

Stadt Hörstel

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hörstel

ABSCHLUSSBERICHT

April 2018

Verfasser:

Gefördert durch:





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



Auftraggeber:

Stadt Hörstel

Sünte-Rendel-Straße 14, 48477 Hörstel-Riesenbeck

Herr Wessling, 05454 911-151

Unterschrift

Aufgestellt durch:

INGENIEURBÜRO FRILLING+ROLFS GMBH

Beratende Ingenieure VBI

Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik

Rombergstraße 46 – 49377 Vechta

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Schütte

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

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

Bearbeiter: Katharina Kasper M.Sc.

Dipl.-Biol. Meike Schacht

Vechta, 24.04.2018

Aachen, 24.04.2018

ppa. M. Schütte

ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1		Einleitung und Veranlassung	12
	1.1	Allgemeines	12
	1.2	Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gese Rahmenbedingungen	
	1.2.1	Umweltqualitätsnormen (UQN)	16
	1.2.2	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)	17
	1.2.3	PNEC (predicted no-effect concentration)	18
2		Ermittlung der Grundlagendaten	19
	2.1	Beschreibung der Kläranlage Hörstel	
	2.2	Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik	
	2.3	Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Hörstel	23
	2.3.1	Einzugsgebiet der Kläranlage Hörstel	23
	2.3.2	Qualität des Vorfluters	24
	2.3.3	Zustand der Grundwasserkörper	29
	2.3.4	Landwirtschaft	29
	2.3.5	Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet	31
3		Verfahren zur Spurenstoffelimination	33
	3.1	Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle	
	3.1.1	Grundlagen der Adsorption	
		Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen	
		Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	
		Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	
	3.2	Oxidative Verfahren	44
	3.2.1	Grundlagen der Oxidation	44
		Einsatz von Ozon auf Kläranlagen	
	3.3	Membranverfahren	47
	3.3.1	Grundlagen der Membrantechnik	47
	3.3.2	Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	51
	3.4	Sonstige Verfahren	52
	3.4.1	AOP Advanced Oxidation Processes	52
	3.4.2	Weitere Verfahren	52
	3.5	Photolyse	53
	3.6	Ultraschall	54
	3.7	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen	54
	3.7.1	Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	56
4		Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Hörstel	58
	4.1	Zulauf der Kläranlage	
	4.2	Belebung	
	4.3	Kläranlagenablauf	

4.4	4	Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungss	
4.	5	Untersuchungen der Vorfluter	
		Bisherige Untersuchungen des Vorfluters	
		Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie	
4.6		Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und –zulaufs	
	_	Bisherige Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und –zulaufs	
		Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie	
4.		Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf der KA Hörste	
5	•	Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Hörstel	
5 .	1	Vorauswahl der Behandlungsverfahren	
5. 5.		Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe	
5.2		Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	
		Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte	
5.4			
		Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	
		Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	
		Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	
		Variante 3: Ozonbehandlung	
		Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	
		Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration	
;	5.4.7	Auslegung der Flockungsfiltration	
6		Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	. 109
6.	1	Investitionen	. 109
6.2	2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	
6.3	3	Jahreskosten	
6.4	4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation	
6.	5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Star Hörstel	
6 (6	Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe	
6.0 6.7		Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen	
	,		
7		Anhang A - Untersuchungsergebnisse	
7.		Bisherige Untersuchungsergebnisse Vorfluter 2014-2016	
7.2		Untersuchungsergebnisse Vorfluter im Rahmen der Studie	
		Monitoring - Ergebnisse	
7.3		Untersuchungsergebnisse Kläranlage im Rahmen der Studie	
		Screening- Ergebnisse	
	7.3.2	Monitoring - Ergebnisse	. 149
8		Anhang B – Investitionen	. 169
8.	1	Investitionen Variante 1	. 169
8.2	2	Investitionen Variante 2	. 170
8.3	3	Investitionen Variante 3	. 172
8.4	4	Investitionen Variante 4	. 174
8.	5	Energiebedarf	. 176
8.6	6	Betriebskosten	. 178
8.	7	Jahreskosten Variante 1 und 2	179

8.8	Jahreskosten Variante 3 und 4	182
9	Anhang C – Pläne	185
9.1	Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)	185
9.2	Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)	186
9.3	Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration)	187

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	Elektronisches Wasserwirtschaftliches 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 m³/d, m³/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/arzneimittelwirkstoffe/faq/index.htm.
- 5. Ina Ebert, Sabine Konradi, Arne Hein, Riccardo Amato. Arzneimittel in der Umwelt vermeiden, reduzieren, überwachen. s.l.: Umweltbundesamt, 2014.
- 6. **Ternes**, **T.** Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen. *Wasser Berlin*. 2006.
- 7. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. 2015.
- 8. **Frauenhofer Umsicht.** Mikroplastik. [Online] [Zitat vom: 2. Oktober 2017.] https://www.initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/allgemein.
- 9. —. Frauenhofer Umsicht nimmt Stellung: Thema Mikroplastik. [Online] [Zitat vom: 2. Oktober 2017.] https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/nachhaltigkeit/ag-nachhaltigkeit/positionspapiere/mikroplastik.html.
- 10. Ralf Bertling. Mikroplastik in der aquatischen Umwelt. WWT. 2015.
- 11. Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland. Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen : Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie. Helgoland : s.n., 2014.
- 12. **Fraunhofer UMSICHT.** *Vierte Reinigungsstufe: Stand und Ausblick.* [Online] [Zitat vom: 06. Februar 2017.] http://initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/4-reinigungsstufe.
- 13. 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.

- 14. **BIO Intelligence Service.** Study on the environmental risks of medicinal products, Final report prepared for Executive Agency for Health and Consumers. 2013.
- 15. **Umweltbundesamt.** REACH Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals. *Informationsportal.* [Online] [Zitat vom: 18. September 2015.] http://www.reach-info.de/.
- 16. **Ingenieurbüro Frilling.** Außerbetriebnahme des Faulbehälters auf der Kläranlage Hörstel-Genehmigungsantrag. 2015.
- 17. Kläranlage Hörstel. Betriebstagebücher. 2014-2016.
- 18. —. Viertelstunden Werte Ablauf. 2014-2016.
- 19. Stadt Hörstel, Bauamt. Luftbild Kläranlage Hörstel. 2017.
- 20. Wikipedia. [Online] [Zitat vom: 21. Februar 2017.] https://de.wikipedia.org/wiki/Hörstel.
- 21. **Stadt Hörstel.** [Online] [Zitat vom: 21. Februar 2017.] http://www.hoerstel.de/freizeit-leben/stadtinfo/zahlen-daten-fakten/.
- 22. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen. ELWAS-WEB. [Online] http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf.
- 23. **Bezirksregierung Münster.** 3. Änderungsbescheid: Einleitung von Abwasser aus der KA Hörstel in die Hörsteler Aa. 2010.
- 24. **Westfälische Nachrichten.** Mit dem Grubenwasser des Bergwerks Ibbenbüren kommen Salz und PCB an die Oberfläche. *Westfälische Nachrichten.* 2016.
- 25. Wikipedia. [Online] [Zitat vom: 8. März 2017.] https://de.wikipedia.org/wiki/Dreierwalder_Aa.
- 26. **Landtag NRW.** [Online] https://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument?Id=MMD16/11709%7C1%7C0.
- 27. 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.
- 28. Schleswig-Holstein Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume. Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein.
- 29. Wasserblick/BfG, Berichtsportal. Zitiert nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. [Online] [Zitat vom: 21. September 2015.] http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewaesser/fluesse-und-seen/zustand-deroberflaechengewaesser/.
- 30. Rüb, Bernhard (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pressestelle). Bodennutzung Schöppingen [E-Mail]. 07. Oktober 2015.

- 31. **LANUV.** Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland (Flächenbilanz). [Online] 11. 10 2016. https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?liki=B6.
- 32. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** Reaktiver Stickstoff in Deutschland Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen. 2014.
- 33. 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.
- 34. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern: Bundesamtfür Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
- 35. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. 2015.
- 36. 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.
- 37. 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 Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROFlock). 2012.
- 38. 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.
- 39. 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.
- 40. 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.
- 41. **Remy, C. und Miehe, U.** Energieaufwand und CO2-Fußabdruck von Aktivkohleadsorption und Ozonung zur Spurenstoff-Entfernung in Berlin. [Hrsg.] KomS BW. *Tagungsband: 5 Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffe KomS BW, KOM-M.NRW und VSA Plattform.* 2017, S. 37-59.

- 42. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen DWA- A131. 1991/2000.
- 43. **Ingenieurbüro Frilling.** Außerbetriebnahme des Faulbehälters auf der Kläranlage Hörstel-Genehmigungsantrag. 2015.
- 44. **Bezirksregierung Münster.** Erlaubnisbescheid- Einleitung von Abwasser aus der KA Hörstel in die Hörsteler Aa. 2005.
- 45. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.
- 46. Wessling GmbH. Analyseergebnisse Ingenieurbüro Frilling GmbH. [Email].
- 47. Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer. Studie Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp. 2013.
- 48. 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.
- 49. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen. 2012.
- 50. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon.* Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
- 51. **Rita Triebskorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser et al.** SchussenAktiv Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft.* 2013, Bd. 6, 8.
- 52. **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.
- 53. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch.* [Vortrag] Wetzikon: s.n., 2013.
- 54. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** Schlussbericht Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen. Dresden/Oppin: s.n., 2012.
- 55. **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.

- 56. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. 2014.
- 57. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.* Köln: s.n., 2016.
- 58. Ingenieurbüro Frilling. Genereller Längsschnitt. 2003.
- 59. 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.
- 60. Frank Benstöm, Andreas Nahrstedt, Marc Böhler, Gregor Knopp, David Montag, Hansruedi Siegrist, Johannes Pinnekamp. Granulierte Aktivkohle Ein Review halb- und großtechnischer Untersuchungen. *Gewääserschutz Wasser Abwasser*. 2016, Bd. 239.
- 61. Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger. *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l.: Umweltbundesamt, 2015.

1 Einleitung und Veranlassung

1.1 Allgemeines

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

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

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

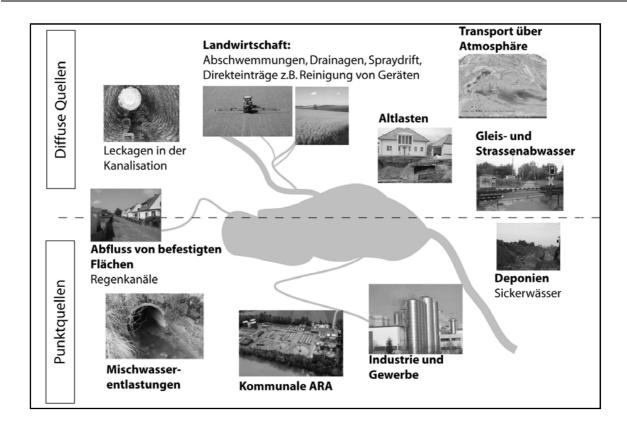


Abbildung 1-1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern (3)

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. 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)

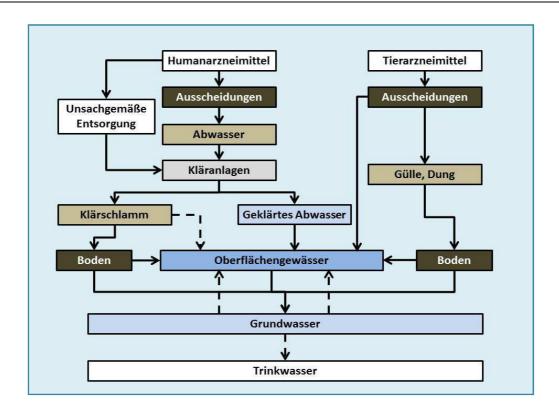


Abbildung 1-2: Haupteintragswege für Human- und Tierarzneimittel (nach (5))

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)

Neben den Spurenstoffen wird immer mehr Mikroplastik (synthetische Polymere < 5mm) in der aquatischen Umwelt gefunden, welches die Ökosysteme belastet und über den natürlichen Wasserkreislauf in die Nahrungskette gelangen kann (8; 9). Problematisch sind hierbei die Persistenz des Mikroplastiks und seine hydrophoben Eigenschaften, wodurch organische Schadstoffe und Schwermetalle adsorbiert werden können. Die Kläranlage bildet dabei ein zentrales Element zwischen der Freisetzung im Haushalt und der Einleitung in Gewässer und ist eine wesentliche punktuelle Eintragsquelle für Mikroplastik in die Umwelt (10; 11). Die Kläranlage könnte somit auch als Abscheider dienen, besonderes Potential hat hier die vierte Reinigungsstufe (12). Derzeit sind die meisten Kläranlagen aber nicht in der Lage Mikroplastik vollständig aus dem Abwasser herauszufiltern bzw. passiert das Mikroplastik sogar ungehindert die Reinigungsstufen (10).

Mit fast 18 Millionen Einwohnern ist Nordrhein-Westfalen (NRW) das bevölkerungsreichste Bundeslandesland. 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" (13)) 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 Stadt Hörstel hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für die KA Hörstel 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 (14) 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.

Mikroplastik wurde bislang noch nicht in die Europäische Wasserrahmenrichtlinie aufgenommen und es gibt noch keine Grenzwerte im Ablauf der Kläranlage. Durch die hohe Relevanz ist damit allerdings in den nächsten Jahren zu rechnen.

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 flussgebietsspezifische 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 flussgebietsspezifische 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 anthopogenen 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 anthopogenen 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 μg/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-Informationsportal 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" (15).

2 Ermittlung der Grundlagendaten

Die folgenden Angaben stammen aus dem Informationssystem ELWAS sowie aus den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen.

2.1 Beschreibung der Kläranlage Hörstel

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

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt (16; 17; 18):

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

Zurzeit ist die Anlage mit 34.500 EW₆₀ (aktuelle Nennbelastung) belastet (16).

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

In Abbildung 2-1 ist ein vereinfachtes Fließschema der KA Hörstel dargestellt.

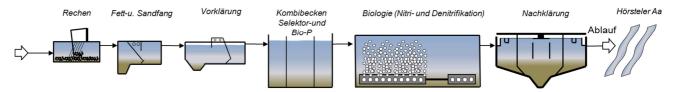
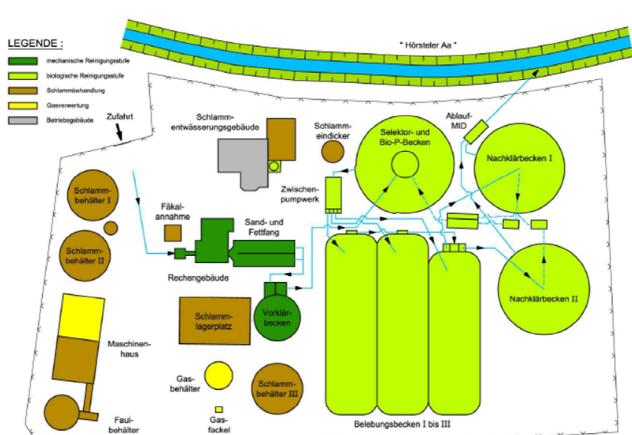


Abbildung 2-1: Vereinfachtes Fließschema der KA Hörstel



Einen Übersichtslageplan zeigt Abbildung 2-2.

Abbildung 2-2: Übersichtslageplan KA Hörstel (16)

Für den Ablauf der Kläranlage gelten die folgenden Überwachungs- und Erklärungswerte (Tabelle 2-1).

Tabelle 2-1: Überwachungswerte im Ablauf der KA Hörstel

Parameter	Überwachungswert [mg/l]	Erklärter Wert [mg/l]
CSB	56	40
BSB ₅	10	
$$N_{ges}$$ (Summe NH ₄ -, NO ₂ - und NO ₃ -N; gilt nur bei T > 12 °C)	18	12
NH ₄ -N (gilt nur bei T > 12 °C)	4	
P _{ges.}	1	0,5

2.2 Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik

Die Kläranlage Hörstel verfügt in ihrem gegenwärtigen Ausbauzustand über folgende Verfahrensstufen und Bauwerke: (16)

Mechanische Vorreinigung:

- · Einlaufbauwerk mit Tosbecken
- · 2 Filterstufenrechen (Spaltweite 3 mm) mit Rechengutwaschpresse
- · Belüfteter Doppelsandfang mit Fettfangkammer

$$(V_{SF} = 2 \ x \ 117 \ m^3; \ A_{SF} = 2 \ x \ 44 \ m^2; \ V_{FF} = 2 \ x \ 25 \ m^3, \ A_{FF} = 2 \ x \ 23 \ m^2)$$

· Vorklärbecken mit Rundräumer (V = 360 m³, A = 172 m²)

Biologische Reinigungsstufe:

- · Selektorbecken (V = 120 m³)
- · Bio-P-Becken ($V = 1.460 \text{ m}^3$)
- · Zwischenpumpwerk mit 3 Förderschnecken und 2 Tauchmotorpumpen

 $(Q = 2 \times 234/468 \text{ m}^3/\text{h} + 1 \times 317/421 \text{ m}^3/\text{h} + 2 \times 420 \text{ m}^3/\text{h})$

- Belebungsbecken I + II mit Mammutrotorenbelüftung (V = 2 x 3.000 m³)
- · Belebungsbecken III mit Mammutrotorenbelüftung (V = 2.700 m³)
- · Nachklärbecken I + II mit Saugräumer (V = 2 x 2.268 m³, A = 2 x 698 m²)
- Rücklaufschlammpumpwerk mit 3 Förderschnecken (Q = 3 x 241/482 m³/h)
- · Ablaufmengenmessanlage (MID DN 400)

Schlammbehandlung:

- · Primärschlammpumpwerk (Q = 15 m³/h)
- · Bandeindicker (Q = 20 m³/h)
- · Frischschlammvorlagebehälter (V = 120 m³)
- · Frischschlammpumpwerk (Q = 6 m³/h)
- · Faulbehälter (V = 1.000 m³)
- · Gasbehälter (V = 500 m³)
- Blockheizkraftwerk (P = 50 kW_{el}. bzw. 90 kW_{th}.)
- · Heizungsanlage (P = 170 kW_{th}.)
- · Notgasfackel (Q = 120 m³/h)
- · Nacheindicker (V = 154 m³)
- Schlammbehälter I bis III (V = 3 x 960 m³)
- Schlammentwässerungsanlage (KFP mit 117 m² Filterfläche)
- · Schlammlagerplatz (V = 875 m³, A = 350 m²)
- · Fäkalschlammannahmestation (V = 50 m³)

Sonstige Bauwerke/Anlagenteile:

- · Betriebs- und Schlammentwässerungsgebäude
- · Rechengebäude mit Containerstation
- · Maschinenhaus mit Trafo und Notstromaggregat
- · Fällmittelstation (V = 20 m³)
- · Filtratwasserpumpwerk (Q = 30 m³/h)

Ein Foto der KA Hörstel ist in Abbildung 2-3: gezeigt.



Abbildung 2-3: Foto der KA Hörstel (19)

Das Abwasser passiert die zweistraßige Rechenanlage und gelangt dann in den zweistraßigen Sandfang, wo die mineralischen Bestandteile durch Sedimentation abgetrennt werden. Nach der mechanischen Vorreinigung gelangt das Abwasser in das Vorklärbecken (Rundbecken). Hier erfolgt eine Teilelimination von CSB, BSB₅, absetzbaren Stoffen sowie Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Der anfallende Bodenschlamm (Primärschlamm) wird mithilfe eines Schildräumers in den Schlammtrichter geschoben und über das Primärschlammpumpwerk und den Frischschlammvorlagebehälter in den Faulbehälter gefördert.

Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird der biologischen Stufe – bestehend aus dem Selektor- und Bio-P-Becken, drei Belebungsbecken, zwei Nachklärbecken und einer Simultanfällungsanlage zur Phosphorelimination– zugeleitet.

Das Selektor- und Bio-P-Becken ist ein rundes Kombibecken mit einem Innenring als anoxische/anaeroben Selektorzone und einem anaeroben Außenring. Das zentrische Selektorbecken hat selektierende Eigenschaften auf flockenbildende Mikroorganismen und unterdrückt Blähschlamm und Fadenbakterien und fördert somit die Absetzbarkeit des Belebtschlammes. Zweck des Bio-P-Becken ist eine Rücklösung der Phosphationen, so dass eine erhöhte biologische Phosphorelimination in den Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken stattfindet. Zum Erreichen des angestrebten Betriebsmittelwerts von 0,5 mg Paes/I ist auch eine Simultanfällung mit Eisen(III)chloridsulfat vorhanden.

Anschließend fließt das Abwasser über ein Zwischenpumpwerk zu den drei parallel betriebenen Belebungsbecken. In diesen Becken erfolgt die biologische Abwasserreinigung (hochgradiger Kohlenstoffabbau, weitgehende Stickstoffelimination) nach dem Verfahren der intermittierende Nitrifikation/Denitrifikation.

Nach der biologischen Reinigung gelangt das Abwasser über ein Verteilerbauwerk zu den zwei Nachklärbecken, in denen der Belebtschlamm sedimentiert und mittels Saugräumer abgezogen wird. Sowohl der Primärschlamm aus dem Vorklärbecken als auch der Überschussschlamm aus der Belebtschlammanlage werden in einer anaerob-mesophilen Schlammfaulung behandelt und anschließend mechanisch mittels Kammerfilterpresse entwässert. Der entwässerte Schlamm wird landwirtschaftlich entsorgt. Das beim Faulprozess anfallende Faulgas wird in einem Blockheizkraftwerk zur Stromerzeugung genutzt.

Die gereinigten Abwässer werden über eine Ablaufmengenmessanlage in die Hörsteler Aa eingeleitet.

2.3 Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Hörstel

Die Stadt Hörstel liegt im Norden von Nordrhein-Westfalen im nördlichen Münsterland am nordwestlichsten Ausläufer des Teutoburger Walds in der westfälischen Region Tecklenburger Land (Kreis Steinfurt). Rund zwei Kilometer südlich von Hörstel zweigt am "Nassen Dreieck" der Mittellandkanal vom Dortmund-Ems-Kanal ab. In Hörstel leben 20.820 Einwohner auf einer Fläche von ca. 107,32 km². (20; 21)

2.3.1 <u>Einzugsgebiet der Kläranlage Hörstel</u>

Die Kläranlage Hörstel liegt im Norden der Stadt Hörstel. Sie leitet in die Hörsteler Aa ein, welche in die Ems mündet. In der Kläranlage Hörstel werden die Abwässer der Ortsteile Hörstel, Riesenbeck, Bevergern und Dreierwalde behandelt.

Indirekte Industrieeinleiter sind u.a. die Westfalen AG, die Systec Plastics GmbH und BNP Brinkmann Nadelfilzprodukte (22). Nach Angaben des Betreibers ist der Einfluss der industriellen Einleiter gering. Des Weiteren werden die Abwässer des St. Antonius Krankenhaus, eine Fachklinik für Suchtmedizin und Psychotherapie, mitbehandelt (22). Dadurch kann es zu einem deutlichen Eintrag von Medikamentenrückständen kommen.

Die Abwässer werden hauptsächlich im Trennsystem zur Kläranlage Hörstel geleitet (22).

2.3.2 Qualität des Vorfluters

Die Kläranlage Hörstel leitet das gereinigte Wasser in die Hörsteler Aa ein (22). Die Einleitstelle ist mit einem grünen Dreieck markiert (Abbildung 2-4).

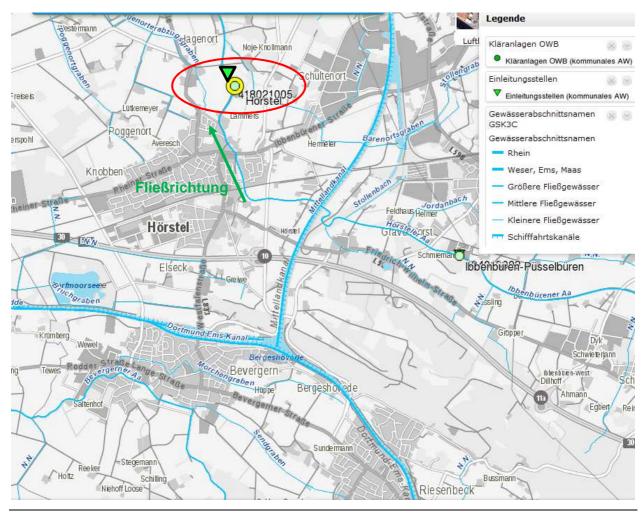


Abbildung 2-4: Einleitsituation der Kläranlage Hörstel in die Hörsteler Aa (22)

Der Vorfluter Hörsteler Aa ist ein erheblich verändertes Gewässer, welches durch die Einleitung Salz und PCB belasteter Grubenwässer des Bergwerks Ibbenbüren (RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH) ab Ibbenbüren biologisch weitgehend verödet ist (23; 24). Täglich werden ca. 40.000 m³ Grubenwasser über Nebenflüsse (z.B. Stollenbach) eingeleitet, wodurch die Chloridbelastung bei rund 600 Tonnen täglich liegt und die Wassermenge im Mittel um 0,4 m³/s auf 1,78 m³/s ansteigt (25; 26). Der Abwasseranteil der Kläranlage Hörstel bezogen auf den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Hörsteler Aa beträgt 8 % und ist somit kleiner 1/3 MNQ. Bei der Hörsteler Aa handelt es sich damit um einen starken Vorfluter.

Der chemische Zustand der Hörsteler Aa wurde bei Untersuchungen des Landes Nordrhein-Westfalen (OFWK, 3. Zyklus, 2012 – 2014) sowohl ober- als auch unterhalb der KA Hörstel als "nicht gut" beurteilt

(Abbildung 2-5). 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.

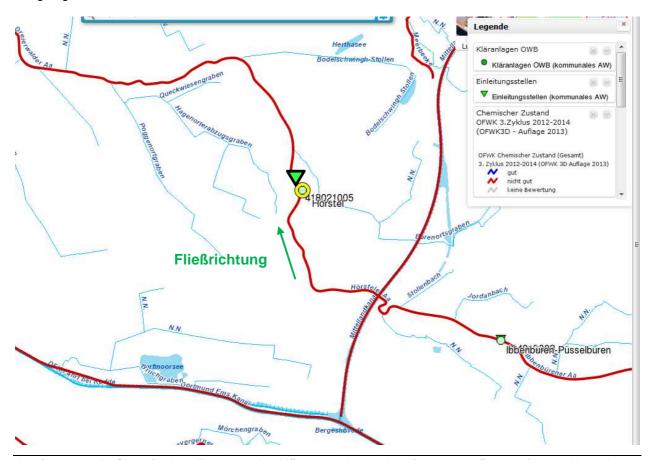


Abbildung 2-5: Chemischer Zustand der Hörsteler Aa und weiterer Gewässern in der Umgebung der KA Hörstel (22)

Allerdings ändert sich der chemische Zustand ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe der Hörsteler Aa sowohl oberhalb als auch direkt unterhalb der Kläranlage nicht und wird weiterhin als "nicht gut" beurteilt (Abbildung 2-6). Jedoch wird der Chemische Zustand ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe bis ungefähr 3 km vor der KA Hörstel noch mit einem "gut" beurteilt und wird erst danach mit einem "nicht gut" bewertet (Stelle mit grünen Kreis markiert). Kurz davor endet der Stollenbach in die Hörsteler Aa, in welchen Chlorid und PCB haltige Grubenwässer eingeleitet werden. Es ist zu vermuten, dass diese den Zustand der Hörsteler Aa negativ beeinflussen. Die Einleitungsstellen der Grubenwässer sind mit einem gelben Kreis markiert.

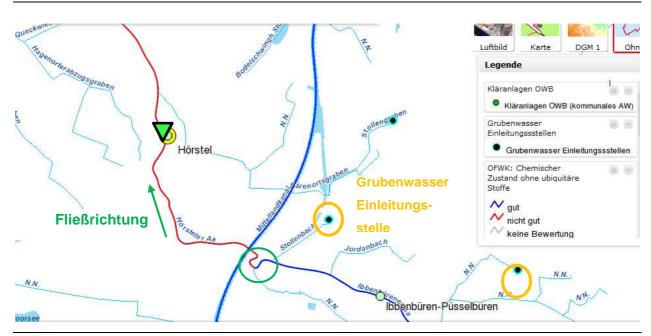


Abbildung 2-6: Chemischer Zustand der Hörsteler Aa und weiterer Gewässer in der Umgebung der KA Hörstel ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe und Einleitungsstellen von Grubenwasser (22)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand der Hörsteler Aa ist sowohl ober- als auch unterhalb der Kläranlage Hörstel "schlecht" (Abbildung 2-7) (22). Durch die Einleitung salzbelasteter Grubenwässer ist die Hörsteler Aa biologisch weitgehend verödet und nur einige wenige spezialisierte Pflanzen- und Tierarten können in diesem Milieu überleben. (23; 25)

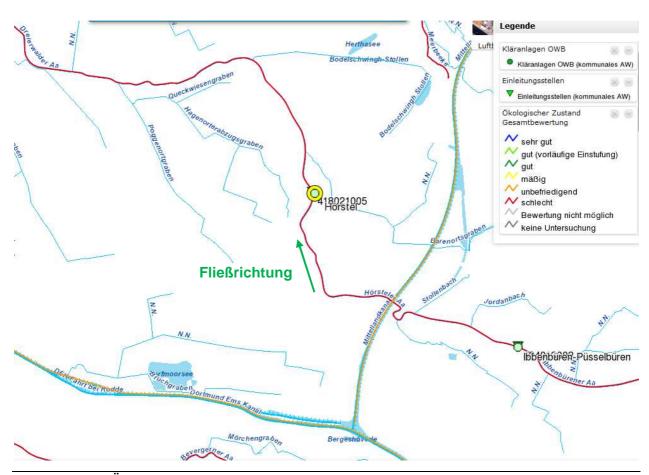


Abbildung 2-7: Ökologischer Zustand der Hörsteler Aa nahe der Kläranlage Hörstel (22)

In der Umgebung der Kläranlage Hörstel liegt das Naturschutzgebiet "NSG Alte Fahrt/ ST- 128" durch das der Vorfluter ca. 3 km vor Einleitstelle der Kläranlage fließt (Abbildung 2-8). Nach der Einleitung tangiert die Hörsteler Aa nach ca. 8 km noch das Naturschutzgebiet "NSG Dreierwalder Bruchwiesen/ ST- 012" bevor sie in der Ems mündet.

