsten

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------------|------------------|
| ALLGEMEINES | | | | |
| Kläranlage | | | KA Hopsten | KA Hopsten |
| Variante | | | Variante 3 | Variante 4 |
| | | | Ozon | GAK |
| Auftraggeber | | | Gemeinde Hopsten | |
| Planer | | | Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH | |
| Vorlage des Berichts | | | 2016 | 2016 |
| Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G) | | | S | S |
| Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013) | | | | |
| Annahmen zur Aktualisierung der Kosten | | | | |
| Bezugszeitpunkt | | | 2013 | 2013 |
| Jahre seit Urkalkulation | [a] | | -3 | -3 |
| Zinsen | [%] | 3,00% | | |
| AFA Bautechnik, Nebenkosten | [a] | 30 | | |
| AFA Maschinentechnik | [a] | 15 | | |
| AFA Elektrotechnik | [a] | 10 | | |
| Preisentwicklung bis Bezugsjahr | | | Faktoren LAWA | Faktoren LAWA |
| Preissteigerung Personal | | 0,5% | 0,98515 | 0,98515 |
| Preissteigerung Energie/Strom | | 3,0% | 0,91514 | 0,91514 |
| Preissteigerung PAK | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Preissteigerung O2 | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten | | 0,5% | 0,98515 | 0,98515 |
| Preissteigerung Maschinentechnik | | 0,3% | 0,99254 | 0,99254 |
| Preissteigerung Elektrotechnik | | 0,0% | 1,00000 | 1,00000 |
| Preissteigerung Allgemein | | 1,0% | 0,97059 | 0,97059 |
| Investitionskosten | | | | |
| Bezugsjahr der Kosten | | | 2013 | 2013 |
| Bautechnik | [€] | | 930.966 | 1.109.278 |
| Maschinentechnik | [€] | | 798.000 | 704.106 |
| EMSR Technik | [€] | | 241.000 | 213.000 |
| Nebenkosten | [€] | | 352.880 | 363.520 |
| Gesamtkosten (Nettokosten) | [€] | | 2.322.846 | 2.389.903 |
| Betriebskosten | | | | |
| Energie | [€/a] | | 27.197 | 12.347 |
| Personal | [€/a] | | 15.762 | 15.762 |
| Wartung/ Instandhaltung | [€/a] | | 54.745 | 52.640 |
| Sauerstoff | [€/a] | | 6.137 | 0 |
| PAK/GAK | [€/a] | | 0 | 12.056 |
| FHM, FM | [€/a] | | 0 | 0 |
| Transport/ Logistik | [€/a] | | | |
| Schlamm Entsorgung | [€/a] | | 0 | 0 |
| Einsparungen durch bessere Wasserqualität | [€/a] | | | |
| Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten) | [€/a] | | 103.841 | 92.805 |
| Reinvestitionskosten in EURO | | | | |
| | | Faktoren LAWA | | |
| Bautechnik | 0 [€] | | 0 | 0 |
| Maschinentechnik (nach 15 a) | 0,66636 [€] | | 535.752 | 472.714 |
| Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) | 1,29776967 [€] | | 312.762 | 276.425 |
| Nebenkosten | 0 [€] | | 0 | 0 |
| Gesamtkosten | [€] | | 848.514 | 749.139 |
| Kapitalkosten | | | | |
| | | Faktoren LAWA | | |
| Bautechnik | 0,05102 [€/a] | | 47.497 | 56.595 |
| Maschinentechnik | 0,05102 [€/a] | | 68.047 | 60.040 |
| Elektrotechnik | 0,05102 [€/a] | | 28.253 | 24.970 |
| Nebenkosten | 0,05102 [€/a] | | 18.004 | 18.547 |
| Gesamtkosten | [€/a] | | 161.800 | 160.152 |
| Jahreskosten (Bezugsjahr 2013) | | | | |
| Jahreskosten gesamt | [€/a] | | 265.641 | 252.957 |
| Spez. Jahreskosten je m ³ behandeltes Abwasser | [€/(m ³ ·a)] | | 0,85 | 0,81 |
| Spez. Jahreskosten je m ³ Frischwasser | [€/(m ³ ·a)] | | #DIV/0! | #DIV/0! |
| Spez. Jahreskosten je E | [€/(E·a)] | | 42,11 | 40,10 |

9 Anhang C – Pläne

9.1 **Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)**

9.2 **Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)**

9.3 **Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration)**