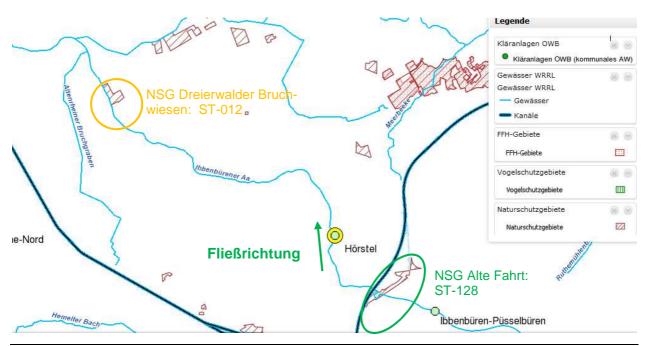


Abbildung 2-8: FFH-, Vogel- und Naturschutzgebiete in der Umgebung der KA Hörstel (22)

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (Abbildung 2-9). Hierbei zeigte sich, dass der ökologische Zustand der meisten Gewässer in Deutschland schlecht, unbefriedigend oder mäßig (≈ 90 %) ist. Im Gegensatz dazu ist der chemische Zustand vieler Gewässer (≈90 %) in Deutschland gut, wenn man von den überall in Europa vorhandenen Schadstoffen, den sogenannten ubiquitären Schadstoffen wie Quecksilber (27), PCB oder Nitrat (28), absieht.

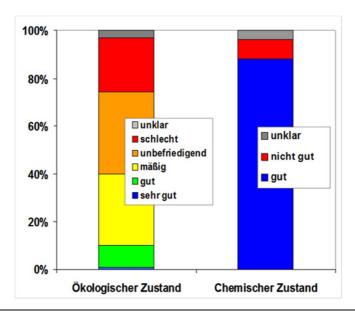


Abbildung 2-9: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (29))

2.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Die Kläranlage Hörstel liegt im Bereich des Grundwasserkörpers 3_02 / Plantlünner Sandebene (Mitte). Der Grundwasserkörpers 3_02 hat eine Gesamtfläche von 23808 ha und liegt in NRW (12712 ha) und Niedersachsen (11087 ha). Zuständige Stelle ist die Bezirksregierung Münster. Im Gebiet des Grundwasserkörpers 3_02 wird, laut Bewertung GWK Chemischer Zustand (2. BWP, 2007 - 2012), der chemische Gesamtzustand mit "schlecht" beurteilt. Die Grenzwerte für Nitrat und Sulfat werden überschritten. (22)

2.3.4 Landwirtschaft

Die Umgebung der Stadt Hörstel ist, wie das gesamte Münsterland, stark landwirtschaftlich geprägt. Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt sowohl durch Tierhaltung als auch durch Ackerbau. Mit Stand 2010 gibt es in Hörstel 217 Bestände mit insgesamt 120.182 Tieren (Tabelle 2-2). (30) Dies lässt auf eine intensive Tierhaltung im Umland der Stadt Hörstel schließen.

Tabelle 2-2: Tierbestände im Umland von Hörstel (nach (30))

Tierbestände Stadt Hörstel			
Tierart	Bestände [Stk.]	Anzahl Tiere [Stk.]	
Rinder	73	6 856	
Schweine	89	70 863	
Hühner	15	41 796	
Mastgeflügel	1		
Weitere Tierarten	39	667	
Gesamt	217	120.182	

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Hörstel beläuft sich (Stand 2010) auf insgesamt 6.281 ha (30). Das entspricht einem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen an der Gesamtfläche der Stadt von knapp 59 %. Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Nutzungsfläche Stadt Hörstel (nach (30))

Nutzungsfläche Stadt Hörstel			
Silomais	ha	1.077	
Körnermais inkl. CCM (Corn-Cob-Mix)	ha	1.745	
Getreide (ohne Mais)	ha	2.545	
Dauergrünland	ha	532	
Weitere stark landwirtschaftlich geprägte Fläche	ha	382	
Gesamt	ha	6.281	

Laut einem Bericht des LANUV über die "Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland (Flächenbilanz)" wurde in Deutschland im Jahr 2014 im Durchschnitt jeder Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche mit 74,1 kg Stickstoff überdüngt (31). Unter der Annahme, dass dieser Wert auch in der Stadt Hörstel angesetzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Überdüngung von rund 425.990 kg_N/a. Im Vergleich dazu leitet die Kläranlage Hörstel im Schnitt jährlich insgesamt etwa 7.204 kg_N in die Hörsteler Aa ein (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Stickstoffeinträge im Vergleich

Stickstoffeinträge pro Jahr			
Landwirtschaft			
Landwirtschaftlich genutzte Fläche 1)	ha	5.749	
Überdüngung	kg _N /ha	74,1	
N-Eintrag	kg	425.990	
Kläranlage			
Durchschnittliche Ablaufmenge / Jahr	m³	1.245.601	
Durchschnittlicher N _{anorg} -Gehalt Abwasser	mg/l	5,78	
Durchschnittliche Jahresfracht N _{anorg}	kg	7.204	

¹⁾ ohne Dauergrünland

In Abbildung 2-10 ist die Verteilung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser in Nordrhein-Westfalen gezeigt. Hohe Einträge ins 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 (32).

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.

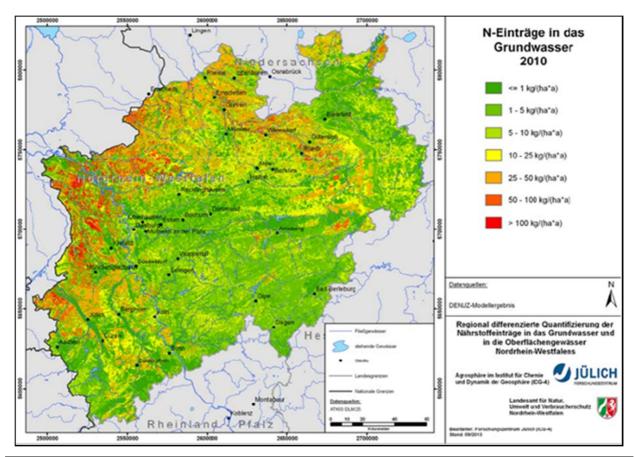


Abbildung 2-10: Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der Landesfläche (NRW) (33)

2.3.5 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

Wie in Kap. 2.3.1 ausgeführt, sind im in der Kläranlage Hörstel behandelten Abwasser keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch das einleitende Krankenhaus wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions- und Reinigungsmitteln erwartet.

Medikamentenrückstände und Röntgenkontrastmittel werden zusätzlich auch mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen. Durch die Arzneimitteleinnahme der Bevölkerung sowie die ggf. nicht fachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln ist mit einem Eintrag dieser Stoffe ins Abwasser und damit in die Kläranlage zu rechnen. Weitere Chemikalien- und Spurenstoffeinträge ins Abwasser sind möglich, z.B. durch Reinigungsmittel, Körperpflegeprodukte, durch Imprägniermittel, die aus Kleidung ausgewaschen werden, etc. Des Weiteren ist z.B. durch die Auswaschung von Bioziden aus Fassadenanstrichen oder

durch das Abspülen von Abrieb auf Straßen mit einem Eintrag von Stoffen in die Kanalisation oder in die Umwelt zu rechnen.

Der Eintrag verschiedener Stoffe in den Vorfluter Hörsteler Aa wird zum einen durch das eingeleitete Wasser von der Kläranlage Hörstel verursacht. Andererseits wird auch durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen ein Eintrag in die Vorfluter verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft. Des Weiteren ist der Eintrag von PCB belasteten Grubenwässern des Bergwerks Ibbenbüren in die Hörsteler Aa zu berücksichtigen.

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,
- Schlammfaulung/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 (34):

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

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

Physikalische Verfahren:

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

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

Bei der Filtration erfolgt die Abtrennung der Abwasserinhaltstoffe über eine selektive Membran. Da es sich bei den für die 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 Ge-

misch 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.

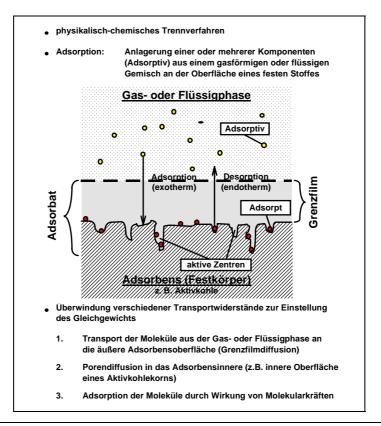


Abbildung 3-1: Grundlagen der Adsorption

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 Abwasser-

reinigung (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 Kohlenstoffgerüstes 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.

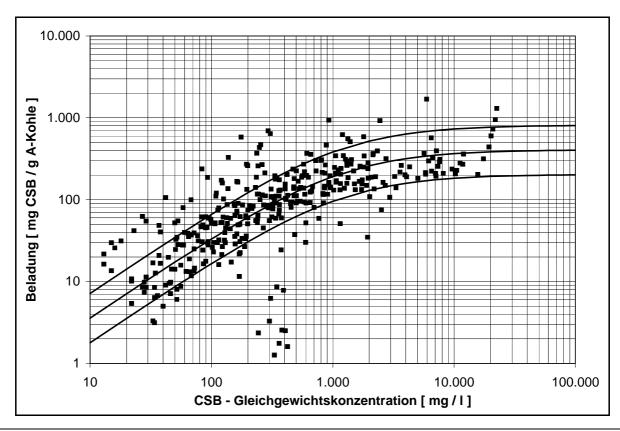


Abbildung 3-2: Adsorptionsisothermen für den Parameter CSB

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.

Auch gegenüber Mikroplastik ist eine Wirksamkeit zu erwarten, da diese als Festkörper durch die vorwiegend elektrostatischen Anziehungskräfte beeinflusst und angelagert werden können (12).

3.1.2 <u>Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen</u>

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.

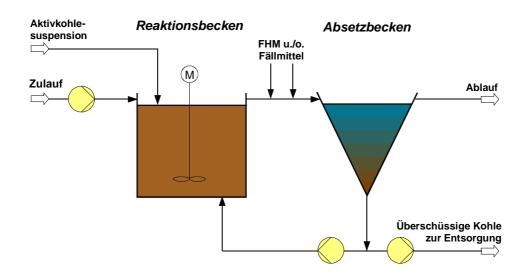
Am Eintritt der ersten Filterstufe (Säule) weist das Adsorbens entsprechend der Zulaufkonzentration die höchste Beladung auf. Für die Auslegung einer mehrstufigen Säulenanlage kann die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Zulaufkonzentration zugrunde gelegt werden. Die mögliche Beladung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

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 reststofffreies 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.



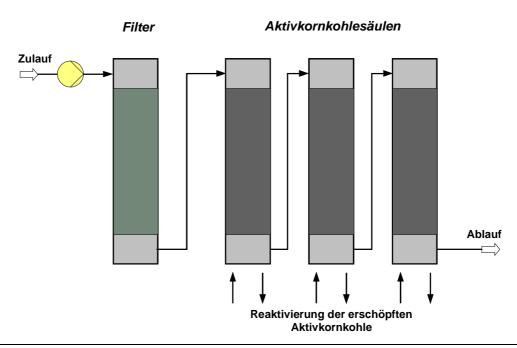


Abbildung 3-3: Verfahrensprinzip Aktivkohleadsorption

3.1.3 <u>Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen</u>

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. (34)

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.

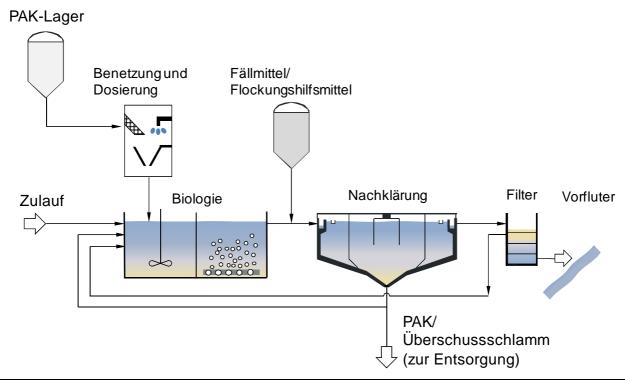


Abbildung 3-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung

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 Überschusskohle 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 Klärschlamms 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/I angegeben werden.

Untersuchungen in Baden-Württemberg konnten zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg PAK/I die gut adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie Carbamazepin und Metoprolol, zu 80 % eliminiert werden können. (35)

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

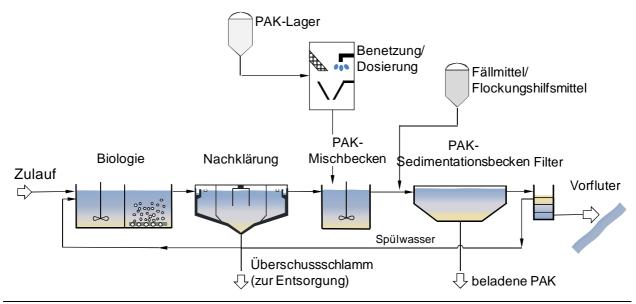


Abbildung 3-5: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken

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 (36), (37).

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).

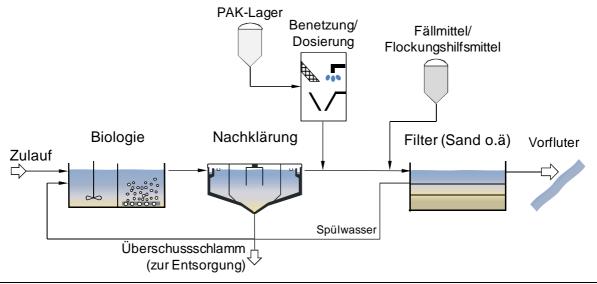


Abbildung 3-6: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum

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 des 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 Spannbreite der erzielbaren Bettvolumina, die zwischen 3.000 – 15.000 m³ schwanken (35). 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 (38) 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 (39). 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 (39). Daher sollten hohe AFS-Gehalte evtl. durch eine vorgeschaltete Filtration vermieden werden. Werden diese Punkte berücksichtigt, ist davon auszugehen, dass die Eliminationsleistung im Bereich von PAK und Ozonung liegt.

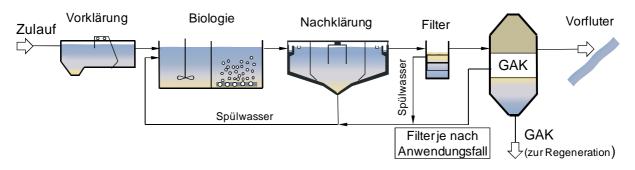


Abbildung 3-7: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter

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⁻, H₂O₂, UV-Strahlen oder gewisse organische Verbindungen (z.B. die im Abwasser vorkommenden Huminstoffe) werden O₂-/HO₂-Radikale gebildet; über Zwischenschritte entsteht das äußerst reaktive OH-Radikal. Die OH-Radikale reagieren mit den organischen Inhaltsstoffen (C), wobei Peroxylradikale entstehen, die ihrerseits O₂-/HO₂-Radikale abspalten und den Kreis damit schließen. Hohe Konzentrationen an "Radikalfängern" wie Carbonate/Hydrogencarbonate (CO₃/HCO₃) oder Alkylverbindungen wirken hier hemmend auf die Reaktionsgeschwindigkeit, da sie die Kettenreaktion durch Verbrauch von OH-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 atomaren Sauerstoff fördert.

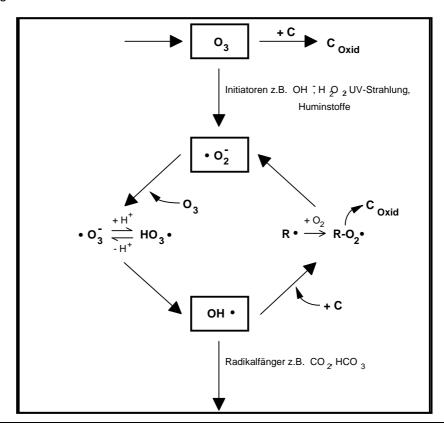


Abbildung 3-8: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

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). Zweifelhaft ist allerdings, ob die Ozonung einen Effekt auf die Elimination von Mikroplastik hat. Allenfalls könnte Mikroplastik in einer nachgeschalteten Filtrationsstufe zurück gehalten werden.

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. (40)

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.

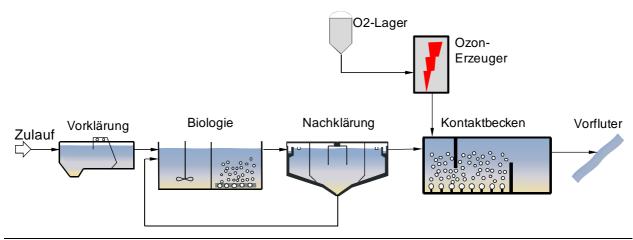


Abbildung 3-9: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung

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

3.3 Membranverfahren

3.3.1 <u>Grundlagen der Membrantechnik</u>

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.

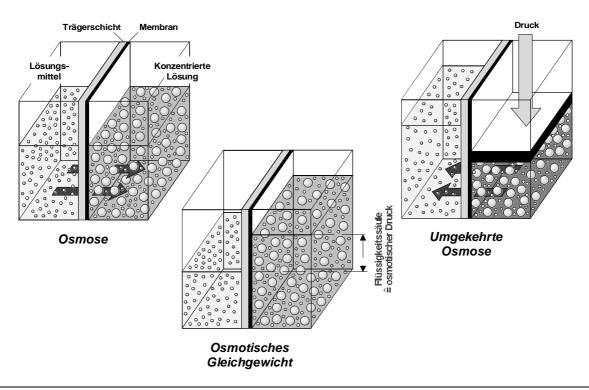


Abbildung 3-10: Osmose und Umkehrosmose

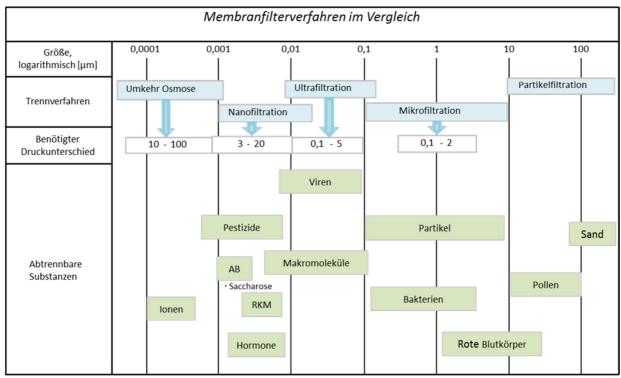
Die Trennung erfolgt dadurch, dass mindestens eine Komponente in der zu trennenden Lösung, in der Regel ist dies Wasser, die Membran nahezu ungehindert passieren (permeieren) kann, während andere Komponenten mehr oder weniger stark zurückgehalten werden. Bei der natürlichen Osmose permeiert daher bevorzugt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



AB - Antibiotika; RKM - Röntgenkontrastmittel

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 Konzent-

rat- 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 Stützschicht (ca. 0,1-0,2 mm) für die notwendige Festigkeit sorgt. Da der Betriebsdruck stets deutlich über dem maximal auftretenden osmotischen Druck des erzeugten Konzentrat-stromes 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.

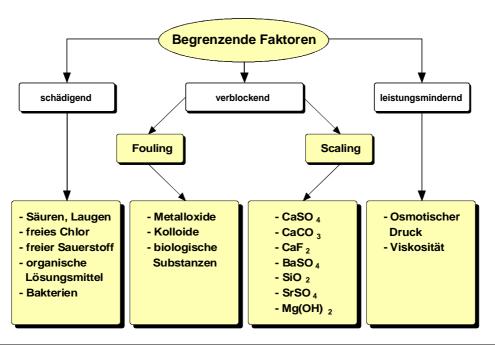


Abbildung 3-12: Begrenzende Faktoren

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 Konzentratentsorgung in großen Mengen stehen zurzeit noch nicht zur Verfügung.

Membranen kommen für die Entfernung von Mikroverunreinigungen sowie von Keimen und Mikroplastik 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 H₂O₂, UV und TiO₂ (oder einem anderen Halbleiter), O₃ und H₂O₂ 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 (OH). 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 CO₂ 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)O₄²⁻), 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. (34)

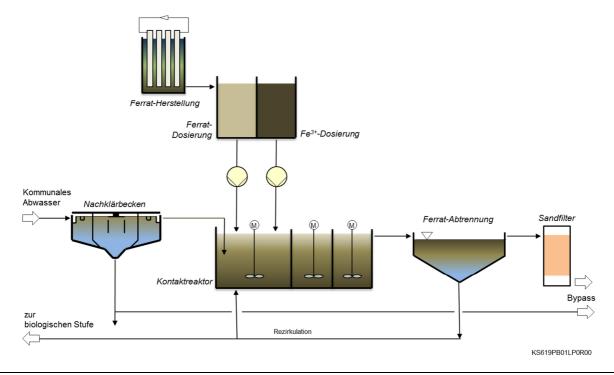


Abbildung 3-13: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Spurenstoffelimination (nach (34))

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. (34)

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 Abwasser 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. (34)

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. (34)

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

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

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

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

Nach heutigem Kenntnisstand ist insbesondere der Einsatz von Aktivkohle oder Ozon für eine weitergehende Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet und auch in bestehende Anlagen integrierbar. Sowohl die Behandlung des Abwassers mit Aktivkohle als auch mit Ozon erwies sich in Pilotversuchen und in der Großtechnik als geeignet, eine große Zahl von Mikroverunreinigungen weitgehend aus dem Abwasser zu entfernen. Daneben wurde nachgewiesen, dass nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen (z.B. Hormonaktivität) verringert werden (34). 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). (40) Auch im Hinblick auf die Mikroplastikelimination ist eine anschließende Filtration empfehlenswert.

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

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granulierte Aktivkohle (GAK). Beim Einsatz der Pulveraktivkohle werden die besten Eliminationsleistungen erreicht, wenn die Dosierung der PAK in ein Kontaktbecken mit ausreichender Verweilzeit und einer ausreichend hohen PAK Dosierrate erfolgt und eine Rezirkulation der PAK betrieben wird. Es ist auch möglich, die PAK in den Flockungsraum eines Filters zu dosieren. Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer GAK Anlagen (39) liegen die durchsetzbaren Bettvolumina in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt des Abwassers bei 5.000 bis 10.000 BV (DOC 14 bis 17 mg/l) bzw. 4.700 bis 24.000 BV (5 bis 11 mg/l DOC). Zu beachten ist jedoch bei der Betrachtung der erreichbaren Bettvolumina, dass eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Adsorber zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit zu einer längeren Standzeit der GAK-Filter führt als die Betrachtung eines einzelnen Adsorbers (39).

Eine von Remy und Miehle durchgeführte Untersuchung des ökologischen Einflusses zeigt für das konkrete Beispiel einer Modellkläranlage der Größenklasse 5 eine erheblich bessere ökologische Bilanz der GAK-Filtration im Vergleich zu den anderen Verfahren. Am schlechtesten wurde die PAK bewertet, da hier nach aktuellem Stand keine Regeneration der eingesetzten Aktivkohle möglich ist. Die Ozonung liegt zwischen den beiden Methoden. Berücksichtigt wurden der Energiebedarf sowie der CO₂-Footprint, jeweils in Kombination mit einer Raumfiltration (bei GAK vor-, ansonsten nachgeschaltet) und einer abschließenden UV-Behandlung. (41) Die Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen ist jedoch nicht ohne weiteres gegeben, so dass diese Untersuchungen lediglich einen Hinweis geben.

3.7.1 <u>Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen</u>

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

KA Warburg Ozonung

KA Öhringen PAK-Dosierung

KA Böblingen-Sindelfingen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Lahr PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Hechingen PAK-Dosierung

KA Westerheim GAK-Filtration

KA Laichingen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Steinhäule PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Albstadt-Lautlingen PAK-Dosierung

KA Albstadt-Ebingen PAK-Dosierung in Ausgleichs- und Kontaktbecken

KA Stockacher Aach PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Langwiese PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Kressbronn-Langenargen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

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 Hörstel

Die Auswertung der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Betriebstagebücher der Kläranlage Hörstel erfolgt für den Zeitraum 01.01.2014 bis 31.12.2016.

4.1 Zulauf der Kläranlage

Die Tageszulaufmengen liegen für die Jahre 2014 bis 2016 nicht vor. Allerdings können die im Ablauf gemessenen Ablaufmengen für eine Auswertung herangezogen werden, da diese den Zulaufwerten entsprechen. Da es 2014 laut Kläranlagenbetreiber Probleme bei der elektronischen Datenübermittlung des Magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID) gab, werden die Werte aus 2014 nicht für die Auswertung berücksichtigt. Die Tagesablaufmengen von 2015 bis 2016 sind in Abbildung 4-1 gezeigt. Die mittlere Ablaufmenge betrug 3451 m³/d.

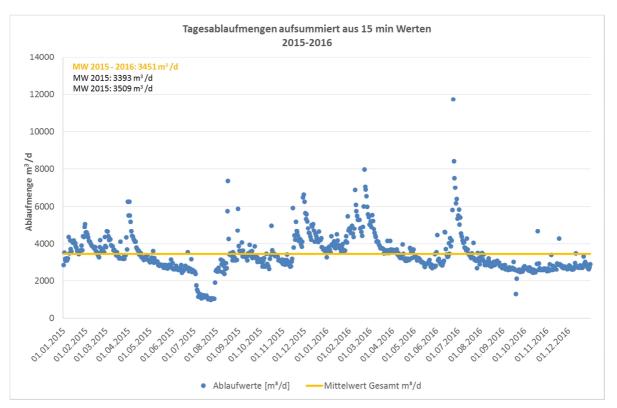


Abbildung 4-1: Tagesablaufmenge der KA Hörstel 2015-2016

Die Messstelle für die Parameter CSB, BSB₅, N_{ges} und PO₄-P im Kläranlagenzulaufs befindet sich im Ablauf der Vorklärung. Da die mittlere Durchflusszeit nahezu immer größer als 2 Stunden ist, sind hohe Eliminationsleistungen bei den Kohlenstofffrachten sowie den abfiltrierbaren Stoffen zu erwarten. Da keine Untersuchungsergebnisse von korrespondierenden Rohwasserfrachten und Abwasserfrachten im Ablauf der Vorklärung vorliegen, kann die Eliminationsleistung nur über Literaturwerte abgeschätzt wer-

den (16). In der nachfolgenden Tabelle sind die in den ATV-DVWK-Arbeitsblättern A 131 (1991) und A 131 (2000) angegebenen Wirkungsgrade in Abhängigkeit der Durchflusszeit zusammengestellt.

Tabelle 4-1: Wirkungsgrad der Vorklärung (Literatur: ATV-A 131-Alt/Neu) (16) (42)

Parameter	Wirkungsgrad der Vorklärung							
	n	ach A 131 (199 [,]	nach A 131 (2000)					
	0,5 - 1,0 h	1,0 - 1,5 h	0,5 - 1,0 h	1,5 - 2,0 h				
CSB	17 %	25 %	33 %	25 %	33 %			
BSB ₅	17 %	25 %	33 %	25 %	33 %			
TS ₀	43 %	50 %	57 %	50 %	64 %			
TKN	9 %	9 %	9 %	9 %	9 %			
P _{ges.}	8 %	8 %	8 %	11 %	11 %			

Unter Berücksichtigung der langen Durchflusszeiten werden für die Berechnung der Rohabwasserfrachten folgende Eliminationsleistungen für die vorhandene Vorklärung angesetzt (16):

- · CSB-Elimination = 35 %
- ⋅ BSB₅-Elimination = 35 %
- · TNb-Elimination = 10 %
- · P_{ges.}-Elimination = 25 %

In Tabelle 4-2 sind die Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage Hörstel sowie die aus dem bemessungsrelevanten 85 %-Perzentil ermittelten angeschlossenen Einwohnerwerte [EW] und die Auslastung für die Jahre 2015 bis 2016 zusammengefasst.

Tabelle 4-2: Tagesschmutzfrachten und Einwohnerwerte der KA Hörstel 2015-2016

2015							
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %- Perzentil (Q; Vorklärung > 2,0 h)	Auslastung bei 40000 EW Ausbaugröße (Qi Vorklärung > 2 ,0 h)			
Einheit	kg/d	kg/d	EW				
BSB ₅	1.069	1.349	34.602	87%			
CSB	1.804	2.231	28.599	71%			
N _{ges}	243	298	30.123	75%			
PO ₄ -P	27	36	26.632	67%			
		201	16				
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %- Perzentil (Q; Vorklärung > 2,0 h)	Auslastung bei 40000 EW Ausbaugröße (Qi Vorklärung > 2 ,0 h)			
Einheit	kg/d	kg/d	EW				
BSB ₅	1.176	1.466	37.581	94%			
CSB	1.745	2.116	27.128	68%			
N _{ges}	236	273	27.606	69%			
PO ₄ -P	26	31	22.763	57%			

Die Kläranlage Hörstel ist im Vergleich zu ihrer Ausbaugröße von zurzeit 40.000 EW in Bezug auf den bemessungsrelevanten Parameter CSB zu 68 bis 71% ausgelastet. Für den Parameter N_{ges} ergab sich für den Zeitraum 2015-2016 eine Auslastung von 69-75 % und für P_{ges} eine Auslastung von 57-67 %. Berechnungen im Rahmen dieser Studie ergeben für die Jahre 2015 bis 2016 einen Einwohnerwert von B_{d,CSB} = 27.864 EW₁₂₀ (vergl. Tabelle 4-2). ELWAS-Web gibt für Jahre 2010-2015 die Auslastung mit etwa 26.000 EW an (22). Zur Ermittlung der Einwohnerwerte für den "Genehmigungsantrag zur Außerbetriebnahme des Faulbehälters auf der Kläranlage Hörstel" wurde vom Ingenieurbüro FRILLING+ROLFS die Betriebstagebücher von 2014 bis 2016 detailliert statistisch ausgewertet. Ein Wert von B_{d,CSB} = 26.170 EW₁₂₀ wurde ermittelt (43). Die Auslastung beträgt somit bezogen auf die Ausbaugröße von 40.000 EW 65 bis 70 %.

4.2 Belebung

Auf der Kläranlage Hörstel wird eine biologische Reinigung, bestehend aus Selektorbecken (120 m³), Bio-P-Becken (1.460 m³) und drei Nitri-/Denitrifikationsbecken (1 x 2.700 m³ und 2 x 3.000 m³), betrieben. Die Abtrennung des Belebtschlammes vom gereinigten Abwasser erfolgt in 2 horizontal durchströmten Nachklärbecken (2 x 2.268 m³). Das Schlammvolumen und der Trockensubstanzgehalt sind in Abbildung 4-2: gezeigt. Das Schlammvolumen unterliegt in den Jahren 2014 und 2016 stärkeren Schwankungen (maximal: 780 ml/l, minimal: 360 ml/l). Der Mittelwert beträgt 562 ml/l. Der Trockensubstanzgehalt liegt im Mittel bei 3,5 g/l. Ab Herbst 2015 steigt der Trockensubstanzgehalt deutlich bis zu einem Maximum von 5,4 g/l an (siehe oranger Kreis). Im Frühjahr und Sommer 2016 sinkt der Wert wieder ab. Das Schlammvolumen zeigt in diesem Zeitraum den gleichen Anstieg. Der aus dem Schlammvolumen und dem Trockensubstanzgehalt berechnete Schlammindex (Abbildung 4-2:) unterliegt den gleichen Schwankungen wie das Schlammvolumen und liegt im Mittel bei 154 ml/g (maximal: 215 ml/g, minimal: 115 ml/g). Jeweils im Frühjahr ist ein Anstieg der ansonsten relativ konstanten Werte von < 150 ml/g auf Werte von 180 bis 215 ml/g festzustellen. Innerhalb kurzer Zeit sinken die Werte wieder auf den Ausgangbereich ab.

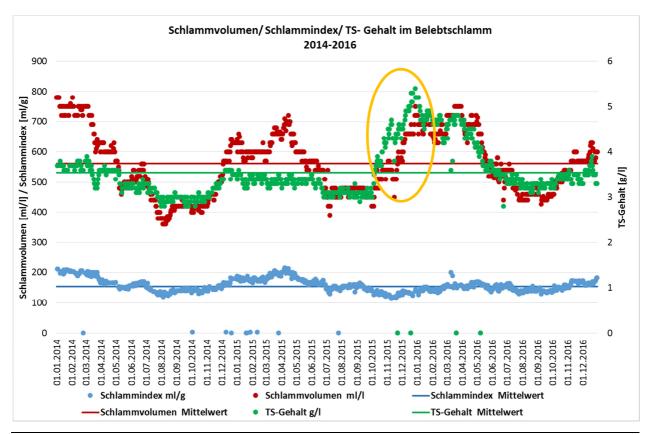


Abbildung 4-2: Schlammvolumen, Trockensubstanzgehalt und Schlammindex im Belebtschlamm der KA Hörstel

4.3 Kläranlagenablauf

In Abbildung 4-3: ist die CSB-Konzentration und BSB₅-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Hörstel in den Jahren 2014 bis 2016 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 29 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 39 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 56 mg/l wird von der Kläranlage Hörstel sicher eingehalten. Der erklärte Wert von 40 mg/l wurde ebenfalls eingehalten. Der Mittelwert der BSB₅-Konzentration liegt bei 3 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 8 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 10 mg/l wird von der Kläranlage Hörstel sicher eingehalten.

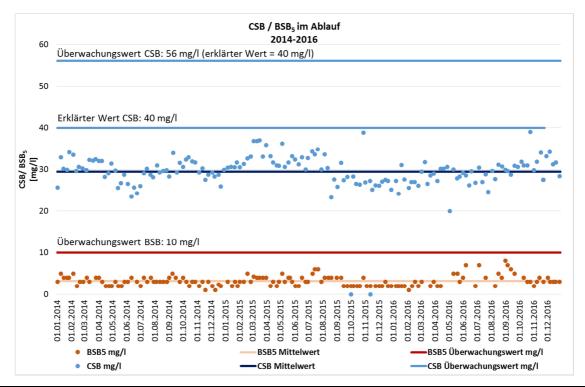


Abbildung 4-3: CSB-und BSB₅- Konzentrationen im Ablauf der KA Hörstel

Der Gesamtgehalt an anorganisch gebundenem Stickstoff (N_{anorg}) liegt im Mittel bei 5,8 mg/l (Abbildung 4-4:). Maximal wurde eine Konzentration von 13,7 mg/l bei einer Abwassertemperatur vom < 12° C gemessen. Damit wird auch hier der Überwachungswert (18 mg/l bei $T \ge 12$ °C) sicher eingehalten. Die Temperaturganglinie des Belebungsbeckens 3 wurde zusätzlich in Abbildung 4-3: mit aufgenommen.

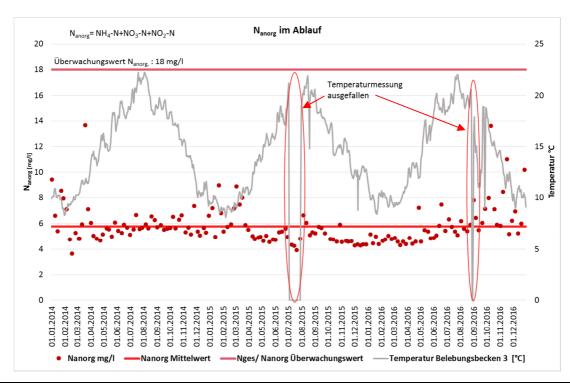


Abbildung 4-4: N_{anorg}-Konzentrationen im Ablauf der KA Hörstel

Abbildung 4-5: zeigt die NH_4 -N-Konzentration im Kläranlagen Ablauf. Im Mittel beträgt die Konzentration 0,9 mg/l, wobei die Konzentration im Winter höher ist als im Sommer. Der Überwachungswert von 4 mg/l bei $T \ge 12$ °C wird sicher eingehalten. Bei den Konzentrationen größer 4 mg/l im Ablauf lag die Temperatur in der Belebung unterhalb von 12°C.

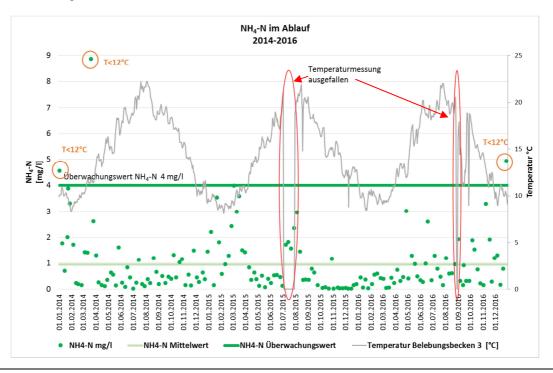


Abbildung 4-5: NH₄-N-Konzentrationen im Ablauf der KA Hörstel

Die PO₄-P -Konzentration im Ablauf der KA Hörstel ist in Abbildung 4-6: dargestellt. Die Konzentration liegt im Mittel bei 0,18 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 0,4 mg/l gemessen. Damit werden der Überwachungswert von 1 mg/l sicher und auch der erklärte Wert von 0,5 mg/l eingehalten.

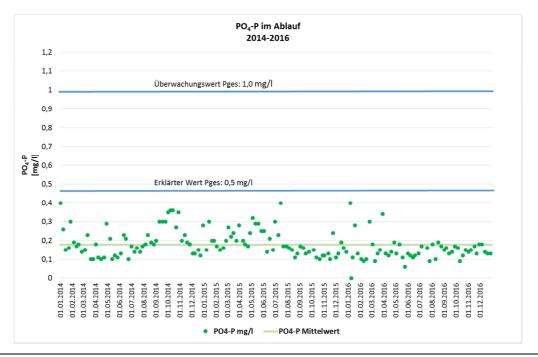


Abbildung 4-6: PO₄-P -Konzentrationen im Ablauf der KA Hörstel

Die Konzentrationen von NO₂-N im Ablauf sind in Abbildung 4-7: dargestellt. Die NO₂-N-Konzentration liegt im Mittel bei 0,09 mg/l. In der überwiegenden Zeit werden NO₂-N Konzentrationen von 0,1 mg/l unterschritten. Zwischenzeitlich können die Konzentrationen jedoch auch deutlich darüber liegen und erreichen im Betrachtungszeitraum maximal 0,25 mg/l (siehe orangener Kreis).

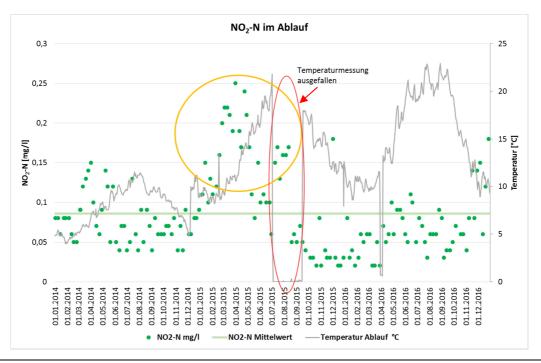


Abbildung 4-7: NO₂-N-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage Hörstel

Die NO_3 -Konzentrationen im Ablauf betragen im Mittel 4,73 mg/l und liegen maximal bei 8,95 mg/l. (vgl. Abbildung 4-8:).

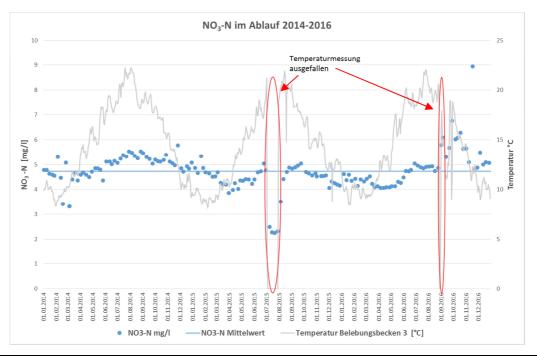


Abbildung 4-8: NO₃-N-Gehalt im Ablauf der KA Hörstel

4.4 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe

Die KA Hörstel ist mit aktuell 28.000 EW in Bezug auf den CSB zu etwa 70 % ausgelastet (Ausbaugröße 40.000 EW). So wird durchweg ein sehr gutes Reinigungsergebnis erreicht. Alle Überwachungswerte werden sicher eingehalten.

Generell ist es für den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe wünschenswert, dass 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. 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 nie mehr als 39 mg/l, im Mittel liegt sie bei 29 mg/l. Die Reinigungsleistung ist damit als sehr gut einzustufen. Die NO₂-N-Konzentrationen schwanken teilweise stark, daher ist es wichtig, die Phasen mit erhöhtem Nitritgehalt im Abwasser bei der Auslegung der 4. Reinigungsstufe (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Ozon) zu berücksichtigen.

4.5 Untersuchungen der Vorfluter

4.5.1 <u>Bisherige Untersuchungen des Vorfluters</u>

Die "Allgemeinen chemischen und physikalischen Parameter" (ACP) des Vorfluters der Kläranlage Hörstel wurde zwischen 2014 und 2016 zweimal jährlich in einem rollierenden System untersucht. Die Untersuchungen erfolgten im Dezember und Mai 2014, im Januar und Juni 2015 und im Februar und Juli 2016 durch das "Hygiene Institut des Ruhrgebiets - Institut für Umwelthygiene und Toxikologie". Die behördlich angeordneten Probenahmestellen I3 (Hörsteler Aa unterhalb Einleitungsstelle der KA Hörstel) und I4 (Hörsteler Aa oberhalb Einleitungsstelle der KA Hörstel) sind in Abbildung 4-9 dargestellt.

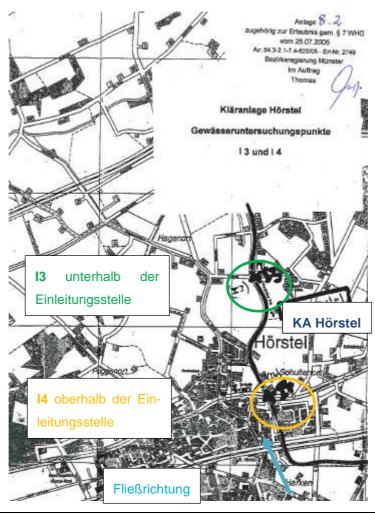


Abbildung 4-9: Probenahmestellen I3 und I4 oberhalb und unterhalb der KA Hörstel (44)

Die wesentlichen Untersuchungsergebnisse (Mittelwerte von 2014-2016) sind in Tabelle 4-3 zusammengefasst. Die vollständigen Analyseergebnisse des Vorfluters sind im Anhang (Kapitel 7.1) der Studie zu finden. Die Berechnung der Zunahme bzw. Abnahme der jeweiligen Stoffkonzentration bezieht sich auf die Konzentration oberhalb der Einleitungsstelle in die Hörsteler Aa.

Tabelle 4-3: Ergebnisse der Untersuchungen der ACP's des Vorfluters

		Mittelwert	Mittelwert	Mittelwert	
Parameter	Einheit	2014-2016	2014-2016	2014-2016	
		Ibbenbürener	Ibbenbürener	2014 2010	
				Zu-/ Abnahme	
		Hörstel	Hörstel		
Chlorid	mg/l	5911,67	5516,67	-6,7%	
NO ₃ -N	mg/l	4,59	4,49	-2,3%	
NO ₂ -N	mg/l	0,94	0,51	-45,8%	
NH ₄ -N	mg/l	1,75	1,53	-12,6%	
Phosphor	mg/l	0,094	0,090	-4,3%	
TOC	mg/l	7,10	7,15	0,7%	
BSB₅	mg/l	3,40	3,15	-7,4%	

Die Messungen zeigen für die Parameter Chlorid, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, Phosphor und BSB₅ eine Konzentrationsabnahme unterhalb der KA Hörstel. Die Analyse der TOC Konzentration weißt nach der Einleitung von Abwässern der KA Hörstel eine minimale Zunahme der Werte auf. Die Messungen oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle zeigen keine wesentlichen negativen Veränderungen durch die Einleitung der KA Hörstel.

Laut dem 3. Änderungsbescheid der Stadt Hörstel ist die PERLODES-Untersuchung des Makrozoobenthos, als Selbstüberwachung nach §60 bei der KA Hörstel nicht sinnvoll (23). Dies ist mit der Einleitung salzbelasteter Grubenwässer der RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH in die Hörsteler Aa zu begründen, wodurch diese ab der Einleitungsstelle weitgehend verödet ist (23).

4.5.2 <u>Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie</u>

Auf Grundlage der Broschüre "Mikroschadstoffentfernung machbar?", veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (45), wurde für den Vorfluter, den Zulauf der Biologie und Ablauf der Nachklärung ein Messprogramm festgelegt. Die Analytik wurde durch die Wessling GmbH durchgeführt. Im Vorfluter erfolgte ein Monitoring mit 2 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle, wobei die Proben als qualifizierte Stichprobe gezogen wurden. Die Messstellen liegen einmal oberhalb (I4) und einmal unterhalb (I3) des Kläranlageneinlaufs in die Hörsteler Aa (siehe Abbildung 4-9).

Insgesamt wurden im Vorfluter 9 Parameter untersucht, unteranderem Spurenstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel und Antibiotika und Korrosionsschutzmittel. Das Messprogramm und die untersuchten Parameter sind Tabelle 4-4 zu entnehmen.

Tabelle 4-4: Messprogramm Monitoring Analytik Hörsteler Aa

Stoffgruppe	Parameter	Hörsteler Aa oberhalb der Kläranlage	Hörsteler Aa unterhalb der Kläranlage	
	Carbamazepin	2x	2x	
Arzneimittel-	Diclofenac	2x	2x	
wirkstoffe	Metroprolol	2x	2x	
	Sulfamethoxazol	2x	2x	
Biozide/PSM	Terbutryn	2x	2x	
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotrialzol	2x	2x	
	Benzo(a) pryren	2x	2x	
	Bor	2x	2x	
	Bromid	2x	2x	

Die Probenahmen erfolgten jeweils am 16.3. und 08.08.2017. Die Ergebnisse der Messungen in der Hörsteler Aa sind in Tabelle 4-5 zusammengefasst. Die Berechnung der Zunahme der jeweiligen Stoff-konzentration bezieht sich auf die Konzentration oberhalb der Einleitungsstelle in die Hörsteler Aa. Als Referenz zur ersten Einordnung der Ergebnisse wurden, soweit möglich, gesetzliche oder angestrebte Grenz- und Orientierungswerte angegeben.

Tabelle 4-5: Monitoring Ergebnisse Vorfluter

Datum Bericht		13.04.2017	14.04.2017		28.08.2017	28.08.2017					
Datum Probenahme		16.03.2017	16.03.2017		08.08.2017	08.08.2017					
Messstelle		I4 Oberhalb Einleitung	I3 Unterhalb Einleitung	Zu- nahme*	I4 Oberhalb Einleitung	I3 Unterhalb Einleitung	Zu- nahme*	Mittel- wert I4	Mittel- wert 13	wert Zu	Orientier- ungswert (OW) oder Jahres- Mittelwert (JMW)***
Parameter	Einheit	t									
Elemente											
Bor (B)	mg/I	0,3	0,31	3%	0,25	0,26	4%	0,275	0,285	4%	0,1
Kationen, Anionen und Nichtmetalle											
Bromid	mg/I	3,1	3,1	0%	4,1	3,9	-5%	3,6	3,5	-2%	
aromatische Kohlenwasser-stoffe (PAK)											
Benzo(a)pyren	μg/I	<0,02	<0,02	0%	<0,02	<0,02	0%	0,02	0,02	0%	0,05
Korrosion- schutzmittel											
Benzotriazol	μg/I	1,5	1,9	27%	0,84	1,4	67%	1,17	1,65	47%	10
Arzneimittel- Rückstände											
Carbamazepin	μg/I	0,068	0,12	76%	0,13	0,2	54%	0,099	0,16	65%	0,5
Diclofenac	μg/I	0,3	0,45	50%	0,6	1,4	133%	0,45	0,925	92%	0,1
Sulfamethoxazol	μg/I	<0,025	0,03	20%	0,051	0,07	37%	0,051	0,05	29%	0,15
Metoprolol	μg/I	0,26	0,43	65%	0,63	0,72	14%	0,445	0,575	40%	7,3
Biozide/PSM											
Terbutryn	μg/I	<0,025	<0,025	0%	<0,025	<0,025	0%	0,025	0,025	0%	0,065
*Bei Werten < Bestimmungsgrenze (<bg) angenommen.<="" bestimmungsgrenze="" die="" td="" wurde=""></bg)>											
** Der angegebene	Mittelw	ert Zunahm	e setzt sich	aus den	einzelnen Z	unahmen je	Messdu	rchgang	zusam	men	
***(Anlage D4 zur WRRL NRW, www.flussgebiete.nrw.de, Stand 04/2014); angepasst nach OGewV 2016 (soweit relevant)											

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

Referenzwert unterschritten

Referenzwert überschritten

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

Aa bereits vorher stark erhöht waren. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nur um zwei Stichproben handelt – eine zuverlässige Bewertung kann auf dieser Basis nicht getroffen werden.

4.6 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

4.6.1 Bisherige Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und –zulaufs

Bei den Untersuchungen des Kläranlagenablaufs (Messstellennummer 41802100501) im Rahmen der LANUV-Überwachung der Kläranlage Hörstel konnten in den Jahren 2014-2016 keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

4.6.2 <u>Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie</u>

Die Untersuchungen des Zulaufs der Biologie und des Ablaufs der Nachklärung erfolgte nach einem festgelegten Messprogramm auf Grundlage der Broschüre "Mikroschadstoffentfernung machbar?", veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (45). Die Analytik wurde durch die
Wessling GmbH durchgeführt. Auf der Kläranlage befindet sich jeweils eine Messstelle im Zulauf der
Biologie und im Ablauf der Nachklärung und die Probenentnahme wurde als 24h-Mischprobe entnommen. Es erfolgte ein Screening mit 2 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle und ein anschließendes Monitoring mit 5 Untersuchungen bei Trockenwetter je Messstelle.

Insgesamt wurde die Untersuchung von 47 Parametern im Kläranlagenablauf und -zulauf beauftragt, zum einen allgemeine chemische Parameter (ACPs), zum anderen Spurenstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel, Antibiotika oder auch Röntgenkontrastmittel und Korrosionsschutzmittel. Die Messprogramme und die untersuchten Parameter sind Tabelle 4-6 und Tabelle 4-7 zu entnehmen.

Tabelle 4-6: Messprogramm Screening Analytik des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Stoffgruppe	Parameter	Zulauf Biologie	Ablauf NKB
	Carbamazepin	2x	2x
	Ciprofloxacin	2x	2x
	Diclofenac	2x	2x
Arzneimittel-	Gabapentin	2x	2x
wirkstoffe	Metroprolol	2x	2x
	Guanylharnstoff	2x	2x
	Sartane	2x	2x
	Sulfamethoxazol	2x	2x
Däntern	Amidotrizoesäure	-	2x
Röntgen-	lopamidol	-	2x
kontrastmittel	lopromide	-	2x
Östrogene	A-YES, YES oder ER CLLUX	2x	2x
/	Mecoprop	2x	2x
Biozide/PSM	Terbutryn	2x	2x
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotrialzol	2x	2x
DEC	Perfluoroctansäure (PFOA)	2x	2x
PFC	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS	2x	2x
Duftstoffe	HHCB (Galaxolide)	2x	2x
Süßstoffe	Acesulfam	2x	2x
	Benzo(a)pryren	-	2x
	Bor	-	2x
	Bromid	-	2x
	BSB5	-	2x
	pH-Wert	-	2x
	Leitfähigkeit	-	2x
	Chlorid	2x	2x
	Nitrat-N	-	2x
	ortho-Phosphat	-	2x
ACP	Sulfat	2x	2x
	Stickstoff ges. gebunden (TNb)	-	2x
	Ammoium-N	-	2x
	Phosphor ges.	-	2x
	Säurekapazität bis pH 4,3	-	2x
	тос	-	2x
	DOC	-	2x

Tabelle 4-7: Messprogramm Monitoring Analytik des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Stoffgruppe	Parameter	Zulauf Biologie	Ablauf NKB
	Carbamazepin	5x	5x
Arzneimittel-	Diclofenac	5x	5x
wirkstoffe	Metroprolol	5x	5x
	Sulfamethoxazol	5x	5x
Röntgen-	Amidotrizoesäure	-	5x
kontrastmittel	lopromide	-	5x
Biozide/PSM	Terbutryn	5x	5x
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotrialzol	5x	5x
Duftstoffe	HHCB (Galaxolide)	-	5x
Süßstoffe	Acesulfam	-	5x
	Benzo(a)pryren	-	5x
	Bor	-	5x
	Bromid	-	5x

Die Probennahmen des Screening erfolgten jeweils am 16.03.2017 und am 8.8.2017. Aus dem Vergleich der Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Spurenstoffe und die weiteren Parameter berechnet werden. Falls ein Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, wurde die Bestimmungsgrenze zur Berechnung der Eliminationsraten herangezogen. Diese Eliminationsraten entsprechen der Verringerung der Spurenstoffkonzentrationen während der Behandlung in der Kläranlage. Sie entstehen jedoch vermutlich nicht nur durch den Abbau der Spurenstoffe, sondern dürften teilweise auch durch eine Adsorption der Spurenstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Die mittlere Eliminationsrate wurde als Mittelwert der einzelnen Eliminationsraten angegeben. Zu beachten ist, dass die ermittelten Eliminationsleistungen der einzelnen Messungen untereinander teilweise stark abweichen, so dass hier keine eindeutige Aussage getroffen werden kann. Die Ergebnisse der Messungen sowie sie berechneten Eliminationsraten sind in Tabelle 4-8 aufgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich auch in Kapitel 7.3.1.

Tabelle 4-8: Screening: Messergebnisse und berechnete Eliminationsraten

Datum Bericht		13.04.2017			28.08.2017	28.08.2017				
Datum Probenahme		16.03.2017	16.03.2017		08.08.2017	08.08.2017				
		Zulauf	Ablauf Nachklär-	Elimi- nations-	Zulauf	Ablauf Nachklär-	Elimi- nations-	Mittel- wert Zulauf	Mittel- wert Ablauf Nach-	Mittel- wert Elimi- nations-
Messstelle		Biologie	becken	leistung	Biologie	becken	leistung	Biologie	klärbecken	leistung
Parameter	Einheit									
Physikalische										
Untersuchung										
pH-Wert		-	7,7		-	7,9			7,8	
Leitfähigkeit	μS/cm	-	1300		-	1200			1250	
Summenparameter										
BSB5	mg/l	-	<5,0		-	<3,0			<bg< td=""><td></td></bg<>	
DOC	mg/l	-	11		-	11			11	
тос	mg/l	-	13		-	13			13	
Perfluorierte										
Carbon- und										
Sulfonsäure										
PFOA	μg/l	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<bg< td=""><td><bg< td=""><td></td></bg<></td></bg<>	<bg< td=""><td></td></bg<>	
PFOS	μg/l	<0,05	<0,05		<0,1	<0,05		<bg< td=""><td><bg< td=""><td></td></bg<></td></bg<>	<bg< td=""><td></td></bg<>	
Kationen, Anionen										
und Nichtmetalle										
NH4	mg/l	-	4,7		-	0,22			2,46	
NH4-N	mg/l	-	3,6		-	0,17			1,885	
Br	mg/l	-	<0,5		-	0,1			0,3	
NO3	mg/l	-	23		-	25			24	
NO3-N	mg/l	-	5,20		-	5,6			5,4	
PO4	mg/l	-	<0,03		-	0,09			0,06	
PO4-P	mg/l	-	<0,01		-	0,03			0,02	
TNb	mg/l	-	7		-	6,8			6,9	
P ges.	mg/l	-	0,06		-	0,14			0,1	
SO4	mg/l	77	100	-30%	71	100	-41%	74	100	-35%
Cl	mg/l	190	190	0%	190	190	0%	190	190	0%
Polycyclische										
aromatische										
Kohlenwasser-										
stoffe (PAK)										
Benzo(a)pyren	μg/l	-	<0,02		-	<0,02			<bg< td=""><td></td></bg<>	
Chemische			,			,				
Untersuchung										
Säurekapazität, pH										
4,3	mmol/l	_	4,5		_	4,0			4,3	
Elemente			.,-			.,-			-,-	
Bor (B)	mg/l	-	0,11	1	-	0,13			0,12	
סטו (ט)	1116/1		0,11			0,13			0,12	

								Mittel-	Mittelwert	Mittel-
			Ablauf	Elimi-	~	Ablauf	Elimi-	wert	Ablauf	wert Elim
		Zulauf	Nachklär-	nations-	Zulauf	Nachklär-	nations-	Zulauf	Nach-	nations-
Messstelle		Biologie	becken	leistung	Biologie	becken	leistung	Biologie	klärbecken	leistung
Parameter	Einheit									
Arzneimittel-										
Rückstände										
Carbamazepin	μg/l	1,2	1,1	8%	1,1	1,3	-18%	1,15	1,2	-5%
Gabapentin	mg/l	0,012	0,0044	63%	0,033	0,0012	96%	0,0225	0,0028	80%
Guanylharnstoff	mg/l	<0,000025	0,037	-147900%	0,00036	0,028	-111900%	0,00036	0,0325	-129900%
Candesartan	μg/l	1,7	1,6	6%	2,8	4,4	-57%	2,25	3	-26%
Diclofenac	μg/l	5	4,1	18%	5,9	4,2	29%	5,45	4,15	23%
Irbesartan	μg/l	0,45	0,58	-29%	0,83	0,58	30%	0,64	0,58	1%
Sulfamethoxazol	μg/l	0,51	0,25	51%	1,1	0,84	24%	0,805	0,545	37%
Metoprolol	μg/l	4,3	3,5	19%	5,5	2,6	53%	4,9	3,05	36%
Sotalol	μg/l	0,85	0,56	34%	0,65			0,75	0,56	34%
Ciprofloxacin	μg/l	1,7	0,12	93%	1,3	0,11	92%	1,5	0,115	92%
Clarithromycin	μg/l	1,3	0,54	58%	0,33	<0,025	92%	0,815	0,2825	75%
Biozide/										
Pflanzenschutz-										
mittel-Rückstände										
Mecoprop	μg/l	0,13	0,31	-138%	0,35	0,25	29%	0,24	0,28	-55%
Terbutryn	μg/l	<0,05	<0,025	50%	0,11	0,071	35%	0,08	0,048	43%
Korrosions-										
schutzmittel										
Benzotriazol	μg/l	57	13	77%	20	11	45%	38,5	12	61%
Süßstoffe										
Acesulfam K	mg/l	0,038	0,00071	98%	0,042	0,00084	98%	0,04	0,000775	98%
Cyclamat	mg/l				0,14	0,00019	100%		0,00019	
Saccharin	mg/l				0,067	0,00005	100%		0,00005	
Sucralose	mg/l				0,018	0,0069	62%		0,0069	
Röntgen-					-,	-,			-,	
kontrastmittel										
Iopamidol	mg/l	_	0,00068		_	0,00098			0,00083	
Iohexol	mg/l	_	0,0015		_	0,00012			0,00081	
Iomeprol	mg/l	_	0,00026		-	<0,00012			0,0001425	
Ioxithalaminsäure	mg/l	_	0,00020		-	0,000023			0,0001425	
Amidotrizoesäure	mg/l	_	0,00013		-	0,0000			0,000033	
Iotalaminsäure	mg/l	-	<0,00014			<0,00025			<bg< td=""><td></td></bg<>	
lopromid	mg/l		0,000023		-	<0,000025			0,0000275	
loxaglinsäure		-	<0,00003		-	<0,000025			<bg< td=""><td></td></bg<>	
lodipamid	mg/l	-	<0,000025		-	<0,000025			<bg< td=""><td></td></bg<>	
	mg/l	-	~0,000023		-	~0,000023			\b0	
Duftstoffe		17	0.76	EE0/	0.70	<0.0F	0.407	1.24	0.405	740/
Galaxolid (HHCB)	μg/l	1,7	0,76	55%	0,78	<0,05	94%	1,24	0,405	74%
Östrogene Wirksamkeit EEQ/L	ng/l	0,65	<bg< td=""><td>94%</td><td>3,1</td><td>1,1</td><td>65%</td><td>1,88</td><td>0,57</td><td>79%</td></bg<>	94%	3,1	1,1	65%	1,88	0,57	79%
Bei Werten < Bestim	mungsgr	enze (<bg) td="" v<=""><td>wurde die Be</td><td>estimmungs</td><td>grenze ang</td><td>enommen.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></bg)>	wurde die Be	estimmungs	grenze ang	enommen.				

Sowohl Zunahmen als auch Abnahmen der Stoffkonzentrationen sind im Ablauf zu finden. Eine besonders hohe Reduktion ist bei Acesulfam K (MW 98 %) und Ciprofloxacin (MW 92 %) gegeben.

Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich bei Sulfit (MW -35 %), Guanylharnstoff (MW -129900 %), Irbesartan (-29 %) und Mecoprop (-138 %). Bei den Konzentrationsanstiegen könnte es sich theoretisch um eine Metabolitenrückbildung während der biologischen Behandlung des Abwassers handeln, wahrscheinlicher ist jedoch, dass das Rohabwasser wegen der hohen Schmutzkonzentrationen wesentlich schwieriger zu analysieren ist, was durch Matrixeffekte möglicherweise zu Ungenauigkeiten in den Analysenergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei den ausgewerteten Messungen um 24h-Mischprobe handelt und dass daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind. Die starke Zunahme von Guanylharnstoff lässt sich dadurch erklären, dass Guanylharnstoff das Abbauprodukt von Metformin ist. Im Normalfall ist im Zulauf die Metforminkonzentration hoch und im Ablauf nur noch gering. Bei Guanylharnstoff ist dies umgekehrt der Fall (46).

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

In Tabelle 4-9 sind die mittleren Konzentrationen einiger wichtiger Spurenstoffe, die im Ablauf der KA Hörstel nachgewiesen werden konnten, sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS und Jahresmittelwerte aus UQN/OGewV bzw. Orientierungswerte zusammengefasst. Gelb unterlegt sind Ergebnisse, die über dem Mittelwert vergleichbarer Anlagen liegen. Orange markiert sind Ergebnisse, die den Maximalwert vergleichbarer Anlagen bzw. Jahresmittelwerte oder Orientierungswerte überschreiten. Grün sind solche Werte dargestellt, die die jeweilige Referenz unterschreiten. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Spurenstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Zusätzlich finden sich die gemessenen Bromidkonzentrationen, da diese für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind.

Tabelle 4-9: Vergleich Ergebnisse der Spurenstoffanalysen mit Referenzen

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

Röntgen-								
kontrastmittel								
Iopamidol	mg/l	0,00083	0,0155	0,2500	0,0001			
Iohexol	mg/l	0,00081	0,00421	0,032				
Iomeprol	mg/l	0,0001425	0,00364	0,028	0,0001			
Ioxithalaminsäure	mg/l	0,000095	0,00015	0,0004				
Amidotrizoesäure	mg/l	0,00082	0,0049	0,029	0,0001			
Iotalaminsäure	mg/l	<bg< td=""><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>	0,0001	<0,00025				
Iopromid	mg/l	0,0000275	0,00265	0,028	0,0001			
Ioxaglinsäure	mg/l	<bg< td=""><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>	0,0001	<0,00025				
Iodipamid	mg/l	<bg< td=""><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>	0,0001	<0,00025				
Duftstoffe								
Galaxolid (HHCB)	μg/l	0,405	0,00109	0,0024	7			
Bei Werten < Bestir	nmungsg	grenze (<bg) td="" wu<=""><td>ırde die Besti</td><td>immungsgrenz</td><td>e angenommen.</td></bg)>	ırde die Besti	immungsgrenz	e angenommen.			
*Referenzwerte ve					•			
**(Anlage D4 zur W	RRL NRW	/, www.flussgel	biete.nrw.de	, Stand 04/201	4); angepasst			
nach OGewV 2016 (soweit relevant)								
	Referenzwert(e) unterschritten							
	Referen	Referenzwerte Mittelwert Ablauf überschritten, aber Maximalwert						
	Ablauf ເ	unterschritten o	der gleich					
	Referen	zwert(e) übers	chritten					

Die Ergebnisse zeigen für mehrere Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Carbamazepin, Diclofenac, Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure). Auffällig sind auch die verhältnismäßig hohen Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) wichtig sind. Die Datenlage für einige Parameter ist nur sehr dünn, so dass die Vergleichswerte hier mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Zur sicheren Vergleichbarkeit sind weitere Daten erforderlich.

Auf Basis der Ergebnisse wurde ein Monitoring durchgeführt, dessen Ergebnisse (Mittelwerte) in der folgenden Tabelle 4-10 zusammengefasst sind. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in Kapitel 7.3.2. Aus verfahrenstechnischen Gründen wurden durch die Wessling GmbH, im Vergleich zum Monitoring-Messprogramm, einige zusätzliche Parameter (Röntgenkontrastmittel) analysiert.

Tabelle 4-10: Ergebnisse des Monitorings des Kläranlagenzulaufs und –ablaufs

					Refe	Orientier-	
Messstelle		Mittelwert Zulauf Biologie	Mittelwert Ablauf Nach- klärbecken	Mittelwert Elimi- nations- leistung	Mittelwert Ablauf	Maximalwert Ablauf	ungswert (OW) oder Jahres- Mittelwert (JMW)**
Parameter	Einheit	Diologic	RIGIDECKEII	icistung	Abidai	Abidui	(Sivier)
Kationen, Anionen und	Lillieit						
Nichtmetalle							
Bromid	mg/I	-	0,1				
Polycyclische							
aromatische							
Kohlenwasser-stoffe							
(PAK)							
Benzo(a)pyren	μg/I	-	<bg< td=""><td></td><td></td><td></td><td>0,05</td></bg<>				0,05
Elemente	Par						-,
Bor (B)	mg/I	-	0,262				0.1
Arzneimittel-	6/ *		3,202				0,1
Rückstände							
Carbamazepin	μg/I	1,22	1,22	0%	0.8434	1,80	0,5
Diclofenac	μg/I	6,2	4,294	27%	2,33	5,30	0,1
Sulfamethoxazol	μg/I	1,76	0,972	44%	0.48	1,30	0,15
Metoprolol	μg/I	4,94	3,34	32%	2,165	9,5	7,3
Sotalol	μg/I	0,564	0,478	15%	0.37	0.76	0.1
Biozide/ Pflanzenschutz-	μg/1	0,304	0,470	1376	0,37	0,70	0,1
mittel-Rückstände							
	/I	<bg< td=""><td>0,0518</td><td>47%</td><td>0,09</td><td>0,22</td><td>0,065</td></bg<>	0,0518	47%	0,09	0,22	0,065
Terbutryn	μg/I	NDG	0,0518	4/76	0,09	0,22	0,005
Korrosionsschutzmittel	/1	20.0	44.0	F70/	F 24	4.2	10
Benzotriazol	μg/I	26,8	11,2	57%	5,34	12	10
Süßstoffe							
Acesulfam K	mg/I	-	0,000764		4,75723	45	
Röntgenkontrastmittel							
lopamidol	mg/I	-	0,000488		0,0155	0,2500	0,0001
Iohexol	mg/I	-	0,000656		0,00421	0,032	
Iomeprol	mg/I	-	0,00004		0,00364	0,028	0,0001
loxithalaminsäure	mg/I	-	0,000698		0,00015	0,0004	
Amidotrizoesäure	mg/I	-	0,000864		0,0049	0,029	0,0001
lotalaminsäure	mg/I	-	<bg< td=""><td></td><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>		0,0001	<0,00025	
lopromid	mg/I	-	0,000066		0,00265	0,028	0,0001
loxaglinsäure	mg/I	-	<bg< td=""><td></td><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>		0,0001	<0,00025	
lodipamid	mg/I	-	<bg< td=""><td></td><td>0,0001</td><td><0,00025</td><td></td></bg<>		0,0001	<0,00025	
Duftstoffe	_		_				
Galaxolid (HHCB)	μg/I	-	0,818		0,00109	0,0024	7
Bei Werten < Bestimm							
*Referenzwerte vergle	ichbarer	Anlagen (L	iteratur und	l Erfahrungs	werte Atemis	s)	
**(Anlage D4 zur WRRL	**(Anlage D4 zur WRRL NRW, www.flussgebiete.nrw.de, Stand 04/2014); angepasst nach OGewV 2016						
(soweit relevant)							
	Refere	nzwert(e) ur	nterschritter	1			
	Refere	nzwerte Mit	telwert Abla	auf überschr	itten, aber N	Naximalwert A	blauf
	unterso	hritten ode	rgleich				
	Refere	nzwert(e) üb	perschritten				

Die Ergebnisse des Monitoring weichen nicht wesentlich von den Messwerten des Screenings ab. Lediglich die Konzentration der Ioxithalaminsäure im Ablauf ist so hoch, dass nun der Maximalwert vergleichbarer Anlagen überschritten wird. Wie bereits im Screening fällt die verhältnismäßig hohe Bromidkonzentration auf.

4.7 Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf der KA Hörstel

In Tabelle 4-11 sind die möglichen Verfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf der KA Hörstel nachgewiesenen Spurenstoffe zusammengefasst. Es zeigt sich, dass keines der Verfahren alle nachgewiesenen Spurenstoffe gleich gut entfernen kann. Für einige Stoffe gibt es zurzeit überhaupt keine befriedigenden Eliminationsverfahren (z.B. Amidotrizoesäure).

Tabelle 4-11: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der KA Hörstel gefundenen Spurenstoffe

		Bewertung der	Eliminationsleistun	ng		
	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
		An	tibiotika	•		
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
		Bet	ablocker			
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
		He	ormone			
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 H	umanpharmaka			
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht
		Röntgen	kontrastmittel			
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig
		Zucker	rersatzstoffe			
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
		weitere	Spurenstoffe			
Terbutryn	+	+	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht

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

Insgesamt wurde auf der KA Hörstel ein umfassendes Spektrum an Spurenstoffen untersucht. Die Analysenergebnisse tragen dazu bei, eine bessere Bestandsaufnahme hinsichtlich der Spurenstoffeinträge in Oberflächengewässer aus kommunalen Kläranlagen zu ermöglichen.

Für Terbutryn lässt sich die Eliminationsleistung bisher nur aus Laborversuchen abschätzen, es ist aber prinzipiell sowohl adsorptiv als auch oxidativ eliminierbar. Eine Ozonbehandlung zeigt bei Sulfamethoxazol und bei Clarithromycin ein gutes Eliminationsergebnis. Mit Aktivkohle ist die Adsorption von Sulfamethoxazol mäßig und von Clarithromycin gut. Metoprolol ist durch Ozonierung nur mäßig, mit Aktivkohle gut zu entfernen. Sotalol lässt sich durch Ozon gut eliminieren und zeigt ein mäßiges Adsorptionsverhalten an Aktivkohle. Für die östrogenen Hormone liegen keine Angaben für eine Behandlung mit Ozon und Aktivkohle vor, jedoch ist die Reinigungsleistung der Kläranlage auch ohne vierte Reinigungsstufe gut. Sowohl Diclofenac als auch Carbamazepin lassen sich durch Ozon gut eliminieren und durch Aktivkohle gut bis mäßig bzw. gut. Der Süßstoff Acesulfam weist ein mäßiges Eliminationsergebnis durch die Ozonbehandlung auf. Für eine Eliminierung mit Aktivkohle liegen keine Angaben vor. Die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, lomeprol und lopromid sind schlecht durch Ozonisierung zu zersetzen, während für lopamidol ein mäßiges Ergebnis zu erwarten ist. Amidotrizoesäure ist jedoch auch durch Adsorption nur schlecht zu entfernen. Die anderen Röntgenkontrastmittel zeigen ein mäßiges Eliminationsergebnis bei Verwendung von Aktivkohle. Benzotriazol ist mit Ozon mäßig, mit Aktivkohle gut bis mäßig zu entfernen.

Auch Mikroplastik gehört zu den Stoffen, deren Elimination in der 4. Reinigungsstufe zukünftig relevant sein dürfte. Die betrachteten Verfahren eignen sich hierfür nicht oder nur bedingt. Obwohl nicht ausreichend Daten vorliegen, ist davon auszugehen, dass die Ozonung unter den vorgesehenen Konditionen keinerlei Einfluss auf die Mikroplastikkonzentration hat. Die Aktivkohle würde einen Teil des Mikroplastiks adsorbieren, der Effekt würde jedoch vermutlich nicht ausreichen. Es ist allerdings zu erwarten, dass ein großer Anteil des Mikroplastiks in der Flockungsfiltration zurückgehalten würde. (12)

Insgesamt zeigt sich, dass keines der Verfahren alle nachgewiesenen Spurenstoffe gleich gut entfernen kann. Für einige Stoffe gibt es zurzeit überhaupt keine befriedigenden Eliminationsverfahren (z.B. Amidotrizoesäure). Nicht betrachtet wurde hier das spezifische Gefährdungspotenzial, das von den einzelnen Stoffen ausgeht. Darüber hinaus handelt es sich bei den Analysen um Momentaufnahmen, die keine sichere Prognose für die zukünftige Entwicklung zulassen. Zusätzlich ist vor dem Hintergrund, dass auch in Zukunft immer neue Substanzen mit verschiedenen chemisch-physikalischen Eigenschaften entwickelt werden und in Umlauf gelangen, eine Festlegung auf ein bestimmtes Vorzugsverfahren schwierig. Im Blickpunkt sollte deshalb immer die potenzielle Breitbandwirkung der Verfahren stehen.

5 Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Hörstel

5.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der KA Hörstel haben gezeigt, dass alleine anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Eine Bromidkonzentration über 0,1-0,15 mg/l kann für die Ozonung kritisch werden, da hier vermehrt kanzerogenes Bromat gebildet wird (35). Es wurden im Mittel Bromid-Konzentrationen von 0,1 mg/l gemessen. Bisher liegt jedoch keine ausreichende Datenbasis vor, so dass die Ozonbehandlung im Rahmen dieser Studie unter dem Vorbehalt niedriger Bromidkonzentrationen mitbetrachtet wird. Diese sollten vor einer weiterführenden Planung verifiziert werden.

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

Negative Einflüsse auf den Hauptstrom der Kläranlage oder die Schlammbehandlung sind bei den o.g. Verfahren nicht zu erwarten. Bei der Dosierung von PAK ist zukünftig keine Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft mehr möglich. Eine Verbrennung des entwässerten Klärschlammes ist erforderlich. Die enthaltene PAK wird den Brennwert des Klärschlammes erhöhen. Ob das Entwässerungsergebnis oder die P-Rückgewinnung wesentlich beeinflusst werden, ist noch nicht abschließend geklärt.

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	Eliminationsleistun	g						
	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				
		Bet	ablocker							
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				
		He	ormone							
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 H	umanpharmaka							
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht				
Naproxen	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig				
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	Gut	mäßig	mäßig				
Oxazepam	Gut	Gut	Gut	Gut	k.A.	k.A.				
Phenazon	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	k.A.				
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht				
		Röntgen	kontrastmittel							
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht				
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht				
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht				
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig				
		Zucker	ersatzstoffe							
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				
	<u> </u>	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: (47), (48), (49), (50), (51), (52), (53), (54), (55), 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 Kläranlage Hörstel untersucht, weil sie mit relativ wenig Aufwand (es ist wenig neue Infrastruktur erforderlich) umgesetzt werden kann (Variante 1). Durch die Dosierung der Aktivkohle in die Belebung ergibt sich automatisch eine Vollstrombehandlung. Die drei Belebungsbecken haben in Summe ein Volumen von V = 8.700 m³.

Die Nachklärung, die zur Abscheidung der Aktivkohle genutzt werden soll, hat ein Volumen von $V = 2 x 2.268 \text{ m}^3$.

Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken mit nachgeschalteter Sedimentationsstufe, 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 mit die beste Eliminationsleistung erzielt, jedoch ist auch die Verfahrensführung (Führung des Abwassers aus der Nachklärung in das Kontaktbecken, dann Sedimentationsbecken, dann Filtration) aufwändiger als bei den anderen Verfahren.

Zusätzlich wird für die KA Hörstel auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) sowie der Einsatz granulierter Aktivkohle in einer neu zu errichtenden Filteranlage (Variante 4) sowie die Kombination beider Verfahren (Variante 5) untersucht.

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Hörstel 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
- Variante 5: Ozon-Behandlung und GAK-Filtration

Optional wird für alle Verfahren vorgesehen, dass eine Flockungsfiltration als Bestandteil der 4. Reinigungsstufe integriert wird (Kap.5.4.7). Die Flockungsfiltration wird für die PAK-Dosierung in die Belebung als Vollstrombehandlung (1.090 m³/h) und die anderen Varianten als Teilstrombehandlung (490 m³/h) ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 5 wird auf 490 m³/h bemessen (siehe Kapitel 5.2.). Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von 600 m³/h vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2, 3 und 5* ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 5-1).

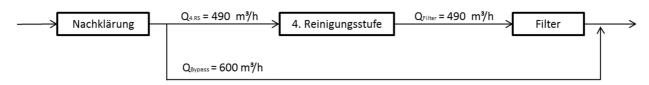


Abbildung 5-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration (Varianten 2,3 und 5*).
*Bei Variante 5 bräuchte man den Filter nur zur P- und Mikroplastikelimination.

Für Variante 4 ist die vereinfachte Verfahrensführung in Abbildung 5-2 dargestellt.

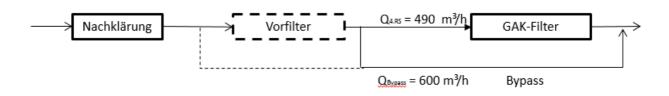


Abbildung 5-2: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration (Varianten 4)

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. In der "Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination" (35) 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. Des Weiteren ist auch die Art der Entwässerung des Einzugsgebietes (Misch- oder Trennkanalisation) relevant.

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 das Gewässer, in welches eingeleitet wird, ebenfalls zu berücksichtigen. Die Kläranlage leitet mit der Hörsteler Aa in einen relativ starken Vorfluter ein. Der Abwasseranteil der Kläranlage
Hörstel bezogen auf den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Hörsteler Aa beträgt 8 % und ist somit kleiner 1/3 MNQ (56). Sie ist ein erheblich verändertes Gewässer, das durch die Einleitung Salz- und
PCB-belasteter Grubenwässer des Bergwerks Ibbenbüren (RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH) ab Ibbenbüren biologisch weitgehend verödet ist (23; 24). Damit ist keine weitere Verschlechterung durch die Einleitung der KA Hörstel zu erwarten. Nach der Einleitung tangiert die Hörsteler Aa nach ca. 8 km noch das
Naturschutzgebiet "NSG Dreierwalder Bruchwiesen/ ST-012", bevor sie in der Ems mündet. Sie durchfließt keine Trinkwassergewinnungsgebiete.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das am Standort Hörstel durchgeführte Screening und Monitoring auf ausgewählte Spurenstoffe zeigen einige Überschreitungen der Mittel- und Maximalwerte der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen anderer Kläranlagen. Zu beachten ist, dass nicht für alle untersuchten Stoffe (gesetzliche) Referenzen vorliegen. Es sind momentan, aber auch in der absehbaren Zukunft, keine nen-

nenswerten bzw. problematischen Spurenstofffrachten aus der Industrie zu erwarten, wohl aber erhöhte Mengen an Medikamentenrückständen und Röntgenkontrastmitteln, die u.a. durch das einleitende Krankenhaus verursacht werden.

Das Einzugsgebiet wird größtenteils im Trennsystem entwässert. Nach (57) ist bei Trennsystemen mit einem begrenzten Mischwasseranteil für die Bemessung einer 4. Reinigungsstufe eine Behandlung von mindestens 90 % der Jahresabwassermenge (JAM) anzustreben, während reine Trennsysteme eine Vollstrombehandlung notwendig machen. Die Jahresschmutzwassermenge (JSM) der Kläranlage Hörstel liegt laut 4. Änderungsbescheid vom Oktober 2012 bei 1.075.000 m³, während die mittlere Jahresabwassermenge (JAM) nach ELWAS-web (22) im gleichen Zeitraum ca. 1.200.000 m³ beträgt. Der sich hieraus ergebende Anteil der JSM von ca. 90 % der JAM zeigt, dass durchaus relevante Mengen Fremdwasser vorhanden sind.

Auf der Grundlage des Vorgenannten wird die Auslegung der 4. Reinigungsstufe auf Basis des 99 %-Perzentils der stündlichen Wassermengen vorgeschlagen, entsprechend einer Anlagenkapazität von 345,3 m³/h (Ist-Zustand).

In Abbildung 5-3 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist der 99 %-Perzentilwert (entspricht 345,3 m³/h).

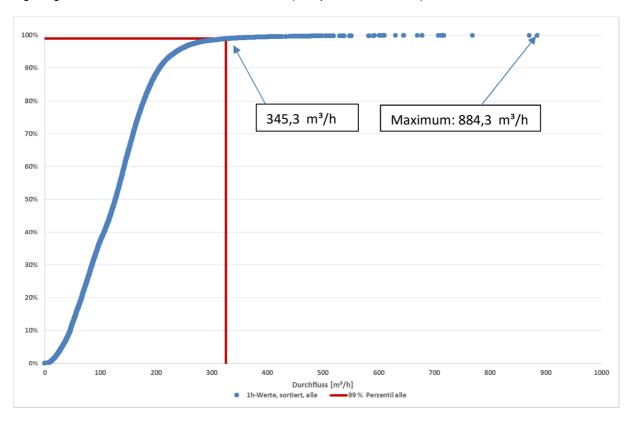


Abbildung 5-3: Stundenwerte Ablaufmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter

Im Falle der Überschreitung der Anlagenkapazität der 4. Reinigungsstufe wird nur die Differenz der Wassermenge zur Auslegungsgröße mittels Bypass an der 4. Reinigungsstufe vorbeigeführt. Die unbehandelte Wassermenge beträgt dabei weniger als 1 %, es können 99,3 % der jährlichen Abwassermenge der Kläranlage Hörstel behandelt werden. Dies entspricht einer Wassermenge von rund 1.252.417 m³/a (Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2 zeigt die behandelte und die unbehandelte Abwassermenge pro Jahr, basierend auf den Daten von Januar 2015-Dezember 2016.

Tabelle 5-2: Behandelte bzw. unbehandelte Wassermengen pro Jahr bei Auslegung auf das 99 %-Perzentil des Mischwasserzuflusses

Parameter	Einheit	Wert
Gesamtmenge	m³/a	1.261.381
Summe behandelt	m³/a	1.252.417
Anteil behandelt	%	99,3
Summe unbehandelt	m³/a	8.964
Anteil unbehandelt	%	0,7

Der sich ergebende unbehandelte Abwasseranteil von gerade einmal 0,7 % stellt, gemessen am Fremdwasseranteil von etwa 10 %, einen guten Kompromiss zwischen wirtschaftlichem Anlagenbetrieb und effektiver Reinigungsleistung dar.

Wie zuvor beschrieben (Kapitel 4.1), wurde bei der Auswertung der KA- Zulauffrachten festgestellt, dass die KA Hörstel zurzeit nicht ausgelastet ist. Die Auslastung liegt bei rund 70 %. Um auch für die Zukunft sicherzustellen, dass die Auslegung der 4. Reinigungsstufe bei maximaler Auslastung der Kläranlage Hörstel ausreichend ist, wird die ermittelte Wassermenge von 345,3 m³/h, bei der aktuellen Auslastung von rund 28.000 EW, auf die Ausbaugröße von 40.000 EW hochgerechnet. Damit ergibt sich eine Auslegungswassermenge von rund 490 m³/h.

Für die Auslegung der Filtrationsstufe (Sandfiltration, Tuchfiltration; Kapitel 5.4.7) für die PAK-Dosierung in die Belebung wird als Vollstrom die im Erlaubnisbescheid angegebene Wassermenge von 545 m³/0,5 h angesetzt, entsprechend 1.090 m³/h.

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

Auf der Kläranlage Hörstel stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind östlich des Kläranlagengebietes vorhanden. Sie sind in Abbildung 5-4 gezeigt.

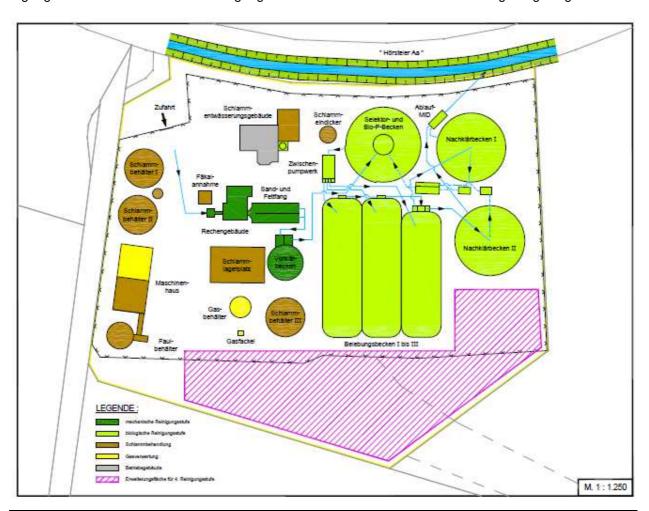
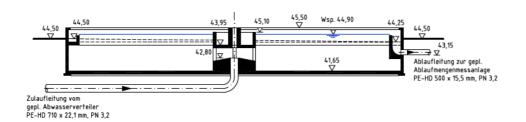
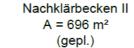


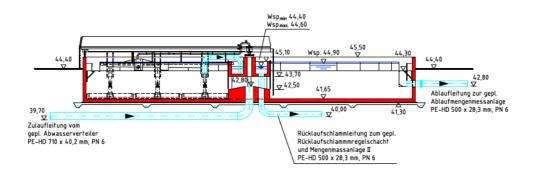
Abbildung 5-4: Erweiterungsgebiet (rot schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

Abbildung 5-5 zeigt den hydraulischen Schnitt des Bestands ab der Nachklärung (58).

Nachklärbecken I A = 687 m² (vorh.)







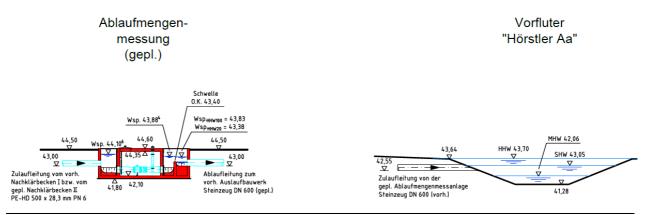


Abbildung 5-5: Hydraulischer Schnitt (Bestand ab Ablauf Nachklärung) (58)

5.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte

Für den Standort Hörstel werden, wie in Kap. 5.1 vorgeschlagen, 5 verschiedene Verfahrensvarianten genauer untersucht. Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebung, erfolgt automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Bei den Varianten 2 - 5 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms und damit eine Teilstrombehandlung.

Für die Varianten 2 - 5 wird über die gewählte Bemessungswassermenge von 490 m³/h erreicht, dass annähernd die gesamte Jahresabwassermenge in der 4. RS behandelt werden kann. Zusätzlich erfolgt die Bemessung der Verfahrensvarianten durch die geeignete Auswahl der Bemessungsparameter (Verweilzeit, Dosierraten, etc.) mit dem Ziel, dass nach jetzigem Kenntnisstand eine ausreichende Eliminationsleistung der in "Mikroschadstoffentfernung machbar? – Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination" (45) geforderten Indikatorsubstanzen (80 % Elimination vom Zulauf zur Biologie bis Ablauf 4.RS, bezogen auf die Summe der Indikatorsubstanzen) erreicht werden kann.

5.4.1 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für alle Varianten ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der Becken bzw. Filter erforderlich. Für die Varianten 2-5 ist vorgesehen, dass das Abwasser der Nachklärung mittels Trennbauwerk aufgeteilt und der zu behandelnde Abwasserstrom über ein Pumpwerk zur 4. Reinigungsstufe gefördert wird. Dabei wird der geförderte Volumenstrom für die 4. Reinigungsstufe auf die Auslegungswassermenge von 490 m³/h begrenzt. Darüber hinaus gehende Wassermengen werden im Bypass zu der neu geplanten Ablaufmengenmessung geleitet und mit dem Ablauf aus der 4. Reinigungsstufe vereinigt. Anschließend erfolgt die Einleitung in den Vorfluter. Der Abfluss der 4. Reinigungsstufe zur neu geplanten Ablaufmengenmessung ist im Freigefälle möglich. Die Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand ist am Beispiel von Variante 2 in Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 dargestellt.

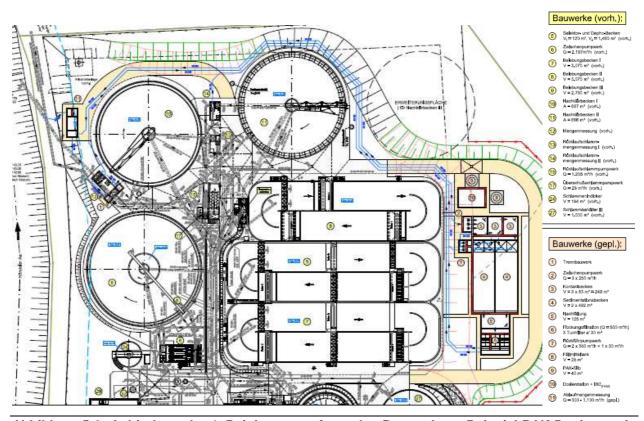


Abbildung 5-6: Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel PAK Dosierung in Kontaktbecken (Variante 2)

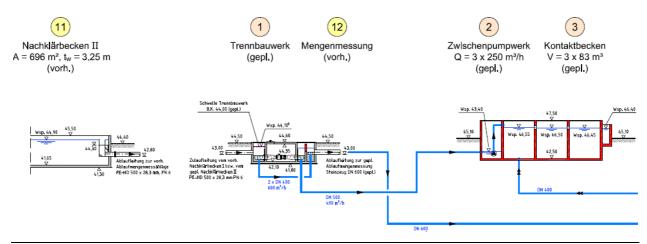


Abbildung 5-7: Hydraulischer Schnitt der Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel PAK Dosierung in Kontaktbecken (Variante 2)

5.4.2 <u>Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung</u>

Bei einer Dosierung von Pulveraktivkohle direkt in die Belebung wird die vorhandene Belebung als Kontaktbecken für die PAK und die Nachklärung als Sedimentationsstufe für die PAK genutzt. Der biologische Teil der KA Hörstel besteht aus einem Selektorbecken, einem Bio-P- / Anaerobbecken, 3 Belebungsbecken und 2 Nachklärbecken. Möglich ist eine PAK-Dosierung in die Belebungsbecken (V_{ges.} = 8.700 m³) und die Abscheidung der PAK in der Nachklärung (V =2 x 2.268 m³). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 5-8 gezeigt.

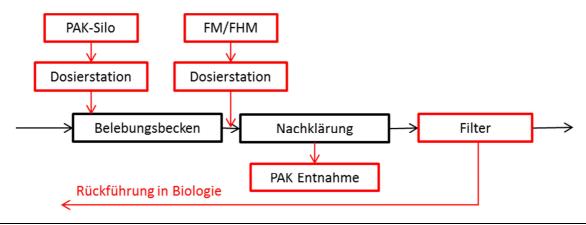


Abbildung 5-8: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Wie in Kap. 3.1.3.1 beschrieben, ist bei der direkten Zugabe der PAK in die Belebung 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 (59).

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK

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

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 Qa	1.261.381	m³/a
PAK Dosierung		
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,02	kg/m³
Jahresbedarf PAK	25.228	kg/a
Tagesbedarf PAK	69,1	kg/d

Tabelle 5-4 zeigt die Empfehlung für die Größe des PAK-Silos:

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

Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m³
Gewählte Silogröße PAK	40	m³
Nachfüllung PAK alle	9,5	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. Hierfür wird eine neu zu errichtende Flockungsfiltration benötigt, die in der Regel auch die Dosierung von FHM und Fällmittel erfordert.

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	7	mg/l
	0,007	kg/m³
Jahresbedarf Fe / Al	8.830	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	63.069	kg/a
Dichte FM (FeCl3)	1.440	kg/m³
Gewählte Silogröße FM	25	m³
Nachfüllung FM-Silo alle	6,8	Monate
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,3	mg/l
	0,0003	kg/m³
Jahresbedarf FHM	378,4	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m³
Wechsel des Gebindes	27,0	Monate

Der vorhandene Fällmittellagertank kann nicht für die 4. Reinigungsstufe genutzt werden. Eine neue Dosierstation inkl. Lagertank ist daher vorzusehen.

5.4.3 <u>Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken</u>

Eine weitere Möglichkeit, den Abwasserstrom der Kläranlage Hörstel mittels Pulveraktivkohle (PAK) zu behandeln, ist die PAK-Dosierung in eine separate Behandlungsstufe, die sich an die Nachklärung anschließt (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 Teilstromfiltration ist zur Abtrennung von Rest-PAK aus dem Ablauf der Sedimentationsstufe vorgesehen (siehe auch Kap. 5.1).

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für die Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 5-9 dargestellt.

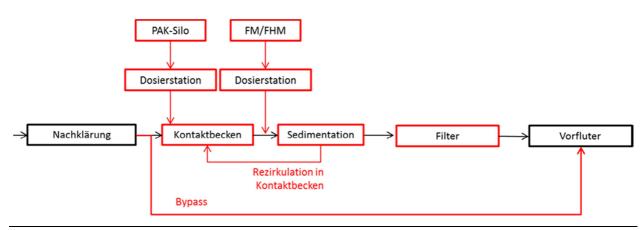


Abbildung 5-9: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

In Anlehnung an die Auslegungsempfehlung nach (35) kann für die PAK-Dosierung in Kontaktbecken, in welche vorbehandeltes, möglichst feststofffreies Abwasser zufließt, eine übliche Dosierrate (z_{PAK}) von 10 - 20 mg_{PAK}/I 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 ($t_{Qa, Sedi.}$) von 2 m/h empfohlen. Das empfohlene Rezirkulationsverhältnis liegt bei 0,5-1 (35).

Auslegung Kontaktbecken:

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

Tabelle 5-6: Auslegung Kontaktbecken, Variante 2

Auslegung Kontaktbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	490	m³/h
Kontaktzeit	30	min
	0,5	h
Erf. Volumen Kontaktbecken	245,0	m³
Wasserspiegelhöhe	4	m
Fläche Kontaktbecken (innen)	61,3	m²

Auslegung Sedimentationsbecken:

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

Tabelle 5-7: Auslegung Sedimentationsbecken, Variante 2

Auslegung Sedimentationsbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	490	m³/h
Absetzzeit	120	min
	2	h
Volumen Sedimentationsbecken	980	m³
Oberflächenbeschickung	2	m/h
Oberfläche Sedimentationsbecken	245,0	m²

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	343,0	m³/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 auch für die Varianten 3, 4 und 5, ein Bemessungsvolumenstrom von 490 m³/h angenommen, wodurch sich eine nahezu vollständige Behandlung des Hauptstromes ergibt.

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

PAK Dosierung		
Jahresabwassermenge 4. RS	1.252.417	m³
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,01	kg/m³
Jahresbedarf PAK	12.524	kg/a
Tagesbedarf PAK	34,3	kg/d
Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m³
Gewählte Silogröße PAK	40	m³
Nachfüllung PAK alle	19,2	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	1.252.417	m³
Dosiermenge Fe / Al aus FM	3	mg/l
-	0,003	kg/m³
Jahresbedarf Fe / Al	3.757	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	26.838	kg/a
Dichte FM (FeCl3)	1.440	kg/m³
Gewählte Silogröße FM	25	m³
Nachfüllung FM-Silo alle	16,1	Monate
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,2	mg/l
	0,0002	kg/m³
Jahresbedarf FHM	250,5	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m³
Wechsel des Gebindes	40,7	Monate

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

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

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

Die Pläne sind in Abbildung 5-10 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 5-11 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist als Anhang C – Pläne (Kapitel 9.1) beigefügt.

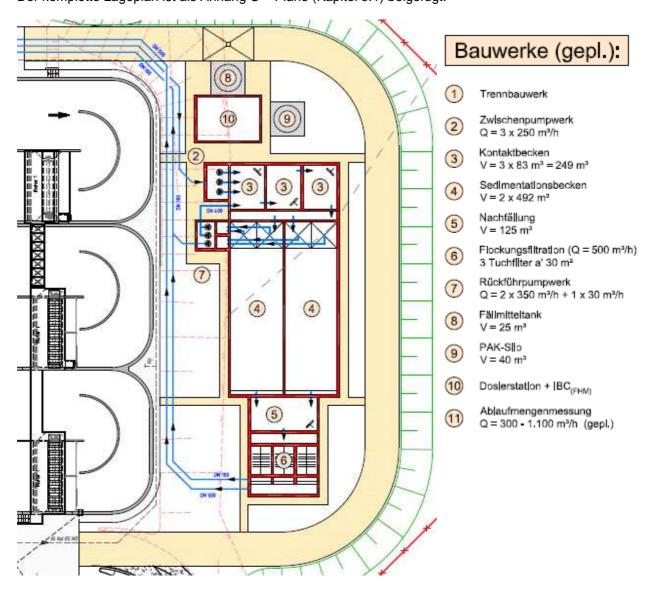


Abbildung 5-10: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

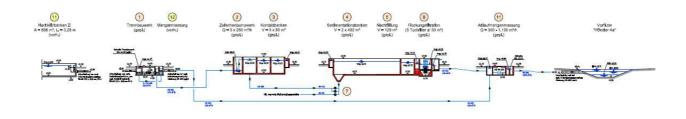


Abbildung 5-11: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

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 essentiell. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignet sich neben biologischen Verfahren auch eine GAK-Filtration (39).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 5-12 gezeigt.

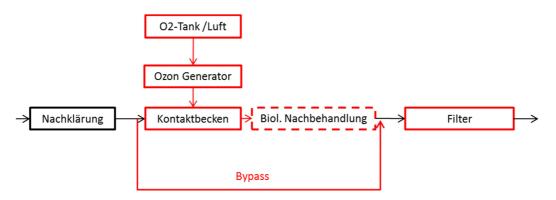


Abbildung 5-12: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Für die Auslegung der Ozonungsanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (35). Die erforderliche Dosierrate kann zwischen 0,6-0,9 mg O₃/mg DOC angesetzt werden. (34), (35). 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 sich daraus ergebende Mindestkapazität des Ozonerzeugers sind Tabelle 5-11 zu entnehmen. Angesetzt wurde eine CSB-Konzentration von 37 mg/l.

Tabelle 5-11: Auslegung Ozongenerator, Variante 3

Auslegung Ozongenerator		
Ozondosierrate für DOC	0,8	g O₃/g DOC
Ozondosierrate für NO2-N	3,4	mg O₃/mg NO₂-N
Bemessungsvolumenstrom	490	m³/h
maßgebl. CSB-Konz. Abwasser	37	mg/I
DOC-Konzentration Abwasser (berechnet)	11,2	mg/I
	11,2	g/m³
Erf. Zielkonzentration Ozon (bezogen auf DOC)	9,0	g O₃/m3
Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,25	mg/l
	0,25	g/m³
Zielkonzentration Ozon (bezogen auf Nitrit)	0,85	g O₃/m³
Zielkonzentration Ozon (für DOC und Nitrit)	9,8	g O ₃ /m ³
Benötigte Kapazität Ozonerzeuger	4,81	kg O₃/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_{O2/O3}) 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 O₃/g DOC
Ozondosierrate für NO2-N		mg O ₃ /mg NO ₂ -N
Jahresabwassermenge	1.261.381	m³/a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.252.417	
mittlere CSB-Konz. Abwasser	29,4	mg/I
DOC-Konzentration Abwasser	8,9	mg/I
	8,9	g/m³
erf. Jahresmenge Ozon (für DOC)	8926	kg O₃/a
mittlere Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,09	mg/I
	0,09	g/m³
erf. Jahresmenge Ozon (für Nitrit)	383	kg O₃/a
erf. Jahresmenge Ozon (gesamt)	9310	kg O₃/a
f(O2/O3)	10	kg O₂/kg O₃
Erf. Jahresmenge Sauerstoff	93096	kg O₂/a
Dichte Flüssigsauerstoff	1,1	g/cm³
	1100	kg/m³
Gewählte Größe Sauerstofftank		m³
Sauerstofflieferung alle	15	Wochen

Auslegung des Ozonreaktors:

Das Volumen des Ozonreaktors wird über die erforderliche Aufenthaltszeit im Reaktor bestimmt. Die Aufenthaltszeit (t_{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 (35). Für den Standort Hörstel wurden die in Tabelle 5-13 aufgeführten Parameter gewählt:

Tabelle 5-13: Auslegung Ozonreaktor, Variante 3

Auslegung Ozonreaktor		
Bemessungsvolumenstrom	490	m³/h
Reaktionszeit	15	min
Ausgasungszeit	10	min
Aufenthaltszeit (gesamt)	25	min
	0,42	h
Erf. Volumen Ozonreaktor	204,2	m³
Einblastiefe	5	m
Fläche Ozonreaktor (innen)	40,83	m²

Der Ozoneintrag in den Reaktor kann mit Diffusoren oder mit einem Injektorsystem (Treibstrahlsystem) 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, Wirbel- oder Festbettreaktoren, Tropfkörper etc. oder es kann alternativ eine GAK-Filtration eingesetzt werden. Für den Standort Hörstel wird eine Flockungsfiltration berücksichtigt.

Anordnung der Ozonanlage und der Flockungsfiltration:

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

Die Pläne sind in Abbildung 5-13 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 5-14 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist als Anhang C – Pläne (Kapitel 9.2) beigefügt.

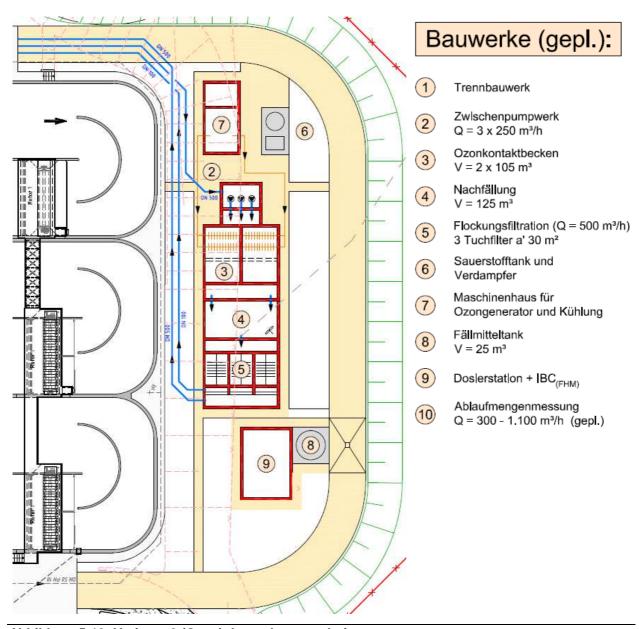


Abbildung 5-13: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

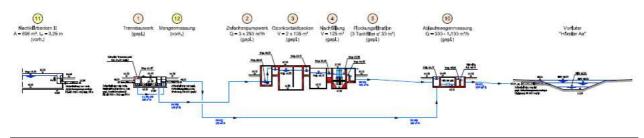


Abbildung 5-14: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

5.4.5 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der KA Hörstel 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 mittels Pumpe 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. Um die angesetzten Bettvolumina zu erreichen, sollte eine optimierte Filterbewirtschaftung angestrebt werden. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden.

Prinzipiell ist eine Ausführung der GAK-Filtration als Betonbauwerk oder auch in kommerziell verfügbaren, vorgefertigten Stahlbehältern möglich. Es werden im Rahmen dieser Studie Druckfilterbehälter als Filterzellen vorgesehen, da hier geringere Kosten zu erwarten sind. Ob dies tatsächlich zutrifft, sollte im Rahmen einer weiteren Planung im Detail geprüft werden.

Die Filterzellen dürfen bestimmte Abmessungen nicht überschreiten, um problemlos über die Straße transportiert werden zu können. Nach Angaben eines Herstellers entsprechender Behälter ist ein Transport bis zu einem Durchmesser von 4 m normalerweise möglich. Die konkrete Strecke müsste vorab geprüft werden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei einer Breite von mehr als 2,55 m eine Genehmigung eingeholt werden muss, für die höhere Transportkosten sowie ein Vorlauf von aktuell ca. 2-3 Monaten zu berücksichtigen sind.

Neben den Behälterabmessungen ist das Filtervolumen ein wichtiger Faktor, da dieses nach Möglichkeit im Bereich eines Vielfachen von 20-22 m³ liegen sollte – für die Anlieferung von 50 m³ GAK würde ein Fahrzeug ausreichen, für den Abtransport der beladenen Kohle liegt die Kapazität auf Grund des höheren Gewichts bei nur noch 20-22 m³ je Fahrzeug.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für den Einsatz der GAK-Filtration ist in Abbildung 5-15 dargestellt.



Abbildung 5-15: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Die GAK-Filtration wird in der Regel auf eine Leerbettkontaktzeit (EBCT) zwischen 5-30 Minuten bei einer Filterbettgeschwindigkeit von 5-15 m/h bemessen (35).

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	1.261.381	m³/a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.252.417	m³/a
Bemessungsvolumenstrom	490	m³/h
Rückspülwasser (10 % von JAM 4. RS)	14,3	m³/h
Auslegungsvolumenstrom	504,3	m³/h
Leerbettkontaktzeit	15	min
	0,250	h
Erforderliches Filtervolumen	126,1	m³
Maximale Filterbettgeschwindigkeit	10	m/h
Filterbetthöhe GAK	2,2	m
Erforderliche Filterfläche	57,3	m²
Resulierende Filtergeschwindigkeit	8,8	m/h
Filterbetthöhe GAK	2,2	m
Anzahl paralleler Filter	6	
erf. Fläche je Filter	9,6	m²
Gewählte Fläche je Filter (manuell wählen)	9,6	m²
Gewählte Anzahl Filter	6,0	
Resultierendes Gesamtfiltervolumen	127,00	m³
Erreichbare Bettvolumina	15.000	BVT
Durchsetzbares Abwasservolumen	1.904.983	m³
Nutzungsdauer GAK	16,6	Monate
Schüttdichte GAK	350	kg/m³
erf. GAK Menge Erstbefüllung je Filter	7.408	kg GAK/Filter
Rückspülgeschwindigkeit GAK-Filter	30	m/h
Volumenstrom Spülung	289	m³/h
Spüldauer	10	min
Spülwasserspeicher	48,1	m³

Rechnerisch werden sechs Filter mit je 9,6 m² Fläche und einem Volumen von je 21,6 m³ benötigt.

Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Die Flockungsfiltration wird vor den GAK-Filtern angeordnet. Sie ist auf eine Teilstrombehandlung ausgelegt und umfasst 3 Scheibentuchfilter mit einer Filterfläche von je 30 m².

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe wird ein Zwischenpumpwerk benötigt. Das Wasser wird den sechs parallel betriebenen GAK-Adsorbern zugeführt.

Ein Ausschnitt des Lageplans für Variante 4 ist in Abbildung 5-16 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 5-17. Der komplette Lageplan ist als Anhang C- Pläne (Kapitel 9.3) beigefügt.

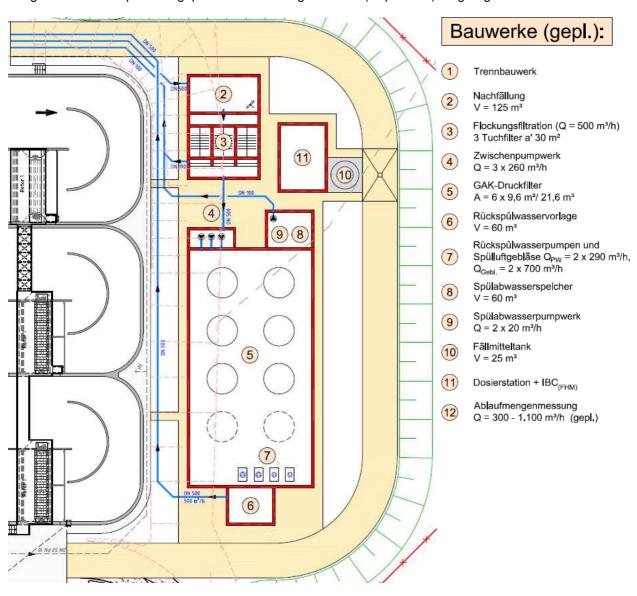


Abbildung 5-16: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

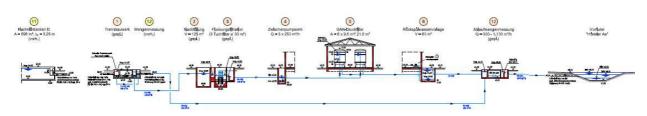


Abbildung 5-17: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

5.4.6 <u>Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration</u>

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

5.4.7 Auslegung der Flockungsfiltration

Wie in Kap. 5.1 beschrieben, wird für den zukünftigen Kläranlagenbetrieb mit 4. Reinigungsstufe am Standort Hörstel eine Flockungsfiltration benötigt, 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. Auch vor dem Hintergrund der Mikroplastikelimination ist die Flockungsfiltration empfehlenswert.

Nachfolgend wird die Filtrationsstufe jeweils für eine Voll- und eine Teilstrombehandlung des Abwasserstroms ausgelegt. Hierbei wird ausschließlich die Tuchfiltration berücksichtigt.

Der Bemessungsvolumenstrom (Q_{bem.Filt.}) für die Auslegung der Flockungsfiltration beträgt 490 m³/h (Teilstrom) bzw.1090 m³/h (Vollstrom).

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 wie folgt (Tabelle 5-15):

Tabelle 5-15: Auslegung Tuch-/Gewebefilter, Flockungsfiltration Vollstrombehandlung

Tuch- / Gewebefilter Vollstrombehandlung			
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	1090	m³/h	
Filtergeschwindigkeit	6	m/h	
Benötigte Filterfläche	182	m²	
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	60	m²	
Filtergeschwindigkeit	6	m/h	
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück	
Gewählte Filterfläche	180	m²	
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	6,1	m/h	

Im Rahmen der Planung wurden für die Vollstromfiltration insgesamt drei Tuch-/Gewebefilter mit einer Filterfläche von jeweils 60 m² vorgesehen. Auch für die Teilstromvariante wurden drei Filterelemente angesetzt, deren Fläche jedoch nur je 30 m² beträgt.

Eine Auslegung für den Teilstrom findet sich in Tabelle 5-16.

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

Tuch- / Gewebefilter Teilstrombehandlung		
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	490	m³/h
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Benötigte Filterfläche	82	m²
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	30	m²
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück
Gewählte Filterfläche	90	m²
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	5,4	m/h

6 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken und die wirtschaftliche Bewertung werden für die KA Hörstel 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

Außerdem wird die Kombination der Varianten 3 und 4 als eigene Variante ohne weitere Beschreibung aufgeführt, da hierfür die unter den ursprünglichen Varianten genannten Voraussetzungen gelten:

• Variante 5: Ozonierung + 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 (45). 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 werden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen Varianten muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4.
 Reinigungsstufe bzw. die Flockungsfiltration zu beschicken
- Bei allen Varianten ist eine Tuchfiltration für den behandelten Abwasserstrom enthalten.
- Für alle Varianten wird ein neuer Fällmitteltank an der 4. Reinigungsstufe berücksichtigt.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem Container.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Für die Unterbringung der GAK-Filterbehälter sowie der neuen Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse für Variante 4 und 5 ist ein Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Hochbauteil eingeplant.

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

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

Tabelle 6-1: Zusammenstellung der geschätzten Investitionen

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
	PAK-Dosierung	PAK-Dosierung	Ozonung	GAK-Filtration
	in die Belebung	in		
		Kontaktbecken		
Baukosten	835.500€	1.418.650€	1.078.800€	1.665.400€
Maschinentechnik- Kosten	887.000€	958.000€	918.000€	1.168.750€
EMSR-Technik-Kosten	266.100€	287.400€	275.400€	350.600€
Baunebenkosten	447.400 €	599.400€	511.200€	716.550€
Investitionskosten netto	2.436.000€	3.263.450€	2.783.400€	3.901.300€
Investitionskosten brutto	2.898.840€	3.883.506 €	3.312.246 €	4.642.547€

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

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

Energiekosten: 0,17 Euro/kWh

Personalkosten: 40.000 Euro/Mannjahr

Pulveraktivkohle: 1.500 Euro/t

Granulierte Aktivkohle: 1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)

Fällmittel: 140 Euro/t

Flockungshilfsmittel: 1.400 Euro/t

Sauerstoff: 0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)

Schlammentsorgung: 320 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 1.261.381 m³/a. Für die Varianten 2 - 4 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 1.252.417 m³/a angesetzt.

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

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

Bei Variante 4 (GAK) wurde ein Bettvolumen von 15.000 BTV angesetzt. Damit ergibt sich für die Kläranlage Hörstel eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von 16,6 Monaten. Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die neue Filtrationsanlage (Tuchfiltration) vor die GAK-Filtration platziert wird und damit eine weitgehende AFS-Reduktion vor der GAK-Filtration erreicht wird. Falls vor der GAK-Filtration keine Vorfiltration des Ablaufs der Nachklärung stattfindet, müsste mit einer kürzeren GAK-Filterstandzeit gerechnet werden.

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

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

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]	14.315	29.224	119.332	19.779
Personal	[€/a]	15.606	19.507	15.606	15.606
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	56.779	68.878	61.896	83.073
Sauerstoff	[€/a]	0	0	19.487	0
PAK/GAK	[€/a]	36.005	17.874	0	39.761
FHM, FM	[€/a]	8.905	3.909	0	0
Schlammentsorgung	[€/a]	18.243	10.514	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	149.853	149.905	216.321	158.218

Aus Tabelle 6-2 geht hervor, dass bei Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von 149.853 Euro netto/a zu rechnen ist. Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) liegt mit ca. 149.905 € aber in einem sehr ähnlichen Bereich. Die höchsten Betriebskosten weist Variante 3 (Ozonung) mit 216.321 Euro netto/a auf.

6.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Kostenberechnung zugrunde gelegt. Kap. 8.7 und Kap. 8.8 zeigen die Berechnung der Jahreskosten für die 4 Varianten. 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
		DAK Dasiawas	PAK-Dosierung		
		PAK-Dosierung	in	Ozon	GAK-Filtration
		in die Belebung	Kontaktbecken		
Kapitalkosten	[€/a]	169.509	214.955	188.872	258.256
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	72.385	88.385	77.502	98.678
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	77.468	61.520	138.819	59.540
Jahreskosten	[€/a]	319.363	364.860	405.193	416.475

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

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

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

6.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

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

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

Einen besonders hohen Anteil an den Betriebsmittelkosten verursachen die Verbräuche an Chemikalien und Hilfsmitteln. Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle wurden über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Für die granulierte Aktivkohle wurde eine Annahme für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BVT = 15.000). Damit ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierte Aktivkohle von ca. 16,6 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch drastisch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen 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.

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

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

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kostenschätzung nach heutigem Wissensstand noch mit Unsicherheiten behaftet ist, da zum einen Langzeiterfahrungen fehlen und zum anderen derzeit noch keine gesetzlichen Vorgaben für die zu erreichenden Reinigungsziele vorliegen.

6.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hörstel

Neben den voraussichtlich anfallenden Kosten sind für die Verfahrenswahl noch weitere Kriterien von Bedeutung. Bei diesen Kriterien handelt es sich beispielsweise um die voraussichtlich erzielbare Reinigungsleistung der verschiedenen Verfahren und den Betriebsaufwand, der verursacht wird.

Bei der Verfahrensbewertung muss – wie schon in Kap. 5.1 erläutert – berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten Spurenstoffe ausreichende Informationen zur Elimina-

tionsleistung und zur optimalen Verfahrensführung vorliegen. Bei den hier in der Studie untersuchten Verfahrensvarianten handelt es sich jedoch durchweg um Verfahren, die eine Breitbandwirkung hinsichtlich der Spurenstoffelimination aufweisen.

Eliminationsleistungen

Bei der PAK-Dosierung werden die besten Eliminationsraten erzielt, wenn die PAK in ein separates Kontaktbecken mit nachfolgender Sedimentationseinheit dosiert wird und die PAK zusätzlich rezirkuliert wird (Variante 2). Im Hinblick auf die Zugabe der PAK direkt in die bestehende Belebung (Variante 1) stehen noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit zur Verfügung. Aufgrund der Konkurrenzsituation der Spurenstoffe mit den Abwasserinhaltsstoffen und mit dem Schlamm in der Belebung um die Bindungsplätze an der PAK wurden für diese Verfahrensweise bisher eher niedrige Eliminationsraten bei gleichzeitig hohen PAK-Dosiermengen angenommen. Gute Eliminationsleistungen bei einer akzeptablen PAK-Dosiermenge von ca. 18 mg PAK/I wurden bei aktuellen Untersuchungen auf der ARA Flos in Wetzikon (Schweiz) ermittelt (59). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Bei der Ozonung ist zu beachten, dass die entstehenden Transformationsprodukte oft sehr reaktiv sind und ebenfalls Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Sie müssen daher vor der Einleitung des Abwassers in den Vorfluter entfernt werden. Dazu ist neben einer biologischen Nachbehandlung in biologisch aktiven Filtern auch der Einsatz von GAK denkbar (40).

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 (38). Es wird davon ausgegangen, dass z.B. durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter (vgl. auch Kap. 3.1.4) eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine Verbesserung der Adsorptionsleistung erreicht wird (60), so dass die GAK-Filtration als Verfahren für die Spurenstoffelimination zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Es wird zur Zeit davon ausgegangen, dass sowohl bei der PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken, bei der Ozonung und bei der GAK-Filtration vergleichbare Eliminationsraten erreicht werden können.

Betriebsaufwand

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

Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Die Broschüre "Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW" (57) empfiehlt eine biologische Nachbehandlung wie Wirbelbett, Tropfkörper oder biologisch aktive Filter. Auch der Einsatz eines GAK-Filters zur Nachbehandlung der Ozonung ist denkbar (40); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Die bei im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen gefundenen Bromidgehalte im Abwasser liegen mit im Mittel 0,1 mg/l relativ hoch. Da es sich bei den hier durchgeführten Untersuchungen nur um Stichproben handelt, ist eine weitere Beobachtung des Bromid-Gehalts vor der Entscheidung für eine Ozonanlage unbedingt erforderlich. Daneben ist auch die sichere Elimination der gebildeten Transformationsprodukte vor der Einleitung des gereinigten Abwassers erforderlich, ggf. muss hier eine GAK-Filtration eingesetzt werden.

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

Voraussichtliche Kosten

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

Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Hörstel

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

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

Bei den gemessenen Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage konnten nach heutigem Kenntnisstand nur wenige Auffälligkeiten festgestellt werden. Die meisten untersuchten Stoffkonzentrationen lagen unterhalb der Konzentrationen, die in Abläufen anderer Kläranlagen gefunden wurden oder zumindest deutlich unter den, bei anderen Kläranlagen, gemessenen maximalen Werten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Erhöhte Konzentrationen wurden dementsprechend bei Arzneimitteln und Benzotriazol gemessen. Beim Vorfluter "Hörsteler Aa" handelt es sich an der Einleitstelle um einen starken Vorfluter, der nur eine geringe Abwassermenge aus der Kläranlage aufnehmen muss. Dieser ist ein erheblich verändertes Gewässer, der durch die Einleitung Salz und PCB belasteter Grubenwässer des

Bergwerks Ibbenbüren (RAG Anthrazit Ibbenbüren GmbH) ab Ibbenbüren biologisch weitgehend verödet ist (23; 24). Nach der Einleitung tangiert die Hörsteler Aa nach ca. 8 km noch das Naturschutzgebiet "NSG Dreierwalder Bruchwiesen/ ST-012", bevor sie in die Ems mündet. Sie durchfließt keine Trinkwassergewinnungsgebiete.

In der Studie "Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen" (13) wird beschrieben, dass es hinsichtlich der Verbesserung der Gewässersituation in NRW voraussichtlich vorrangig sinnvoll ist, zunächst Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe auszustatten, die:

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

Durch Maßnahmen auf den betreffenden Kläranlagen kann eine wesentliche Verringerung der Spurenstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Eine gesetzliche Grundlage gibt es jedoch bis dato nicht. Der Nutzen der 4. Reinigungsstufe muss jedoch auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden. So verursacht der Betrieb der 4. Reinigungsstufe einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz. Für die KA Hörstel treffen die oben genannten Punkte nicht zu, aber es sind durchaus hohe Konzentrationen an Spurenstoffen wie z.B. Diclofenac und Benzotriazol vorhanden. Dies gilt es abzuwägen.

6.6 Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe

Für die Finanzierung einer 4. Reinigungsstufe auf der KA Hörstel könnten folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

Förderung der Investitionen

Vom Land Nordrhein-Westfalen werden bei einer Antragstellung bis 2019 ausgewählte Maßnahmen zur Spurenstoffelimination mit der Übernahme von 70 % der Erstinvestitionen gefördert, danach mit bis zu 50 %. Hinsichtlich der langfristigen Entwicklung der Förderung durch das Land NRW können keine verbindlichen Aussagen getroffen werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Förderung wesentlich reduziert wird oder erlischt, sobald die 4. Reinigungsstufe verpflichtend eingeführt werden sollte.

Erklärung niedrigerer Überwachungswerte

Durch den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe können sich – in Abhängigkeit von der gewählten Verfahrensvariante – signifikante Einsparungen bei der Höhe der Abwasserabgabe ergeben, indem ausgewählte Parameter niedriger erklärt werden. So kann beim Verfahren PAK-Dosierung mit Filtrationsstufe voraussichtlich sowohl die CSB- als auch P_{ges} -Konzentration im Ablauf der Kläranlage reduziert werden. Bei der Ozonung und der GAK-Filtration ist mit einer CSB-Reduktion zu rechnen. Je nach Verfahrenskonzept

und Verfahrenskombination, wie Teilstrom- oder Vollstrombehandlung, Einbindung einer Flockungsfiltration etc. kann die Höhe der Einsparungen stark variieren.

Verrechnung mit der Abwasserabgabe

Wird durch den Neubau der 4. Reinigungsstufe eine Schadstofffracht beim Einleiten in den Vorfluter um mindestens 20 % verringert, dann kann die Maßnahme mit der Abwasserabgabe verrechnet werden (Verrechnungszeitraum: 3 Jahre vor Inbetriebnahme der 4. Reinigungsstufe).

Mögliche zukünftige Finanzierungsmodelle für Kläranlagen, die vorrangig eine Spurenstoffelimination durchführen sollten, werden auch im sog. "Leipziger Modell" vorgestellt (61).

Fazit

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

6.7 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

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

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

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

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

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

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

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

7 Anhang A - Untersuchungsergebnisse

7.1 Bisherige Untersuchungsergebnisse Vorfluter 2014-2016

Hygiene-Institut des Ruhrgebiets

Institut für Umwelthygiene und Toxikologie

Anlage 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-244405-14-Ra

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässemame:

Ibbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (14) und uh. (13) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Montag

Datum: 5. Mai 2014

Uhrzeit:

11:35 h - 12:30 h

Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Handschöpfer, Edelstahl

Entnahmegerät: Strömung (oh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s

Strömung (uh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Abfluß: normal Substratverhältnisse Ufer/Sohle (oh):

-1

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh):

Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %) Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh): nein

Wetterlage:

niederschlagsfrei

Wetterlage Vortag: niederschlagsfrei

Bemerkungen: Probenehmer: uh KA sehr starke Schaumbildung

D. J. H.

Herr Daszkowski

Bearbeitungszeitraum: 05.05.2014 – 10.06.2014

Parameter	Probebezeichnung Labor-Nr.		Ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4) A 7939 / 14	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3) A 7940 / 14
Vor Ort Parameter				
Lufttemperatur Wassertemperatur Farbe Trübung Geruch pH-Wert Elektr. Leitfähigkeit Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN 38404 - C4 DIN 38404 - C4 Visuell organoleptisch organoleptisch DIN EN ISO 10 523 (C5) DIN EN 27888 (C8) DIN EN 25814 (G22)	°C °C µScm ⁻¹ mg/l	11,0 13,0 schwach gelblich-grau schwach getrübt ohne 7,39 27500 7,39	11,0 13,0 schwach gelblich-grau schwach getrübt ohne 7,36 24800 7,74
"Laborparameter"				
Chlorid (Cl') Nitrat- Stickstoff (N) Nitrit- Stickstoff (N) Ammonium- Stickst. (N) Ges Phosphor (P) Org. Kohlenstoff (TOC) Sauerstoffzehrung nach 5	DIN EN ISO 10304-1 (D20) DIN EN ISO 10304-1 (D20) DIN EN ISO 10304-1 (D20) DIN EN ISO 11732 (E23) DIN EN ISO 17294-2 (E29) DIN EN 1484 (H3) Fagen DIN FN 1899-2 (H52)	mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	9870 5,65 0,52 1,90 0,07 5,2 4,95	8700 4,97 0,43 1,58 0,07 6,2 4,29

Institut für Umwelthygiene und Toxikologie

Anlage 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-251490-14-KD

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässername:

Ibbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (| 4) und uh. (| 3) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Donnerstag

Datum: 4. Dezember 2014

Uhrzeit:

09:30 h - 10:10 h

Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Entnahmegerät:

Handschöpfer, Edelstahl

Wetterlage Vortag: Frost

Strömung (oh): Strömung (uh): ruhig fließend ruhig fließend Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s

Abfluß:

normal

Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (oh):

Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh):

Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh): nein

Wetterlage: Bemerkungen:

uh KA sehr starke Schaumbildung

Probenehmer:

Herr Daszkowski

Bearbeitungszeitraum:

04.12.2014 - 15.12.2014

Parameter	Probebezeichnung		Ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4) A 22688 / 14	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3 A 22689 / 14	
N/or Od Sommeted					
" <u>Vor Ort Parameter"</u>					
Lufttemperatur	DIN 38404 - C4	°C	0	0	
Wassertemperatur	DIN 38404 - C4	°C	7,5	7.8	
Farbe	visuell		schwach gelblich-grau	schwach gelblich-grau	
Trübung	organoleptisch		schwach getrübt	schwach getrübt	
Geruch	organoleptisch		ohne	ohne	
pH-Wert	DIN EN ISO 10 523 (C5)		7,49	7,44	
Elektr. Leitfähigkelt	DIN EN 27888 (C8)	µScm ⁻¹	28600	25700	
Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN EN 25814 (G22)	mg/l	10,6	11,1	
"Laborparameter"	-				
Chlorid (Cl ⁻)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	9200	8500	
Nitrat- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	5,19	4,97	
Nitrit- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	2,07	0,883	
Ammonium- Stickst. (N)	DIN EN ISO 11732 (E23)	mg/t	2,61	2,23	
Ges Phosphor (P)	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/l	0,07	0,08	
Org. Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3)	mg/l	6,8	7,3	
Sauerstoffzehrung nach 5°	Tagen DIN EN 1899-2 (H52)	mg/l	5,56	5,16	

Institut für Umwelthygisse und Toxikologie

Anlage 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-253760-15-KD

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässername:

ibbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (| 4) und uh. (| 3) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Dienstag

Datum: 20. Januar 2015

Uhrzeit:

13:40 h - 14:10 h

Entnahmegerät:

Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Handschöpfer, Edelstahl

Strömung (oh): Strömung (uh): ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Abfluß: normal

ruhig fließend

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (oh): Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh): Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %) Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh): nein

Wetterlage:

Frost Wetterlage Vortag: Frost

Bemerkungen:

uh KA sehr starke Schaumbildung

Probenehmer: Bearbeitungszeitraum: Herr Daszkowski / Herr Wenzel 20.01,2015 – 18.02,2015

Parameter	Probebezeichnung Labor-Nr.		Ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4) A 1147/15	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3 A 1148 / 15
"Vor Ort Parameter"				
Lufttemperatur	DIN 38404 - C4	°C	0	0
Wassertemperatur	DIN 38404 - C4	°C	7,7	7,0
Farbe	visue//		schwach gelblich-grau	schwach gelblich-grau
Trübung	organoleptisch		schwach getrübt	schwach getrübt
Geruch	organoleptisch		ohne	chne
pH-Wert	DIN EN ISO 10 523 (C5)		7,46	7,61
Elektr. Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C8)	µScm ⁻¹	16800	16490
Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN EN 25814 (G22)	mg/l	10,4	10,5
"Laborp <u>erameter"</u>				
Chlorid (Cl ⁻)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	5300	5200
Nitrat- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	6,32	6,32
Nitrit-Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	0,237	0,219
Ammonium-Stickst. (N)	DIN EN ISO 11732 (E23)	mg/l	1,64	1,55
Ges Phosphor (P)	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/l	0,08	0,07
Org. Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3)	mg/l	8,1	7,2
Biochem. Sauerstoffbedarf				
BSB ₅ für unverdünnte Probe	on DIN EN 1899-2 (H52)	mg/l	2,7	2,2

lastitut für Umwelthygiene und Toxikologie

Anlage 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-259467-15-BA

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässername:

Ibbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (14) und uh. (13) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Dienstag

Datum: 23. Juni 2015

Uhrzeit:

13:40 h - 14:10 h Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Entnahmegerät:

Handschöpfer, Edelstahl

Strömung (oh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s

Strömung (uh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Abfluß: Substratverhältnisse Ufer/Sohle (oh):

normal

Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh):

Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh): nein

Wetterlage:

wechselhaft

Wetterlage Vortag:

wechselhaft

Bemerkungen:

uh KA: geringe Schaumbildung

Probenehmer:

Herr Daszkowski 23.06.2015

Probeneingang im Labor: Bearbeitungszeitraum:

23.06.2015 - 23.07.2015

Parameter	Probebezeichnung Labor-Nr.		ohl		Ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4) A 12401 / 15	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3) A 12402 / 15
"Vor Ort Parameter"						
Lufttemperatur	DIN 38404 - C4	°C	15,0	15.0		
Wassertemperatur	DIN 38404 - C4	°C	16,1	16.2		
Farbe	visuell		schwach gelblich	schwach gelblich		
Trübung	organoleptisch		fast klar	fast klar		
Geruch	organoleptisch		ohne	ohne		
pH-Wert	DIN EN ISO 10 523 (C5)		7,44	7,38		
Elektr. Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C8)	μScm ⁻¹	15800	15700		
Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN EN ISO 5814 (G22)	mg/l	4,59	4,87		
"Laborparameter"	-					
Chlorid (Cl ⁻)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	5200	5000		
Nitrat- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	3,39	3,16		
Nitrit- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	< 0,76*	< 0,76*		
Ammonium- Stickst. (N)	DIN EN ISO 11732 (E23)	mg/l	2,19	1,75		
Ges Phosphor (P)	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/l	0,09	0,07		
Org. Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3)	mg/l	6,4	5,9		
Biochem, Sauerstoffbedarf			0.00			
BSB ₆ für unverdünnte Probe	n DIN EN 1899-2 (H52)	mg/l	3,39	3,15		

^{*} matrixbedingt musste die Bestimmungsgrenze angehoben werden

Institut für Umwelthygiene und Toxikologie

Anlage 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-268701-16-Mo

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässername:

!bbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (| 4) und uh. (| 3) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Dienstag

Datum: 23. Februar 2016

Uhrzeit (oh/uh):

11:05 h // 10:45 h Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Entnahmegerät:

Handschöpfer, Edelstahl

Strömung (oh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s

Strömung (uh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Abfluß: leicht erhöht

Substratverhåltnisse Ufer/Sohle (oh): Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh): Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %)

Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh): nein

Wetterlage:

niederschlagsfrei Wetterlage Vortag:

Regenwetter

Bernerkungen:

keine

Probenehmer: Probeneingang im Labor: Herr Daszkowski 23.02.2016

Untersuchungszeitraum:

23.02.2016 - 01.03.2016

Parameter	Probebezeich	nung	Ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4)	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3)
	Lapor-Nr.		A 3432 / 10	A 3493 / 15
"Vor Ort Paremeter"				
Lufttemperatur	DIN 38404 - C4	*C	5,0	4,0
Wassertemperatur	DIN 38404 - C4	*C	8,7	8,8
Farbe	visuell		gelblich	gelblich
Trübung	organoleptisch		schwach getrübt	schwach getrübt
Geruch	organoleptisch		ohne	ohne
pH-Wert	DIN EN ISO 10 523 (C5)		7,4	7,3
Elektr. Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C8)	µScm ⁻¹	4800	4610
Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN EN ISO 5814 (G22)	mg/l	6,04	6,40
"Laborparameter"				
Chlorid (Cl ⁻)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	1300	1300
Nitrat- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	2,9	3,2
Nitrit- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	< 0,02	< 0,02
Ammonium- Stickst. (N)	DIN EN ISO 11732 (E23)	mg/l	0,73	0,70
Ges Phosphor (P)	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/l	0,16	0,16
Org. Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3)	mg/l	7,7	8,0
Biochem. Sauerstoffbedarf				
BSB ₀ für unverdünnte Probe	DIN EN 1899-2 (H52)	mg/l	2,70	2,92

Institut für Umwelthygiere und Toxikologie

Anlaga 1 von 1, Seite 1 von 1 zum Schreiben A-274660-16-KD

Probenahmeprotokoll und Analysenergebnisse zur Gewässeruntersuchung

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Hörstel

Gewässername:

Ibbenbürener Aa

Probenahmestelle:

oh. (I 4) und uh. (I 3) der Kläranlage Hörstel

Probebezeichnung:

Ibbenbürener Aa oh und uh KA Hörstel

Tag: Mittwoch

Datum: 6. Juli 2016

Uhrzeit (oh/uh):

12:20 h // 11:55 h Art der Probenahme: Stichprobe gem. DIN 38 402 - A15

Entnahmegerät:

Handschöpfer, Edelstahl

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (oh): ca. 0,5 m/s

Strömung (oh): Strömung (uh):

ruhig fließend

Strömungsgeschwindigkeit (uh): ca. 0,5 m/s

Abfluß:

normal

Substratverhältnisse Ufer/Sohle (oh): Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %) Substratverhältnisse Ufer/Sohle (uh): Steine (ca. 50 %), Sand (ca.30 %), Schlamm (ca.20 %) Beschattung im Tagesgang(oh/uh): 50% / 0%

Verkrautung(oh/uh):

Wetterlage:

niederschlagsfrei Wetterlage Vortag:

niederschlagsfrei

Bemerkungen:

keine

Probenehmer: Probeneingang im Labor: Herr Daszkowski 06.07.2016

Untersuchungszeitraum:

06.07.2016 - 13.07.2016

Parameter	Probebezeichnung Labor-Nr.		ibbenbürener Aa oh KA Hörstel (I 4) A 12958 / 16	Ibbenbürener Aa uh KA Hörstel (I 3) A 12959 / 16
"Vor Ort Parameter"				
Lufttemperatur	DIN 38404 - C4	°C	16,0	16.0
Wassertemperatur	DIN 38404 - C4	°C	16,8	16,7
Farbe	visuell		schwach gelblich	schwach gelblich
Trübung	organoleptisch		fast klar	fast klar
Geruch	organoleptisch		ohne	ohne
pH-Wert	DIN EN ISO 10 523 (C5)		7,4	7,4
Elektr. Leitfähigkeit	DIN EN 27888 (C8)	µScm ⁻¹	14250	13600
Sauerstoff-Gehalt (O ₂)	DIN EN ISO 5814 (G22)	mg/l	5,73	5,86
"Laborparameter"				
Chlorid (Cl ⁻)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	4600	4400
Nitrat- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/l	4,1	4,3
Nitrit- Stickstoff (N)	DIN EN ISO 10304-1 (D20)	mg/t	< 0,02	< 0,02
Ammonium- Stickst. (N)	DIN EN ISO 11732 (E23)	mg/l	1,44	1,38
Ges Phosphor (P)	DIN EN ISO 11885 (E22)	mg/l	< 0,05	< 0,05
Org. Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3)	mg/l	B,4	8,3
Biochem. Sauerstoffbedarf				
BSB₅ für unverdünnte Probe	n DIN EN 1899-2 (H52)	mg/l	1,08	1,16

7.2 Untersuchungsergebnisse Vorfluter im Rahmen der Studie

7.2.1 <u>Monitoring - Ergebnisse</u>

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSUNG GribH, Oator 7, 48341 Attenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: K. Dexhelmer

Durchwahl: +49 2505 89 153

Fax: +49 2505 89 185

E-Mail: Kai. Dexhelmer
@wessing.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Probe Nr. 17-041795-01 Eingangsdatum 18.03.2017 Bezeichnung l/4 (oberhalb Einleitung Probenart Oberflächenwasser Probenahme 16.03.2017 Probenahme durch WESSLING GmbH Probenehmer Herr Murat Can Probenmenge 1.45 Liter Probengefäß 2x100 ml PE	n 13.04.2017
Bezeichnung I/4 (oberhalb Einleitung Probenart Oberflächenwasser Probenahme 16.03.2017 Probenahme durch WESSLING GmbH Probenehmer Herr Murat Can Probenmenge 1,45 Liter 1 L BG 2x100 ml PE	
Probenart Oberflächenwasser Probenahme 16.03.2017 Probenahme durch WESSLING GmbH Probenehmer Herr Murat Can Probenmenge 1,45 Liter 1 L BG 2x100 ml PE	
Probenahme 16.03.2017 Probenahme durch WESSLING GmbH Probenehmer Herr Murat Can Probenmenge 1,45 Liter 1 L BG 2x100 ml PE	- 10
Probenahme durch WESSLING GmbH Probenehmer Herr Murat Can Probenmenge 1,45 Liter 1 L BG 2x100 ml PE	
Probenshmer Herr Murat Can Probenmenge 1,45 Liter 1 L BG 2x100 ml PE	7
Probenierie 1,45 Liter Probengefäß 1 L BG 2x100 ml PE 2x100 ml PE	
1 L BG Probengefäß 2x100 m/ PE	
Probengefäß 2x100 ml PE	
250 ml BG	
Anzahl Gefäße 4	
Untersuchungsbeginn 16.03.2017	
Untersuchungsende 13.04.2017	

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-041795-01
Bezeichnung	I/4 (oberhalb Einleitung)
HNO3-Aufschluss W/E	20.03.2017

Elemente

Probe Nr.		17-041795-01
Bezeichnung		I/4 (oberhalb Einleitung)
Bor (B)	mg/l W/E	0,30

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

Prüfbericht Nr.	CAL17-040204-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17	Datum 13.04.2017
Pflanzenschut	zmittel-Rückstände				
Probe Nr.					17-041795-01
Bezeichnung					I/4 (oberhalb Einleitung)
Carbamazepin	1		μg/l	W/E	0,068
Diclofenac			μд∕І	W/E	0,3
Metoprolol			µgЛ	W/E	0,26
Sulfamethoxa	zol		μд∕І	W/E	<0,025
Terbutryn			μgЛ	W/E	<0,025
Kationen, Anio	nen und Nichtmetalle				
Probe Nr.					17-041795-01
Bezeichnung					I/4 (oberhalb Einleitung)
Bromid (Br)			mg/l	W/E	3,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-041795-01
Bezeichnung			I/4 (oberhalb Einleitung)
Benzotriazol	μgЛ	W/E	1,5

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	17-041795-01
Bezeichnung	I/4 (oberhalb Einleitung)
Benzo(a)pyren	μg/l W/E <0,02

Prüfbericht Nr.	CAL17-040204-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 13.04.201
Probe Nr.				17-041795-02
Eingangsdatum				16.03.2017
Bezeichnung				I/3 (unterhalb Einleitung)
Probenart				Oberflächenwasser
Probenahme				16.03.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Probenmenge				1,45 Liter
Probengefäß				1 L BG 2x100 ml PE 250 ml BG
Anzahl Gefäße				4
Untersuchungsb	eginn			16.03.2017
Untersuchungse	ende			13.04.2017

Probenvorbereitung

Probe Nr.		17-041795-02
Bezeichnung		I/3 (unterhalb Einleitung)
HNO3-Aufschluss	W/E	20.03.2017

Elemente

Probe Nr.			17-041795-02
Bezeichnung			I/3 (unterhalb Einleitung)
Bor (B)	mg/l	W/E	0,31

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-041795-02
Bezeichnung			I/3 (unterhalb Einleitung)
Carbamazepin	μg/l	W/E	0,12
Diclofenac	μgΛ	W/E	0,45
Metoprolol	μgΛ	W/E	0,43
Sulfamethoxazol	μgΛ	W/E	0,03
Terbutryn	μg/l	W/E	<0,025

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-041795-02
Bezeichnung			I/3 (unterhalb Einleitung)
Bromid (Br)	mg/l	W/E	3,1

Prüfbericht Nr.	CAL17-040204-1	Auftrag Nr.	CAL-01005	5-17	Datum	13.04.2017
Korrosionssch	nutzmittel					
Probe Nr.					17-041795-02	!
Bezeichnung					I/3 (unterhalb Einleitung)	
Benzotriazol			μдЛ	W/E	1,9	

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-041795-02
Bezeichnung			I/3 (unterhalb Einleitung)
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Accessed to the second		40.00		
Prüfbericht Nr.	CAL17-040204-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 13.04.2017

DIN 38407-36^A

DIN 38407 F8^A

DIN EN 180 10804-1

DINEN (80 17294 2A

DIN EN ISO 15587-2

WES 778^A

Abkürzungen und Methoden

Pesticide, Aranelmital und Melabolite mit LC-MS

Spazielle org. Staffe mit LC-MS

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstaffe (PAK)

Gelörle Anbren in Wasser/Elust

Melafie/Elemente in Wasser/Elust

Salpotersäure Aufschluss A32

WE Wasser Bust

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge

Prüfbericht Nr. CAL17-040204-1 Auftrag Nr. CAL-01005-17 Datum 13.04.2017

DIN 38407-36^A

DIN 38407 F8A

DIN EN 180 10804-1

DIN BN 180 17294 24

DIN EN ISO 15587-2

WES 776^A

Abkürzungen und Methoden

Pesticide, Araneimitel und Metabolite mit L.C.M.S.

Spezielle org. Staffe mit L.C.M.S.

Polycydische arametische Kohlenwesserslaffe (PAK).

Gelörle Antonen in Wasser/Elust.

Metalle/Elemente in Wasser/Elust.

Salpoterhäure Aufschluss A.32.

W/E WassenBust

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Altenberge BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasse

 Ansprechpartner:
 S. Gortheil

 Durchwahl:
 +49 2505 89 164

 Fax:
 +49 2505 89 185

 E-Mail:
 Simon.Gortheil

@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 28.08.2017
Probe Nr.				17-124487-01
Eingangsdatum				08.08.2017
Bezeichnung				Oberhalb KA
Probenart				Fließgewässer
Probenahme				08.08.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Grieveson
Probengefäß				1000 + 250 ml Schliff 2x 100 ml PE
Anzahl Gefäße				4
Untersuchungsb	eginn			08.08.2017
Untersuchungse	ende			06.09.2017

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-124487-01
Bezeichnung	Oberhalb KA
HNO3-Aufschluss W/E	10.08.2017

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-124487-01
Bezeichnung			Oberhalb KA
Bromid (Br)	mg/l	W/E	4,1

Korrosionsschutzmittel

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17	Datum	28.08.2017
Probe Nr.					17-124487-01	
Bezeichnung					Oberhalb KA	
Benzotriazol			μg/l	W/E	0,84	

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-124487-01
Bezeichnung			Oberhalb KA
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.		17-124487-01
Bezeichnung		Oberhalb KA
Bor (B)	mg/l W/E	0,25

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.		17-124487-01
Bezeichnung		Oberhalb KA
Carbamazepin	μg/l W/E	0,13
Diclofenac	μg/l W/E	0,6
Metoprolol	μg/l W/E	0,63
Sulfamethoxazol	μg/l W/E	0,051
Terbutryn	μg/l W/E	<0,025

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 28.08.2017
Probe Nr.				17-124487-02
Eingangsdatum				08.08.2017
Bezeichnung				Unterhalb KA
Probenart				Fließgewässer
Probenahme				08.08.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Grieveson
Probengefäß				1000 + 250 ml Schliff 2x 100 ml PE
Anzahl Gefäße				4
Untersuchungsbe	eginn			08.08.2017
Untersuchungse	nde			06.09.2017

Probenvorbereitung

Probe Nr.		17-124487-02
Bezeichnung		Unterhalb KA
HNO3-Aufschluss W/E	=	10.08.2017

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-124487-02
Bezeichnung			Unterhalb KA
Bromid (Br)	mg/l	W/E	3,9

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-124487-02
Bezeichnung			Unterhalb KA
Benzotriazol	μg/l	W/E	1,4

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-124487-02
Bezeichnung			Unterhalb KA
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.			17-124487-02
Bezeichnung			Unterhalb KA
Bor (B)	mg/l	W/E	0,26

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17	Datum 28.08.201
Arzneimittel-R	ückstände				
Probe Nr.					17-124487-02
Bezeichnung					Unterhalb KA
Carbamazepin	l		μg/l	W/E	0,2
Diclofenac			μg/l	W/E	1,4
Metoprolol			μg/l	W/E	0,72
Sulfamethoxa	zol		μg/l	W/E	0,07
Terbutryn			μg/l	W/E	<0,025

7.3 Untersuchungsergebnisse Kläranlage im Rahmen der Studie

7.3.1 Screening- Ergebnisse

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta 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 hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-055256-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 23.05.2017
Probe Nr.				17-041718-01
Eingangsdatum				17.03.2017
Bezeichnung				K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Probenart				Abwasser
Probenahme				16.03.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Probenmenge				4,6 Liter
Untersuchungsb	eginn			17.03.2017
Untersuchungse	nde			13.04.2017

Probe Nr.			17-041718-01
Bezeichnung			K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Ciprofloxacin	μg/l	W/E	1,7
Östrogene Wirksamkeit		W/E	s. Anlage
Galaxolid (HHCB)	μg/l	W/E	1,7
Mecoprop	μg/l	W/E	0,13

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.			17-041718-01
Bezeichnung			K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Perfluoroctansäure (PFOA)	μg/l	W/E	<0,05
Perfluoroctan-1-sulfonsäure (PFOS)	μg/l	W/E	<0,05

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.

Bezeichnung

Acesulfam K

Prüfbericht Nr.	CAL17-055256-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17	Datum 23.0 5
Probe Nr.					17-041718-01
Bezeichnung					K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Sulfat (SO4)			mg/l	W/E	77,0
Chlorid (CI)			mg/l	W/E	190
Arzneimittel-R	ückstände				
Probe Nr.					17-041718-01
Bezeichnung					K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Clarithromycir	1		μg/l	W/E	1,3
Candesartan			μg/l	W/E	1,7
Carbamazepin	1		μg/l	W/E	1,2
Diclofenac			μg/l	W/E	5
Irbesartan			μg/l	W/E	0,45
Metoprolol			μg/l	W/E	4,3
Sotalol			μg/l	W/E	0,85
Sulfamethoxa	zol		μg/l	W/E	0,51
Terbutryn			μg/l	W/E	<0,05
Pflanzenschut	zmittel-Rückstände				
Probe Nr.					17-041718-01
Bezeichnung					K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Benzotriazol			μg/l	W/E	57

17-041718-01 K.A. Hörstel / Zulauf Biologie

0,038

W/E

mg/l

Prüfbericht Nr.	CAL17-055256-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 23.05.2017
Probe Nr.				17-041718-01-1
Eingangsdatum				17.03.2017
Bezeichnung				K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Probenart				Abwasser
Probenahme				16.03.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Probenmenge				4,6 Liter
Untersuchungsbe	eginn			10.05.2017
Untersuchungse	nde			22.05.2017

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.		17-041718-01-1
Bezeichnung		K.A. Hörstel / Zulauf Biologie
Gabapentin	mg/l W/E	0,012
Guanylharnstoff	mg/l W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-055256-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 23.05.2017
Abkürzungen	und Methoden			ausführender Standort
Pestizide, Arzneimittel i	und Metabolite mit LC-MS	DIN 38	1407-36 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ciprofloxacin Wasser		WES 8	119	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel i	und Metabolite mit LC-MS	DIN 38	3407-35 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Spezielle org. Stoffe mi	t LC-MS	WES 7	778 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Aromatische Nitroverbir	ndungen in Wasser	WES 8	122	Umweltanalytik Rhein-Main
Perfluorierte Carbon-ur	nd Sulfonsäuren in Wasser	DIN 38	407-42 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlor	id in Wasser/Eluat	DIN E	N ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Östrogenitätsuntersuch	ung von Rohwasser (ER CALAUX)	WEX	221	3.0
Gelöste Anionen, Sulfat	in Wasser/Eluat	DIN E	N ISO 103041A	Umweltanalytik Altenberge
Arzneimittelrückstände	in Wasser	WES 5	32	Umweltanalytik Altenberge
Benzotriazole und Süßs	stoffe in Wasser	DIN 38	3407-36 (F36)	(0.8)
Gabapentin		DIN38	3407-47 (F 47)	•
W/E		Wasse	r/Eluat	

Kai Dexheimer Dipl.-Landschaftsökologe Leiter Geschäftsfeld Wasser

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta

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 hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-040203-3	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 02.05.20 °
Probe Nr.				17-041745-01
Eingangsdatum				17.03.2017
Bezeichnung				K.A. Hörstel / Ablauf Nachklärbecken
Probenart				Abwasser
Probenahme				16.03.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Untersuchungsb	eginn			17.03.2017
Untersuchungse	ende			13.04.2017

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.		17-041745-01
Bezeichnung		K.A. Hörstel / Ablauf Nachklärbecken
pH-Wert	W/E	7,7
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	μS/cm W/E	1.300

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-041745-01
Bezeichnung			K.A. Hörstel / Ablauf Nachklärbecken
Ammonium (NH4)	mg/l	W/E	4,7
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/l	W/E	3,6
Bromid (Br)	mg/l	W/E	<0,5
Nitrat (NO3)	mg/l	W/E	23,0
Nitrat-Stickstoff (NO3-N)	mg/l	W/E	5,2
ortho-Phosphat (PO4)	mg/l	W/E	<0,03
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E	<0,01
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E	7,00
Gesamtphosphor (P)	mg/l	W/E	0,06

Candesartan

Carbamazepin

Guanylharnstoff

-01
-01
-01
-01
-01
-01
-01
• •

mg/l

µg/l

μg/l

W/E

W/E

W/E

0,037

1,6

1,1

Fruibericht Ni.	Prüfbericht Nr. CAL17-040203-3		CAL-01005-17		Datum 02.05.2
Probe Nr.					17-041745-01
Diclofenac			μg/l	W/E	4,1
Irbesartan			μg/l	W/E	0,58
Metoprolol			μg/l	W/E	3,5
Sotalol			μg/l	W/E	0,56
Sulfamethoxaz	ol		μg/l	W/E	0,25
Terbutryn			μg/l	W/E	<0,025
Ciprofloxacin			μg/l	W/E	0,12
Mecoprop			μg/l	W/E	0,31
Pflanzenschutz	mittel-Rückstände				-
Probe Nr.					17-041745-01
Bezeichnung					K.A. Hörstel / Ablauf
Benzotriazol			μg/l	W/E	Nachklärbecken 13
Belizotilazoi			рул	VV/C	
Süßstoffe					47.044745.04
Probe Nr.					17-041745-01 K A Hörstel / Ablauf
Bezeichnung					Nachklärbecken
Acesulfam K			mg/l	W/E	0,00071
					•
Röntgenkontras	stmittel				
Probe Nr.					17-041745-01
Bezeichnung					K.A. Hörstel / Ablauf
Dezelelilang					TC./ C. FTOTOCCT/ / (DIGG)
					Nachklärbecken
Iopamidol			mg/l	W/E	Nachklärbecken 0,00068
Iohexol			mg/l	W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015
Iohexol Iomeprol			mg/l mg/l	W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu			mg/l mg/l mg/l	W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu	ure		mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure	ure		mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure	ure		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure	ure		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003 <0,000025
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure	иге		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure Iodipamid Sonstige Analys	иге		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003 <0,000025
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure Iodipamid	иге		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003 <0,000025 17-041745-01
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure Iodipamid Sonstige Analys	иге		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,00003 <0,000025
Iohexol Iomeprol Ioxithalaminsäu Amidotrizoesäu Iotalaminsäure Iopromid Ioxaglinsäure Iodipamid Sonstige Analys	sen		mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l	W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E W/E	Nachklärbecken 0,00068 0,0015 0,00026 0,00013 0,00014 <0,000025 0,000025 <0,000025 17-041745-01 K.A. Hörstel / Ablauf

Prüfbericht Nr	CAL17-040203-3	Auffrag Nr	CAL-01005-17	Datum 02.05.2017

Abkürzungen und Methoden		ausführender Standort
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-36 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ciprofloxadin Wasser	WES 819	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-35 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS	WES 778 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser	WES 822	Umweltanalytik Rhein-Main
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser	DIN 38407-42 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Arzneimittelrückstände in Wasser	WES 532	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	DIN EN 1484 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)	DIN 38407-36	*
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	DIN 38407 F8 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff, gesamt, gebunden, TNb	DIN EN 12260 H34 ^A	Umweltanalytik Oppin
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3) ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamtphosphor in Wasser	DIN EN ISO 6878 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 17294-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phosphat in Wasser/Eluat	DIN EN 1189 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat	DIN EN 1899-1 H51 ^A	Umweltanalytik Altenberge
pH-Wert in Wasser/Eluat	DIN 38404-5 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat	DIN EN 27888 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ammonium	DIN 38406 E5-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat	DIN 38409 H7 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gabapentin	DIN 38407-47 (F 47)	*
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser	DIN 38407-36 (F36)	
Östrogenitätsuntersuchung von Rohwasser (ER CALAUX)	WEX 1219	*
W/E	Wasser/Eluat	

Dieser Prüfbericht ersetzt Prüfbericht CAL17-040203-2 vom 13.04.2017.

Kai Dexheimer Dipl.-Landschaftsökologe Leiter Geschäftsfeld Wasser

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 ER-CALUX

Dargestellt sind die Ergebnisse des ER-CALUX als 17β-Estradiol Äquivalenten, den sogenannten EEQ-Werten. Bei diesen EEQ-Werten handelt es sich um einen Summenparameter, der die Wirkung aller östrogen wirksamen Substanzen darstellt.

Bei der ersten untersuchten Probe konnte ein EEQ-Wert von 0,65 ng EEQ/L detektiert werden. Die zweite Probe lag unterhalb der Bestimmungsgrenze, so dass kein EEQ-Wert angegeben werden kann (Tabelle 1). Im Ablauf konnte die geringe östrogene Aktivität somit eliminiert werden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Östrogenitätsuntersuchung mittels ER CALUX

Probennummer	Probenbezeichnung	EEQ	LOQ	LOD
		ng/L	ng EEQ/L	ng EEQ/L
17-041718-01	K.A. Hörstel / Zulauf	0,65	0,04	0,13
17-041745-01	K.A. Hörstel / Ablauf	< Min	0,04	0,13

EEQ = 17β-Estradiol Äquivalente; LOQ = limit of quantification (Bestimmungsgrenze);

LOD = limit of detection (Nachweisgrenze)

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 28.08.20
Probe Nr.				17-124487-03
Eingangsdatum				08.08.2017
Bezeichnung				Ablauf
Probenart				Fließgewässer
Probenahme				08.08.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Grieveson
Probengefäß				2x 1000 + 500 + 5x 250 ml Schliff 1000 + 500 + 250 + 5x 100 ml PE 2x 40 ml HS
Anzahl Gefäße				18
Untersuchungsb	eginn			08.08.2017
Untersuchungse	ende			06.09.2017

Probe Nr.		17-124487-03
Bezeichnung		Ablauf
Östrogene Wirksamkeit	W/E	s. Anhang

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.		17-124487-03
Bezeichnung		Ablauf
pH-Wert	W/E	7,9
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	μS/cm W/E	1.200

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-124487-03
Bezeichnung			Ablauf
Iopamidol	mg/l	W/E	0,00098
Iohexol	mg/l	W/E	0,00012
Iomeprol	mg/l	W/E	<0,000025
Ioxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00006
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,0015
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	<0,000025
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
Iodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	385-1 Auftrag Nr. CAL-01005-17		5-17	Datum 28.08.2017
Süßstoffe		<u> </u>			
Probe Nr.					17-124487-03
Bezeichnung					Ablauf
Acesulfam K			mg/l	W/E	0,00084
Cyclamat			mg/l	W/E	0,00019
Saccharin			mg/l	W/E	0,00005
Sucralose			mg/l	W/E	0,0069
Pflanzenschut	zmittel-Rückstände				
Probe Nr.					17-124487-03
Bezeichnung					Ablauf
Mecoprop			μg/l	W/E	0,25
Kationen, Anio	nen und Nichtmetalle				17-124487-03
Bezeichnung					Ablauf
Ammonium (N	H4)		mg/l	W/E	0,22
	ickstoff (NH4-N)			W/E	0,17
Bromid (Br)	(NOTOTI (14114-14)		mg/l mg/l	W/E	0,1
Nitrat (NO3)			mg/l	W/E	25,0
Nitrat-Sticksto	off (NO3-N)		mg/l	W/E	5,6
ortho-Phospha	-		mg/l	W/E	0,09
ortho-Phospha			mg/l	W/E	0,03
Stickstoff, ges			mg/l	W/E	6,8
Gesamtphosp			mg/l	W/E	0,14
Chlorid (CI)			mg/l	W/E	190
Sulfat (SO4)			mg/l	W/E	100
Summenparar	neter				
Probe Nr.					17-124487-03
Bezeichnung					Ablauf
BSB5 (homoge	enisiert, mit ATH)		mg/l	W/E	<3,00
DOC			mg/l	W/E	11
тос			mg/l	W/E	13,0
Perfluorierte C	arbon- und Sulfonsäuren				
Probe Nr.					17-124487-03
Bezeichnung					Ablauf
Perfluoroctan	säure (PFOA)		μg/l	W/E	<0,05
Perfluoroctan	-1-sulfonsäure (PFOS)		μg/l	W/E	<0,05

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17		Datum	28.08.2017
Korrosionssch	nutzmittel						
Probe Nr.						17-124487-03	3
Bezeichnung					Ablauf		
Benzotriazol			μg/l	W/E	11		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-124487-03
Bezeichnung			Ablauf
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstiges

Probe Nr.			17-124487-03
Bezeichnung			Ablauf
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	4,00

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.			17-124487-03
Bezeichnung			Ablauf
Bor (B)	mg/l	W/E	0,13

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.			17-124487-03
Bezeichnung			Ablauf
Ciprofloxacin	μg/l	W/E	0,11
Clarithromycin	μg/l	W/E	<0,025
Gabapentin	mg/l	W/E	0,0012
Guanylharnstoff	mg/l	W/E	0,028
Candesartan	μg/l	W/E	4,4
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,3
Diclofenac	μg/l	W/E	4,2
Irbesartan	μg/l	W/E	0,58
Metoprolol	μg/l	W/E	2,6
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	0,84
Terbutryn	µg/l	W/E	0,071

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17		Datum	28.08.2017
Sonstige Unter	rsuchungen						
Probe Nr.						17-124487-03	3
Bezeichnung					Ablauf		
Galaxolid (HH	CB)		μg/l	W/E	<0,05		

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 28.08.201
Probe Nr.				17-124487-04
Eingangsdatum				08.08.2017
Bezeichnung				Zulauf
Probenart				Fließgewässer
Probenahme				08.08.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Grieveson
Probengefäß				1000 + 2x 250 ml Schliff 1000 + 250 + 100 ml PE
Anzahl Gefäße				6
Untersuchungsb	eginn			08.08.2017
Untersuchungse	nde			06.09.2017

Probe Nr.		17-124487-04
Bezeichnung		Zulauf
Östrogene Wirksamkeit	W/E	s. Anhang

Süßstoffe

Probe Nr.			17-124487-04
Bezeichnung			Zulauf
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,042

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.		17-124487-04
Bezeichnung		Zulauf
Mecoprop	μg/l W/E	0,35

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-124487-04
Bezeichnung			Zulauf
Chlorid (CI)	mg/l	W/E	190
Sulfat (SO4)	mg/l	W/E	71,0

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.		17-124487-04
Bezeichnung		Zulauf
Perfluoroctansäure (PFOA)	μg/l W/E	<0,05
Perfluoroctan-1-sulfonsäure (PFOS)	μg/I W/E	<0,1

Galaxolid (HHCB)

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-0100	5-17	Datum 28.08.201
Korrosionssch	nutzmittel				
Probe Nr.					17-124487-04
Bezeichnung					Zulauf
Benzotriazol			μg/l	W/E	20
Arzneimittel-R	ückstände				
Probe Nr.					17-124487-04
Bezeichnung					Zulauf
Ciprofloxacin			μg/l	W/E	1,3
Clarithromycir	1		μg/l	W/E	0,33
Gabapentin			mg/l	W/E	0,033
Guanylharnst	off		mg/l	W/E	0,00036
Candesartan			μg/l	W/E	2,8
Carbamazepin	1		μg/l	W/E	1,1
Diclofenac			μg/l	W/E	5,9
Irbesartan			μg/l	W/E	0,83
Metoprolol			μg/l	W/E	5,5
Sotalol			μg/l	W/E	0,65
Sulfamethoxa	zol		μg/l	W/E	1,1
Terbutryn			μg/l	W/E	0,11
Sonstige Unte	rsuchungen				
Probe Nr.					17-124487-04
Bezeichnung					Zulauf

0,78

μg/l

W/E

Prüfbericht Nr.	CAL17-096385-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 28.08.2017

DIN 38407-36^A

DIN 38407 F8^A

DIN EN ISO 10304-1^A

DIN EN ISO 15587-2^A

DIN EN ISO 10304-1^A

DIN EN ISO 10304-1^A

DIN EN 1484 (H3)A

DIN EN ISO 6878A

DIN EN 1899-1 H51A

DINEN ISO 11885A

WES 778A

WES 819

WES 532

DIN 38407-35A

DIN 38407-42^A

DIN EN 1484^A

DIN EN 1189^A

DIN 38404-5^A

DIN EN 27888^A

DIN 38406 E5-1A

DIN 38409 H7A

WES 822

WEX 1219

Wasser/Eluat

DIN EN 12260 H34A

DIN 38407-47 (F 47)

DIN 38407-36 (F36) DIN 38407-36

Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS Spezielle org. Stoffe mit LC-MS Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) Gelöste Anionen in Wasser/Eluat Metalle/Elemente in Wasser/Eluat Salpetersäure Aufschluss A32 Ciprofloxadin Wasser Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser Arzneimittelrückstände in Wasser Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) Gesamtphosphorin Wasser Phosphat in Wasser/Eluat Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat pH-Wert in Wasser/Eluat Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat Ammonium Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat Stickstoff, gesamt, gebunden, TNb Aromatische Nitroverbindungen in Wasser Östrogenitätsuntersuchung von Rohwasser (ER CALAUX) Gabapentin Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)

ausführender Standort Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Oppin Umweltanalytik Rhein-Main

W/E

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

7.3.2 Monitoring - Ergebnisse

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta

Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gortheil +49 2505 89 164 +49 2505 89 185 Fax: Simon.Gortheil E-Mail:

@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-149544-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
Probe Nr.				17-179563-01
Eingangsdatum				14.11.2017
Bezeichnung				Zulauf Biologie
Probenart				Abwasser
Probenahme				13.11.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Probenmenge				0,5 Liter
Probengefäß				250 ml BG
Anzahl Gefäße				2
Untersuchungsb	eginn			14.11.2017
Untersuchungse	ende			13.12.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.		17-179563-01
Bezeichnung		Zulauf Biologie
Carbamazepin	μg/l W/E	1,2
Diclofenac	μg/l W/E	5,5
Metoprolol	μg/l W/E	4,7
Sotalol	μg/l W/E	0,47
Sulfamethoxazol	μg/l W/E	1,6
Terbutryn	μg/l W/E	<0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-179563-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie
Benzotriazol	μg/l	W/E	22

Prüfbericht Nr.	CAL17-149544-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
Probe Nr.				17-179563-02
Eingangsdatum				14.11.2017
Bezeichnung				Ablauf NKB
Probenart				Abwasser
Probenahme				13.11.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Murat Can
Probenmenge				2,95 Liter
Probengefäß				2x1 L BG 3x250 ml BG 2x100 ml PE
Anzahl Gefäße				7
Untersuchungsb	eginn			14.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00076

Probenvorbereitung

Probe Nr.		17-179563-02
Bezeichnung		Ablauf NKB
HNO3-Aufschluss	W/E	14.11.2017

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
lopamidol	mg/l	W/E	0,00064
Iohexol	mg/l	W/E	0,00042
Iomeprol	mg/l	W/E	0,00007
loxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00079
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,00053
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	0,00004
loxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-149544-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
Elemente				
Probe Nr.				17-179563-02
Bezeichnung				Ablauf NKB
Bor (B)			mg/l W/E	0,17

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.		17-179563-02
Bezeichnung		Ablauf NKB
Carbamazepin	μg/l W/E	1,2
Diclofenac	μg/l W/E	4,6
Metoprolol	μg/l W/E	3,3
Sotalol	μg/l W/E	0,43
Sulfamethoxazol	μg/l W/E	0,87
Terbutryn	μg/l W/E	0,056

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
Benzotriazol	μg/l	W/E	11

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.			17-179563-02
Bezeichnung			Ablauf NKB
Galaxolid (HHCB)	μg/l	W/E	0,86

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

Datum 05.12.2017

Abkürzungen und Methoden

Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS DIN 38407-36 (2014-09)A WES 778 (2012-14)A Spezielle org. Stoffe mit LC-MS Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) DIN 38407 F8 (1995-10)A Gelöste Anionen in Wasser/Eluat DIN EN ISO 10304-1 (2009-07)A DIN EN ISO 11885 (2009-09)A Metalle/Elemente in Wasser/Eluat Salpetersäure Aufschluss A32 DIN EN ISO 15587-2 (2002-07)A WES 822 Aromatische Nitroverbindungen in Wasser Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe) DIN 38407-36 Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser DIN 38407-36 (F36) W/E Wasser/Eluat

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Altenberge
Umweltanalytik Rhein-Main

S. Sorthel

Simon Gortheil Chemietechniker Sachverständiger Wasser

Seite 4 von 4

^{*} Durchführung in Kooperationslabor



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7. 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gortheil

Durchwahl: +49 2505 89 164

Fax: +49 2505 89 185

E-Mail: Simon.Gortheil
@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-149557-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-180296-01
Eingangsdatum				15.11.2017
Bezeichnung				Zulauf Biologie / K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				14.11.2017
Probenahme durc	h			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				0,5 Liter
Probengefäß				250 ml BG
Anzahl Gefäße				2
Untersuchungsbe	ginn			15.11.2017
Untersuchungsen	de			15.12.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Zulauf Biologie / K.A. Hörstel Carbamazepin				
Carbamazepin μg/l W/E 1,1 Diclofenac μg/l W/E 7 Metoprolol μg/l W/E 4,6 Sotalol μg/l W/E 0,55 Sulfamethoxazol μg/l W/E 1,5	Probe Nr.			17-180296-01
Diclofenac μg/l W/E 7 Metoprolol μg/l W/E 4,6 Sotalol μg/l W/E 0,55 Sulfamethoxazol μg/l W/E 1,5	Bezeichnung			Zulauf Biologie / K.A. Hörstel
Metoprolol μg/l W/E 4,6 Sotalol μg/l W/E 0,55 Sulfamethoxazol μg/l W/E 1,5	Carbamazepin	μg/l	W/E	1,1
Sotalol μg/l W/E 0,55 Sulfamethoxazol μg/l W/E 1,5	Diclofenac	μg/l	W/E	7
Sulfamethoxazol µg/l W/E 1,5	Metoprolol	μg/l	W/E	4,6
pg// 17/2	Sotalol	μg/l	W/E	0,55
Terbutryn μg/l W/E <0,1	Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1,5
	Terbutryn	μg/l	W/E	<0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-180296-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie / K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	30

Prüfbericht Nr.	CAL17-149557-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-180296-02
Eingangsdatum				15.11.2017
Bezeichnung				Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				14.11.2017
Probenahme durc	h			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				2,95 Liter
Probengefäß				2x1 L BG 3x250 ml BG 2x100 ml PE
Anzahl Gefäße				7
Untersuchungsbe	ginn			15.11.2017
Untersuchungsen	de			15.12.2017

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00069

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-180296-02
Bezeichnung	Ablauf NKB, K.A. Hörstel
HNO3-Aufschluss	W/E 17.11.2017

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Iopamidol	mg/l	W/E	0,00047
Iohexol	mg/l	W/E	0,00012
Iomeprol	mg/l	W/E	0,00005
loxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00053
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,00055
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	<0,000025
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
Iodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-149557-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201 7
Elemente				
Probe Nr.				17-180296-02
Bezeichnung				Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Bor (B)			mg/l W/E	0,27

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,1
Diclofenac	μg/l	W/E	0,47
Metoprolol	μg/l	W/E	3
Sotalol	μg/l	W/E	0,44
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	0,89
Terbutryn	μg/l	W/E	0,054

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	10

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-180296-02
Bezeichnung			Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.		17-180296-02
Bezeichnung		Ablauf NKB, K.A. Hörstel
Galaxolid (HHCB)	μg/I W/E	0,77

Prüfbericht Nr.	CAL17-149557-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
150				57

DIN 38407-36 (2014-09)A

DIN 38407 F8 (1995-10)A

DIN EN ISO 10304-1 (2009-07)A

DIN EN ISO 11885 (2009-09)A

DIN EN ISO 15587-2 (2002-07)A

WES 778 (2012-14)^A

WES 822

DIN 38407-36

DIN 38407-36 (F36)

Abkürzungen und Methoden

Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Salpetersäure Aufschluss A32
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser

Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe) Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

W/E Wasser/Eluat

ausführender Standort

Umweltanalyšk Altenberge

Simon Gortheil Chemietechniker Sachverständiger Wasser

Seite 4 von 4

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gortheil

Durchwahl: +49 2505 89 164

Fax: +49 2505 89 185

E-Mail: Simon.Gortheil
@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-149559-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-180884-01
Eingangsdatum				15.11.2017
Bezeichnung				Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				15.11.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				0,5 Liter
Probengefäß				250 ml BG
Anzahl Gefäße				2
Untersuchungsb	eginn			15.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-180884-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,3
Diclofenac	μg/l	W/E	7,5
Metoprolol	μg/l	W/E	5,5
Sotalol	μg/l	W/E	0,61
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	2,3
Terbutryn	μg/l	W/E	<0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-180884-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	31

Prüfbericht Nr.	CAL17-149559-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-180884-02
Eingangsdatum				15.11.2017
Bezeichnung				Ablauf NKB K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				15.11.2017
Probenahme dur	rch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				2,95 Liter
Probengefäß				2x1 L BG 3x250 ml BG 2x100 ml PE
Anzahl Gefäße				7
Untersuchungsb	eginn			15.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Probe Nr.			17-180884-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00073

Probenvorbereitung

Probe Nr.		17-180884-02
Bezeichnung		Ablauf NKB K.A. Hörstel
HNO3-Aufschluss	W/E	17.11.2017

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-180884-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Iopamidol	mg/l	W/E	0,0005
Iohexol	mg/l	W/E	0,00087
Iomeprol	mg/l	W/E	0,00003
loxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00064
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,00084
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	0,00014
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-149559-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
Elemente				
Probe Nr.				17-180884-02
Bezeichnung				Ablauf NKB K.A. Hörstel
Bor (B)			mg/l W/E	0,31

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-180884-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,3
Diclofenac	μg/l	W/E	5,4
Metoprolol	μg/l	W/E	3,4
Sotalol	μg/l	W/E	0,5
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1
Terbutryn	μg/l	W/E	0,056

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-180884-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.		17-180884-02
Bezeichnung		Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l W/E	11

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-180884-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.		17-180884-02
Bezeichnung		Ablauf NKB K.A. Hörstel
Galaxolid (HHCB)	μg/l W/E	0,93

Prüfbericht Nr.	CAL17-149559-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum	05.12.2017
Abkürzungen	und Methoden			ausführender Sta	ndort
Pestizide, Arzneimittel	und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-36 (2014-0	9yA	Umweltanaiytik Altenberge	
Spezielle org. Stoffe mi	it LC-MS	WES 778 (2012-14) ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Polycyclische aromatis	che Kohlenwasserstoffe (PAK)	DIN 38407 F8 (1995-1	DyA.	Umweltanalytik Altenberge	
Gelöste Anionen in Was	sser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 (2009-07) ^A	Umweltanalytik Altenberge	
Metalle/Elemente in Wa	asser/Eluat	DIN EN ISO 11885 (20	09-09) ^A	Umweltanalytik Altenberge	
Salpetersäure Aufschlus	ss A32	DIN EN ISO 15587-2 (2002-07) ^A	Umweltanaiytik Altenberge	
Aromatische Nitroverbir	ndungen in Wasser	WES 822		Umweltanalytik Rhein-Main	
Organische Stoffe in W	/asser (z.B.: RKM und Süßstoffe)	DIN 38407-36			*
Benzotriazole und Süßs	stoffe in Wasser	DIN 38407-36 (F36)			

S. Souther

Simon Gortheil Chemietechniker Sachverständiger Wasser

Seite 4 von 4

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gortheil

Durchwahl: +49 2505 89 164

Fax: +49 2505 89 185

E-Mail: Simon.Gortheil
@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-149572-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-181655-01
Eingangsdatum				16.11.2017
Bezeichnung				Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				16.11.2017
Probenahme dure	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				0,5 Liter
Probengefäß				250 ml BG
Anzahl Gefäße				2
Untersuchungsbe	eginn			16.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-181655-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,2
Diclofenac	μg/l	W/E	6
Metoprolol	μg/l	W/E	5
Sotalol	μg/l	W/E	0,56
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1,8
Terbutryn	μg/l	W/E	<0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-181655-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	26

Prüfbericht Nr.	CAL17-149572-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201 7
Probe Nr.				17-181655-02
Eingangsdatum				16.11.2017
Bezeichnung				Ablauf NKB K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				16.11.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				2,95 Liter
Probengefäß				2x1 L BG 3x250 ml BG 2x100 ml PE
Anzahl Gefäße				7
Untersuchungsbe	eginn			16.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00073

Probenvorbereitung

Probe Nr.		17-181655-02
Bezeichnung		Ablauf NKB K.A. Hörstel
HNO3-Aufschluss	W/E	17.11.2017

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Iopamidol	mg/l	W/E	0,00044
Iohexol	mg/l	W/E	0,0012
Iomeprol	mg/l	W/E	<0,000025
loxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,0008
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,0012
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	0,0001
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-149572-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-	17	Datum	05.12.2017
Elemente						
Probe Nr.					17-181655-02	2
Bezeichnung					Ablauf NKB K.A. Hörste	I
Bor (B)			mg/l	W/E	0,35	

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,3
Diclofenac	μg/l	W/E	5,7
Metoprolol	μg/l	W/E	3,6
Sotalol	μg/l	W/E	0,52
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1,1
Terbutryn	μg/l	W/E	0,049

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.		17-181655-02
Bezeichnung		Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l W/E	12

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.			17-181655-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Galaxolid (HHCB)	μg/l	W/E	0,79

Prüfbericht Nr.	CAL17-149572-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
7				- 5

Abkürzungen und Methoden

DIN 38407-36 (2014-09)A Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS Spezielle org. Stoffe mit LC-MS WES 778 (2012-14)A Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) DIN 38407 F8 (1995-10)A DIN EN ISO 10304-1 (2009-07)A Gelöste Anionen in Wasser/Eluat DIN EN ISO 11885 (2009-09)A Metalle/Elemente in Wasser/Eluat DIN EN ISO 15587-2 (2002-07)A Salpetersäure Aufschluss A32 Aromatische Nitroverbindungen in Wasser WES 822 Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe) DIN 38407-36 Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser DIN 38407-36 (F36)

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Rhein-Main

.

S. Southel

Simon Gortheil Chemietechniker Sachverständiger Wasser

W/E Wasser/Eluat

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

BERATUNG ANALYTIK PLANUNG



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

WESSLING GmbH. Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling + Rolfs GmbH Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung Herr Dipl.-Ing. Schütte Rombergstraße 46 49377 Vechta Geschäftsfeld: Wasser

 Ansprechpartner:
 S. Gortheil

 Durchwahl:
 +49 2505 89 164

 Fax:
 +49 2505 89 185

 E-Mail:
 Simon.Gortheil @wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hörstel

Prüfbericht Nr.	CAL17-149589-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201
Probe Nr.				17-183127-01
Eingangsdatum				20.11.2017
Bezeichnung				Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				17.11.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				0,5 Liter
Probengefäß				250 ml BG
Anzahl Gefäße				2
Untersuchungsb	eginn			20.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-183127-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,3
Diclofenac	μg/l	W/E	5
Metoprolol	μg/l	W/E	4,9
Sotalol	μg/l	W/E	0,63
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1,6
Terbutryn	μg/l	W/E	<0,1

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-183127-01
Bezeichnung			Zulauf Biologie K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	25

Prüfbericht Nr.	CAL17-149589-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.201 7
Probe Nr.				17-183127-02
Eingangsdatum				20.11.2017
Bezeichnung				Ablauf NKB K.A. Hörstel
Probenart				Abwasser
Probenahme				17.11.2017
Probenahme dur	ch			WESSLING GmbH
Probenehmer				Herr Michael Funke
Probenmenge				2,95 Liter
Probengefäß				2x1 L BG 3x250 ml BG 2x100 ml PE
Anzahl Gefäße				7
Untersuchungsb	eginn			20.11.2017
Untersuchungse	nde			13.12.2017

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00091

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-183127-02
Bezeichnung	Ablauf NKB K.A. Hörstel
HNO3-Aufschluss W/E	21.11.2017

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
lopamidol	mg/l	W/E	0,00039
Iohexol	mg/l	W/E	0,00067
Iomeprol	mg/l	W/E	<0,000025
loxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00073
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,0012
lotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
lopromid	mg/l	W/E	<0,000025
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025
Iodipamid	mg/l	W/E	<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-149589-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
Elemente				
Probe Nr.				17-183127-02
Bezeichnung				Ablauf NKB K.A. Hörstel
Bor (B)			mg/l W/E	0,21

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Carbamazepin	μg/l	W/E	1,2
Diclofenac	μg/l	W/E	5,3
Metoprolol	μg/l	W/E	3,4
Sotalol	μg/l	W/E	0,5
Sulfamethoxazol	μg/l	W/E	1
Terbutryn	μg/l	W/E	0,044

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.			17-183127-02	
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel	
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1	

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzotriazol	μg/l	W/E	12

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Benzo(a)pyren	μg/l	W/E	<0,02

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.			17-183127-02
Bezeichnung			Ablauf NKB K.A. Hörstel
Galaxolid (HHCB)	μg/l W	//E	0,74

Prüfbericht Nr.	CAL17-149589-1	Auftrag Nr.	CAL-01005-17	Datum 05.12.2017
1 Tallourion Line		, idia dig , ii-	The first Committee of the Committee of	Datam TT.

DIN 38407-36 (2014-09)A

DIN 38407 F8 (1995-10)A

DIN EN ISO 10304-1 (2009-07)A

DIN EN ISO 11885 (2009-09)A

DIN EN ISO 15587-2 (2002-07)A

WES 778 (2012-14)A

WES 822

DIN 38407-36

Abkürzungen und Methoden

Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Salpetersäure Aufschluss A32
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

DIN 38407-36 (F36)

W/E

Wasser/Eluat

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge Umweltanalytik Rhein-Main

*

Simon Gortheil Chemietechniker Sachverständiger Wasser

S. Southeil

Seite 4 von 4

^{*} Durchführung in Kooperationslabor

8 Anhang B – Investitionen

8.1 Investitionen Variante 1

PAK-Dosierung in die Belebung				
FAR-Dosiel ding in die belebung		er de cr	5	0
Davida aliasili.	Menge	Einneit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	50.000,00€	50.000,00€
Vorbereitende Arbeiten:				
Geländeauffüllung	500	m³	10,00€	5.000,00€
Erweiterumg der Einzäunung	50	m	60,00€	3.000,00€
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Nachklärbecken bzw. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00€	15.000,00€
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und				
Schlosserarbeiten	90	m³	500,00€	45.000,00€
Nachfällung Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	410	m³	400,00€	164.000,00€
Flockungsfiltration/Tuchfilter (Vollstrom): Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen, inkl.				
Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	450	m³	400,00€	180.000,00€
Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel inkl. Erdarbeiten und Ausbauewerke	160	m³	450,00€	72.000,00€
Fundamentplatte für Fällmittelbehälter und PAK-Silo inkl. Abtankplatz nach WHG und				
Erdarbeiten	1	Psch	50.000,00€	50.000,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	300	m	580,00€	174.000,00€
DN 100	80	m	125,00€	10.000,00€
Leerrohre DN 100	_	m	125,00€	2.500,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	500		120,00€	60.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen	_	Psch	5.000,00€	5.000,00€
Zwischensumme baulich netto				835.500,00€
Maschinen- und Anlagentechnik				
Zwischenpumpwerk: 3 Abwasserpumpen (Q=je 550 m³/h) in Nassaufstellung inkl. Rohrleitungen				
und Armaturen		Psch	72.000,00€	72.000,00€
PAK-Silo (V = 40 m³) inkl. Dosiereinheiten	1	Stk	240.000,00€	240.000,00€
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerk	1	Stk	10.000,00€	10.000,00€
Fällmitteltank (V = 25 m³) mit Dosieranlage	1	Stk	75.000,00€	75.000,00€
Ausrüstung Feinfiltration:		Den	73.000,000	75.000,000
Filtereinheiten à 60 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe,				
Filtertücher	3	Stk	140.000,00€	420.000,00€
Zulaufwehre (1.000/400)		Stk	10.000,00€	30.000,00€
Gewindeschieber DN 400	1			,
	1	Stk	5.000,00€	15.000,00€
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00€	25.000,00€
Summe maschinell netto				887.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik			266.100,00€	266.100,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				266.100,00€
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			29.800,00€	29.800,00€
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			397.700,00€	397.700,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			19.900,00€	19.900,00€
Summe Nebenkosten netto				447.400,00€
Gesamtkosten netto				2.436.000,00€
+ 19 % Mehrwertsteuer				462.840,00€
Zwischensumme brutto				2.898.840,00€

8.2 Investitionen Variante 2

	F: 1 :	e: 1 : fe 1	0
ivienge	Einneit	Einzeipreis [Euro]	Gesamtpreis netto (Euro)
1	Psch	80.300,00€	80.300,00€
1.800	m²	20,00€	36.000,00€
2.000	m³	10,00€	20.000,00€
110	m	60,00€	6.600,00€
1	Psch	10.000,00€	10.000,00€
18	m³	1.500,00€	27.000,00€
	,		
			35.000,00€
			162.000,00€
			300.000,00€
185	m³	400,00€	74.000,00€
240	3	400.00.5	424,000,000
310	m³	400,00€	124.000,00€
80	m ³	500 00 €	40.000,00€
160	m-	450,00€	72.000,00€
1	Psch	50 000 00 €	50.000,00€
	. 50	30.000,000	30.000,000
80	m³	600,00€	48.000,00€
			·
15	m	580.00€	8.700,00€
	i i	,	150.000,00€
			4.800,00€
			20.000,00€
			6.250,00€
			20.000,00€
			114.000,00€
1	Psch	10.000,00€	10.000,00€
			1.418.650,00€
1	Stk	5.000,00€	5.000,00€
1	Psch	48.000,00€	48.000,00€
1	Stk	240.000,00€	240.000,00€
3	Stk	10.000,00€	30.000,00€
	i	80.000,00€	80.000,00€
1	Stk	80.000,00€	
	Stk Stk	5.000,00€	10.000,00€
2	1		10.000,00 € 20.000,00 €
2	Stk	5.000,00€	
4	Stk	5.000,00€	
	1.800 2.000 110 1 18 70 405 1.500 185 310 80 160 1 1 950 1 1 1 1 1 1 1	Menge Einheit 1 Psch 1.800 m² 2.000 m³ 110 m 1 Psch 18 m³ 70 m³ 405 m³ 1.500 m²	1 Psch 80.300,00 € 1.800 m² 20,00 € 2.000 m³ 10,00 € 110 m 60,00 € 1 Psch 10.000,00 € 18 m³ 1.500,00 € 405 m³ 400,00 € 1.500 m³ 200,00 € 185 m³ 400,00 € 310 m³ 500,00 € 80 m³ 500,00 € 160 m³ 450,00 € 1 Psch 50.000,00 € 15 m 580,00 € 15 m 320,00 € 15 m 320,00 € 15 m 125,00 € 160 m 125,00 € 1 Psch 20.000,00 € 1 Psch 20.000,00 € 1 Psch 10.000,00 € 1 Psch 20.000,00 € 1 Psch 20.000,00 € 1 Psch 20.000,00 €

Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 30 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe,				
Filtertücher	3	Stk	105.000,00€	315.000,00€
Zulaufwehr (1.000/400)	3	Stk	10.000,00€	30.000,00€
Gewindeschieber DN 400	3	Stk	5.000,00€	15.000,00€
Rezirkulationsumpwerk				
Abwasserpumpe (Q = 350 m³/h) in Nassaufstellung mit Rohrleitungen und Armaturen	2	Stk	16.000,00€	32.000,00€
Schmutzwasserpumpe (Q = 30 m³/h) in Nassaufstellung mit Rohrleitungen und Armaturen	1	Stk	8.000,00€	8.000,00€
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00€	25.000,00€
Ablaufmengenmessung: MID-Messgerät DN 400 inkl. Rohrleitungen und Absperrarmaturen	1	Stk	15.000,00€	15.000,00€
Summe maschinell netto				958.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto			287.400,00€	287.400,00€
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			40.000,00€	40.000,00€
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			532.800,00€	532.800,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			26.600,00€	26.600,00€
Zwischensumme netto				599.400,00€
Gesamtkosten netto				3.263.450,00€
+ 19 % Mehrwertsteuer				620.055,50€
Zwischensumme brutto				3.883.505,50€

8.3 Investitionen Variante 3

Ozonung				
Storiums	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik	ivierige	Ellilleit	Emzerpreis (Euro)	Gesamtpreis netto (Euro)
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	61.050,00€	61.050,00€
Vorbereitende Arbeiten		7 3011	01.030,00 €	01.050,00 €
Nadelwald fällen und Baumstubben rodden	1.500	m²	20,00€	30.000,00€
Geländeauffüllung	1.700		10,00€	17.000,00€
Erweiterumg der Einzäunung	100		60,00€	6.000,00€
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Ablaufmengenmessung)		Psch	10.000,00€	10.000,00€
Trennbauwerk (Umbau Ablaufmengenmessung): 2 Stahlbetonschächte inkl. Erdarbeiten,	_	7 3011	10.000,00 €	10.000,00 €
Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	18	m³	1.500,00€	27.000,00€
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	75	m³	500,00€	37.500,00€
Ozonkontaktbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufschächte inkl. Erdarbeiten,				
Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	410	m³	400,00€	164.000,00€
Stahlcontainer für Ozongenerator und Kühlung inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m³	400,00€	40.000,00€
Fundamentplatte für Sauerstofftanks und Verdampferanlage	1	Stk	10.000,00€	10.000,00€
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	210	m³	400,00€	84.000,00€
Flockungsfiltration / Tuchfilter (Teilstrom), Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	300	m³	400,00€	120.000,00€
Dosierhaus mit Fäll- und Flockungsmitteln, inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	160	m³	450,00€	72.000,00€
Fundamentplatte für Fällmittelbehälter und PAK-Silo inkl. Abtankplatz nach WHG und Erdarbeiten		Psch	30.000,00€	30.000,00€
Ablaufmengenmessung: Stahlbetonschachtbauwerk, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m³	600,00€	48.000,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	15		580,00€	8.700,00€
DN 500	360		400,00€	144.000,00€
DN 400	15		320,00€	4.800,00€
DN 100	140		125,00€	17.500,00€
Leerrohre DN 100	50		125,00€	6.250,00€
Rohrleitungsanschlüsse		Psch	20.000,00€	20.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	925		120,00€	111.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00€	10.000,00€
Zwischensumme baulich netto				1.078.800,00€
Blackings and Aplacente shall				
Maschinen- und Anlagentechnik				
Ausrüstung Trennbauwerk				
Nachrüstung eines E-Antriebes für Gewindeschieber Zwischenpumpwerk	1	Stk	5.000,00€	5.000,00€
Abwasserpumpe (Q = 250 m³/h) in Nassaufstellung mit Armaturen und Rohrleitungen	1	Psch	48.000,00€	48.000,00€
Ozonkontaktbecken:		PSCII	48.000,00€	48.000,00€
Absenkrinnenschieber mit E-Antrieb	1	Stk	7.500,00€	30.000,00€
Ozonanlage bestehend aus Ozongenerator, Keramikdiffusoren, Kühlwassersystem und	- 4	JIK	7.300,00€	30.000,00 €
Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage	1	Stk	350.000,00€	350.000,00€
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerk	1	Stk	10.000,00€	10.000,00€
Fällmitteltank (V = 25 m³) inkl. Dosieranlage	1	Stk	75.000,00€	75.000,00€
Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 30 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher	3	Stk	105.000,00€	315.000,00€
Zulaufwehr (1.000/400)		Stk	10.000,00€	30.000,00€
Gewindeschieber DN 400		Stk	5.000,00€	15.000,00€
Lager-/Dosierstation für FHM		Stk	25.000,00€	25.000,00€
Ablaufmengenmessung: MID-Messgerät DN 400 inkl. Rohrleitungen und Absperrarmaturen		Stk	15.000,00€	15.000,00€
Summe maschinell netto			,	918.000,00€

Elektroausrüstung und MSR-Technik		
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik	275.400,00€	275.400,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto		275.400,00€
Baunebenkosten		
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)	34.100,00€	34.100,00€
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)	454.400,00€	454.400,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)	22.700,00€	22.700,00€
Zwischensumme netto		511.200,00€
Gesamtkosten netto		2.783.400,00€
+ 19 % Mehrwertsteuer		528.846,00€
Zwischensumme brutto		3.312.246,00€

8.4 Investitionen Variante 4

CAN Filamatica.				<u> </u>
GAK-Filtration				
Davida alia ili	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	94.300,00€	94.300,00€
Vorbereitende Arbeiten				
Nadelwald fällen und Baumstubben rodden	1.800		20,00€	36.000,00€
Geländeauffüllung	2.000		10,00€	20.000,00€
Erweiterung der Einzäunung	110		60,00€	6.600,00€
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	10.000,00€	10.000,00€
Trennbauwerk (Umbau Ablaufmengenmessung): 2 Stahlbetonschächte inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	10	m³	1 500 00 5	27,000,00 €
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten			1.500,00€	27.000,00€
Flockungsfiltration / Tuchfilter (Teilstrom), Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl.	235	m-	400,00€	94.000,00€
Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	330	m³	400,00€	132.000,00€
Dosierhaus mit Fäll- und Flockungsmitteln, inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	160		450,00€	72.000,00€
			,	
Fundamentplatte für Fällmittelbehälter und PAK-Silo inkl. Abtankplatz nach WHG und Erdarbeiten	1	Psch	30.000,00€	30.000,00€
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und				
Schlosserarbeiten	65	m³	500,00€	32.500,00€
Maschinenhalle für GAK-Druckfilter	3.120	m³	200,00€	624.000,00€
Rückspülwasservorlage und Spülabwasserspeicher, Stahlbetonbauwerke mit UR = je 110 m³, inkl.				
Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	220	m³	450,00€	99.000,00€
Ablaufmengenmessung: Stahlbetonschachtbauwerk, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten		m³	600,00€	48.000,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten	80	m	600,00€	48.000,00€
DN 600	45		500.00.6	0.700.00.0
DN 500	15		580,00€	8.700,00€
DN 400	370		400,00€	148.000,00€
	15		320,00€	4.800,00€
DN 100 Leerrohre DN 100	130		125,00€	16.250,00€
	50		125,00€	6.250,00€
Rohrleitungsanschlüsse		Psch	20.000,00€	20.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	1.050		120,00€	126.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00€	10.000,00€
Zwischensumme baulich netto				1.665.400,00€
March 1 and Address Ad				
Maschinen- und Anlagentechnik				
Ausrüstung Trennbauwerk				
Nachrüstung eines E-Antriebes für Gewindeschieber	1	Stk	5.000,00€	5.000,00€
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerk		Stk	10.000,00€	10.000,00€
Fällmitteltank (V = 25 m³) inkl. Dosieranlage	1	Stk	75.000,00€	75.000,00€
Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 30 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher		C.I.	405 000 00 6	245 000 00 0
		Stk	105.000,00€	315.000,00€
Zulaufwehr (1.000/400) Gewindeschieber DN 400		Stk	10.000,00€	30.000,00€
	3	Stk	5.000,00€	15.000,00€
Zwischenpumpwerk				
Abwasserpumpe (Q = 250 m³/h) in Nassaufstellung inkl. Armaturen und Rohrleitungen	3	Stk	16.000,00€	48.000,00€
GAK-Druckfilter	_	CIL	500000	
Druckfilter aus Stahl (D = 3.500 mm) inkl. Montage		Stk	56.000,00€	336.000,00€
Aktivkohle, Erstbefüllung (130 m³ x 0,3 Mg/m³)		Mg	1.250,00€	48.750,00€
Rohrleitung, Armaturen für Abwasser	1		36.000,00€	36.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Spülwasser	1	Psch	42.000,00€	42.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Spülluft		Psch	30.000,00€	30.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Spülabwasser		Psch	42.000,00€	42.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Filtrat	1	Psch	36.000,00€	36.000,00€

n. 1 1				
Rückspülanlagen				
Spülwasserpumpen (Q = je 290 m³/h) in Trockenaufstellung	2	Stk	12.500,00€	25.000,00€
Spülluftgebläse (Q = je 700 m³/h)	2	Stk	10.000,00€	20.000,00€
Spülabwasserpumpwerk				
Abwasserpumpen (Q = 20 m³/h) in Nassaufstellung, inkl. Rohrleitungen und Armaturen	2	Stk	7.500,00€	15.000,00€
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00€	25.000,00€
Ablaufmengenmessung: MID-Messgerät DN 400 inkl. Rohrleitungen und Absperrarmaturen	1	Stk	15.000,00€	15.000,00€
Summe maschinell netto				1.168.750,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik			350.600,00€	350.600,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				350.600,00€
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			47.800,00€	47.800,00€
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			636.950,00€	636.950,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			31.800,00€	31.800,00€
Zwischensumme netto				716.550,00€
Gesamtkosten netto				3.901.300,00€
+ 19 % Mehrwertsteuer				741.247,00€
Zwischensumme brutto				4.642.547,00€

8.5 Energiebedarf

		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK
Zwischenpumpwerk		_			
Anzahl	Stück	2	2	2	2
	kW	3,3	3,8	3,5	9,0
Laufzeit	h/d	12,5	14,5	14,5	14,5
Energiebedarf	kWh/a	30.113	40.456	36.566	94.916
PAK-Rezirkulationspumpen					
Anzahl	Stück		2,0		
Leistung	kW		2,1		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		36.792		
PAK Dosiereinheit	-				
Leistung	kW	2,0	1,5		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	17.520	13.140		
Dosierpumpe Fällmittel	-				
Anschlussleistung	kW	1,5	1,5		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	13.140	13.140		
Dosierpumpe FHM					
Anschlussleistung	kW	0,5	0,5		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	4.380	4.380		
Literglebedari	KVVII/a	4.500	4.500		
Rührwerke Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		3,0		
Anschlussleistung	kW		2,0		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		52.560		
Räumer Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		2		
Anschlussleistung	kW		0,5		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		8.760		
Spülwasserpumpen					
Anzahl	Stück				2
Anschlussleistung	kW				9,6
Laufzeit	h/d				1
Energiebedarf	kWh/a				6.986
Spülluftgebläse					
Anzahl	Stück		1		2
Anschlussleistung	kW		1		20
Laufzeit	h/d		1		0,2
Energiebedarf	kWh/a		1		2.920

Ozonanlage					
Energiebedarf	kWh/a			747.135	
Sonstiges (Messtechnik etc)					
Energiebedarf	kWh/a	7.500	7.500	7.500	7.500
Betrieb Tuchfiltration					
Energiebedarf je Filtrationseinheit	kWh/d	6,8	4,6	4,6	4,6
Energiebedarf	kWh/a	7.446	5.037	5.037	5.037
Rührwerke Nachfällung					
Anzahl	Stück	1	1	1	1
Anschlussleistung	kW	2,0	2,0	2,0	2,0
Laufzeit	h/d	24	24	24	24
Energiebedarf	kWh/a	17.520	17.520	17.520	17.520
Summe Energiebedarf	kWh/a	97.619	199.285	813.758	134.879

8.6 Betriebskosten

Betriebskosten					
		PAK in Belebung	PAK in Kontaktbecken	Ozon	GAK
Energiekosten					
Menge/a	kWh/a	97.619	199.285	813.758	134.879
spezifische Kosten pro kWh	Euro/kWh	0,170	0,170	0,170	0,170
Summe Energiekosten	Euro/a	16.595,15	33.878,43	138.338,86	22.929,40
Cummo Diorgiokocton	24.074	10.000,10	00.070,40	100.000,00	221020,40
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
Westing / Vencial enumer					
Wartung / Versicherungen	£/o	9.255.0	14 100 F	10.700.0	16 651 0
Bautechnik (1,0 % vom Invest)	€/a €/a	8.355,0	14.186,5 28.740,0	10.788,0	16.654,0
Maschinentechnik (3,0 % vom Invest) Elektrotechnik (5,0 % vom Invest)	€/a €/a	26.610,0	,	27.540,0	35.062,5 17.530,0
Versicherungen (0,5 % vom Invest)	€/a €/a	13.305,0 9.943,0	14.370,0 13.320,3	13.770,0	17.530,0
	€/a €/a	,	·	63.459.0	,
Summe Wartung / Versicherungen	€/a	58.213,0	70.616,8	63.439,0	85.170,3
Kosten Sauerstoff (inkl. Miete Lagerbehälter)					
Menge/a	kg O2/a			93.096	
spezifische Kosten pro kg	Euro/kg			0,22	
Summe Kosten Sauerstoff	Euro/a			20.481	
Kosten Aktivkohle					
Menge/a	kg/a	25.228	12.524		32.145
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.500	1.500		1.300
Summe Kosten Aktivkohle	Euro/a	37.842	18.786		41.789
Kosten FHM					
FHM	kg/a	378	251		
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.400	1.400		
Summe Kosten FHM	Euro/a	530	351		
Kosten Fällmittel					
Fällmittel	t Fällmittel /a	63	27		
Menge/a	Euro/t	140	140		
Summe Kosten Fällmittel	Euro/a	8.830	3.757		
Schlammmehranfall					
Schlammanfall (TR) FM	t TR/a	22	9		
Schlammanfall (TR) PAK	t TR/a	25	13		
Schlammanfall (TR) AFS	t TR/a	13	13		
spezifische Kosten Entsorgung pro t TR	Euro/t TR	320	320		
<u> </u>					
Entsorgungskosten	Euro/a	19.173	11.050		
Summe Betriebskosten (netto)	Euro/a	157.183	158.439	238.279	165.889
Summe Betriebskosten (brutto)	Euro/a	187.047	188.543	283.552	197.407

8.7 Jahreskosten Variante 1 und 2

Datenerhebung und Kostenermittlung				
ALLGEMEINES				
Kläranlage			KA Hörstel	KA Hörstel
Variante			Variante 1	Variante 2
			PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber				: Hörstel
Planer			IB Frilling+Rolfs Gm	bH und ATEMIS GmbH
Vorlage des Berichts			2018	2018
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechn	nische Anlage (G)		S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN				
Ausbaugröße EW	[E]		40.00	0 40.000
Anschlussgröße EW	[E]		34.50	0 34.500
Jahresabwassermenge (JAM)	[m³/a]		1.261.38	
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m³/a]		1.261.38	
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]		10	
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m³/h]		Vollstrom	490
Frischwassermenge	[m³/a]			
Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[-]		Ja	Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der	[-]		Dosierung in	
Bausubstanz	[-]		vorh. Belebung	
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]		Flockungsfiltration	Flockungsfiltration
Sonstige Anmerkungen				or of the second
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION				
			+	+
Ozon Dosiermengen	mg O₃/I			+
-	ilig O ₃ /1			+
Eintragssystem / Dosiervorrichtung			+	
Eintragspunkt Reaktionsvolumen	m³			+
			-	
Aufenthaltszeit bei QTW Maximale Ozonproduktion	min kg O₃/h			+
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃		+	
	g O ₂ /gO ₃		+	
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)				
PAK Kontaktbecken	mg/l			10
Dosiermengen Eintragssystem / Dosienverrichtung	IIIg/I			gravimetrisch
Eintragssystem / Dosiervorrichtung Eintragspunkt				Kontaktbecken
Reaktionsvolumen	m³			245
Aufenthaltszeit bei QTW				30
Beckentiefe	min m			4
Zulauf	I/s			136
PAK Absetzbecken	1/5			150
Aufenthaltszeit bei QTW	h			1
Gesamtvolumen	m³			980
	- L.			360
Oberflächenbeschickung Polymerdosierung	m/h mg/l			0,2
Fällmitteldosierung	mg Fe/I			0,2
Granulierte Aktivkohle (GAK)	ilig re/i			3
Aktivkohlesorte				
Reaktivierungszyklus				
Filtertyp				
Filteranzahl				
Filterfläche je Filter	m²			
Betthöhe				
	m m³			
Bettvolumen				
Leerbettkontaktzeit Eiltergeschwindigkeit	min m/h	-		+
Filtergeschwindigkeit	m/h			
Spülintervall	no /b			+
Filterspülgeschwindigkeit	m/h			+
Spülluftgeschwindigkeit	m/h			
Aufenthaltszeit	min			

1			T
			ja
	 		
+	 		
	1		
	1		
		2018	2018
[£]			
	1		
[C]		21-30.000	512051-150
[€/a]		16.595	33.878
			20.000
[€/a]		58.213	70.617
[€/a]			
		37.842	18.786
[€/a]		9.359	4.108
[€/a]			
[€/a]		19.173	11.050
[€/a]			
[€/a]		157.183	158.439
hes Bezugsjah	nr (2013)		
		2013	2013
[a]		-5	-5
l[a]	10		
[0]	10		
[4]		Faktoren LAWA	Faktoren LAWA
	0,5%	0,97537	0,97537
	0,5% 3,0%	0,97537 0,86261	0,97537 0,86261
	0,5% 3,0% 1,0%	0,97537 0,86261 0,95147	0,97537 0,86261 0,95147
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147
	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147
[€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013
[€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114
[€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400
[€] [€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637
[€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637
[€] [€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637
[€] [€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€] [€/a] [€/a] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398 14.315 15.606 56.779	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398 14.315 15.606 56.779 0	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861
[€] [€] [€] [€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398 14.315 15.606 56.779 0	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861 29.224 19.507 68.878 0 17.874 3.909
[€] [€] [€] [€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]	0,5% 3,0% 1,0% 1,0% 0,5% 0,3% 0,0%	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 814.922 875.995 266.100 436.381 2.393.398 14.315 15.606 56.779 0 36.005 8.905	0,97537 0,86261 0,95147 0,95147 0,97537 0,98759 1,00000 0,95147 2013 1.383.710 946.114 287.400 584.637 3.201.861 29.224 19.507 68.878 0 17.874 3.909
	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] hes Bezugsjah [a] [%] [a]	[€] [€] [€] [€] [€] [€] [€/a] [6/a] [6/a] [6/a] [6/a] [6/a] [6/a] [10/a]	[€] 887.000 [€] 266.100 [€] 447.400 [€] 2.436.000 [€] 2.436.000 [€] 3.6595 [€/a] 16.595 [€/a] 16.000 [€/a] 58.213 [€/a] 37.842 [€/a] 9.359 [€/a] 19.173 [€/a] 19.173 [€/a] 157.183 hes Bezugsjahr (2013) [a] 3,00% [a] 3,00% [a] 15

Reinvestitionskosten in EURO	Faktoren LA\	WA		
Bautechnik	0	[€]	0	C
Maschinentechnik (nach 15 a)	0,66636	[€]	583.726	638.371
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967	[€]	345.337	372.979
Nebenkosten	0	[€]	0	(
Gesamtkosten		[€]	929.063	1.011.350
Kapitalkosten	Faktoren LA\	WA		
Bautechnik	0,05102	[€/a]	41.577	70.596
Maschinentechnik	0,05102	[€/a]	74.474	80.839
Elektrotechnik	0,05102	[€/a]	31.195	33.692
Nebenkosten	0,05102	[€/a]	22.264	29.828
Gesamtkosten		[€/a]	169.509	214.955
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	Einheiten			
Jahreskosten gesamt	[€/a]		319.363	364.860
Spez. Jahreskosten je m³ behandeltes Abwasser	[€/(m³·a)]		0,25	0,29
Spez. Jahreskosten je m³ Frischwasser	[€/(m³·a)]		#DIV/0!	#DIV/0!
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		9,26	10,58

8.8 Jahreskosten Variante 3 und 4

Datenerhebung und Kostenermittlung				
ALLGEMEINES				
Kläranlage			KA Hörstel	KA Hörstel
Variante			Variante 3	Variante 4
			Ozon	GAK
Auftraggeber				Hörstel
Planer			IB Frilling+Rolfs Gmb	H und ATEMIS GmbH
Vorlage des Berichts			2018	2018
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechni	sche Anlage (G)		S	S
DETRIERC LINE AND ACCAID ATEN				
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN	(e)		40.000	40.000
Ausbaugröße EW	[E]		40.000	
Anschlussgröße EW		1	34.500	
Jahresabwassermenge (JAM)	[m³/a] [m³/a]	1	1.261.381	
Behandelte JAM der 4. Stufe	[%]	1	1.252.417	
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM			99	
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m³/h] [m³/a]	1	490	490
Frischwassermenge			Nain	Nielie
Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[-]	1	Nein	Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der	[-]			
Bausubstanz	[-]		Floring Charles	Floring Charles
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]	-	Flockungsfiltration	Flockungsfiltration
Sonstige Anmerkungen				
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION		-		
Ozon Dosiermengen	mg O₃/I	1	9,8	
	111g O3/1	1	Tellerdiffusoren	
Eintragssystem / Dosiervorrichtung Eintragspunkt		1		
Reaktionsvolumen	m³		Ozonreaktor	
			2 x 105	
Aufenthaltszeit bei QTW Maximale Ozonproduktion	min kg O ₃ /h	1	25 4,81	
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃		10	
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)	g 02/ g03		10	
PAK Kontaktbecken				
Dosiermengen	mg/l			
Eintragssystem / Dosiervorrichtung	1116/1			
Eintragspunkt				
Reaktionsvolumen	m³			
Aufenthaltszeit bei QTW	min			
Beckentiefe	m			
Zulauf	I/s			
PAK Absetzbecken	1/3			
Aufenthaltszeit bei QTW	h	1		
Gesamtvolumen	m³			
Oberflächenbeschickung	m/h			
Polymerdosierung	mg/l			
Fällmitteldosierung	mg Fe/I			
Granulierte Aktivkohle (GAK)	11161 071			
Aktivkohlesorte				
Reaktivierungszyklus				
Filtertyp				offene Filtration
Filteranzahl				6
Filterfläche je Filter	m²	1		9,6
Betthöhe	m	1		2,2
Bettvolumen	m³			21,12
Leerbettkontaktzeit	min	 		15
Filtergeschwindigkeit	m/h			8,8
Spülintervall	,			0,0
Filterspülgeschwindigkeit	m/h			
Spülluftgeschwindigkeit	m/h			
Aufenthaltszeit	min	1		15
rtarementszert	1000			1.

STEUERUNG UND REGELUNG				
Zeitproportional				
Mengenproportional			ja	
DOC-proportional				
SAK-proportional				
Gelöstozonkonzentration			ja	
Offgasozonkonzentration			ja	
Rezirkulation				
Druckmessung				
8				
INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN				
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2018	2018
Bautechnik	[€]	1	1.078.80	
Maschinentechnik	[€]		918.00	
EMSR Technik	[€]	† †	275.40	
Nebenkosten	[€]		511.20	
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]	+	2.783.40	
desamtkostem (Nettokostem)	[6]		2.785.40	3.901.300
But Salada and a		+		1
Betriebskosten	[6/-1		420.22	22.020
Energie	[€/a]	+	138.33	
Personal	[€/a]	+	16.00	
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	├	63.45	
Sauerstoff	[€/a]	1	20.48	
PAK/GAK	[€/a]			41.789
FHM, FM	[€/a]			
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlammentsorgung	[€/a]			
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		238.27	165.889
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitli	ches Bezugsjah	nr (2013)		
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten				
Bezugszeitpunkt			2013	2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]			-5
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%	0,9753	
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,8626	
Preissteigerung PAK		1,0%	0,9514	
Preissteigerung O2		1,0%	0,9514	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,9514	
		0,3%	0,9875	
Preissteigerung Maschinentechnik	+			
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,0000	
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,9514	0,95147
		1		<u> </u>
Investitionskosten	+	 		
Bezugsjahr der Kosten	1.00	1	2013	2013
Bautechnik	[€]	 	1.052.23	
Maschinentechnik	[€]	 	906.61	
EMSR Technik	[€]	<u> </u>	275.40	
Nebenkosten			498.60	698.902
	[€]		150100	
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€] [€]		2.732.85	3.828.134
				3.828.134
				3.828.134
Gesamtkosten (Nettokosten)				
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten	[€] [€/a]		2.732.85	2 19.779
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal	[€] [€/a] [€/a]		2.732.85 (2 19.779 5 15.606
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung	[€] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89	2 19.779 5 15.606 5 83.073
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff	[€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 5 15.606 5 83.073 7 (
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff PAK/GAK	[€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 6 15.606 6 83.073 7 (0
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 5 15.606 5 83.073 7 (
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik	[€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 6 15.606 6 83.073 7 0 0 39.761
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 6 15.606 6 83.073 7 0 0 39.761
Gesamtkosten (Nettokosten) Betriebskosten Energie Personal Wartung/ Instandhaltung Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik	[€] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		2.732.85 119.33 15.60 61.89 19.48	2 19.779 5 15.606 6 83.073 7 0 0 39.761 0 0

Reinvestitionskosten in EURO	Faktoren LA\	WA		
Bautechnik	0	[€]	0	0
Maschinentechnik (nach 15 a)	0,66636	[€]	611.716	778.805
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967	[€]	357.406	454.998
Nebenkosten	0	[€]	0	0
Gesamtkosten		[€]	969.122	1.233.803
Kapitalkosten	Faktoren LA\	WA		
Bautechnik	0,05102	[€/a]	53.684	82.875
Maschinentechnik	0,05102	[€/a]	77.464	98.623
Elektrotechnik	0,05102	[€/a]	32.285	41.101
Nebenkosten	0,05102	[€/a]	25.439	35.657
Gesamtkosten		[€/a]	188.872	258.256
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	Einheiten			
Jahreskosten gesamt	[€/a]		405.193	416.475
Spez. Jahreskosten je m³ behandeltes Abwasser	[€/(m³·a)]		0,32	0,33
Spez. Jahreskosten je m³ Frischwasser	[€/(m³·a)]		#DIV/0!	#DIV/0!
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		11,74	12,07

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)