
Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup

ABSCHLUSSBERICHT

09.11.2018

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Stadt Münster - Tiefbauamt

Zum Heidehof 72, 48157 Münster

Herr Dr. Robecke 0251 16131-14

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

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH

Beratende Ingenieure

Stockkampstraße 10

40477 Düsseldorf

Tel.: 0211 44991-0, Fax: 0211 44991-1055, info@hydro-ingenieure.de

Bearbeiter: Dr.-Ing. Xin Wu

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

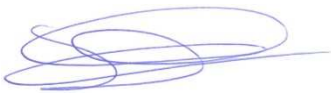
Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

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

Bearbeiter: Dipl.-Biol. Doris Schäpers

Katharina Kasper M.Sc.

Vechta, den



ppa. M. Schütte

Düsseldorf, den



K. Alt

Aachen, den 09.11.2018



ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	10
1.1	Allgemeines	10
1.2	Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzliche Rahmenbedingungen	13
1.2.1	Umweltqualitätsnormen (UQN).....	14
1.2.2	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)	15
1.2.3	PNEC (predicted no-effect concentration)	16
2	Ermittlung der Grundlagendaten	17
2.1	Beschreibung der Kläranlage Münster-Hiltrup.....	17
2.2	Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik	18
2.3	Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Münster-Hiltrup	20
2.3.1	Einzugsgebiet der Kläranlage Münster-Hiltrup	20
2.3.2	Qualität des Vorfluters	20
2.3.3	Zustand der Grundwasserkörper	25
2.3.4	Landwirtschaft.....	25
2.3.5	Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet.....	27
3	Verfahren zur Spurenstoffelimination	29
3.1	Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle.....	30
3.1.1	Grundlagen der Adsorption	30
3.1.2	Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen	34
3.1.3	Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	35
3.1.4	Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	39
3.2	Oxidative Verfahren	40
3.2.1	Grundlagen der Oxidation.....	40
3.2.2	Einsatz von Ozon auf Kläranlagen	42
3.3	Membranverfahren	43
3.3.1	Grundlagen der Membrantechnik	43
3.3.2	Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen.....	47
3.4	Sonstige Verfahren	48
3.4.1	AOP Advanced Oxidation Processes	48
3.4.2	Weitere Verfahren.....	48
3.5	Photolyse	49
3.6	Ultraschall	50
3.7	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	50
3.7.1	Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	52
4	Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Münster-Hiltrup	54
4.1	Zulauf der Kläranlage	54
4.2	Zulauf der Belebung	55
4.3	Belebung.....	57
4.4	Kläranlagenablauf.....	58
4.5	Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe	65
4.6	LANUV-Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs	65
4.7	Bisherige Untersuchungen des Vorfluters und des Kläranlagenablaufes auf Spurenstoffe	65

4.8	Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie	68
4.9	Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie	71
4.10	Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup	78
5	Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA MünsterHiltrup	80
5.1	Vorauswahl der Behandlungsverfahren	80
5.2	Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe	83
5.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	85
5.4	Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte	85
5.4.1	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	86
5.4.2	Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	86
5.4.3	Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	88
5.4.4	Variante 3: Ozonbehandlung	92
5.4.5	Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	97
5.4.6	Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration	100
5.4.7	Auslegung der Flockungsfiltration	101
6	Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	103
6.1	Investitionen	103
6.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	104
6.3	Jahreskosten	106
6.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation	107
6.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster-Hiltrup	108
6.6	Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe	113
6.7	Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen	114
6.8	Fazit	114
7	Anhang A - Untersuchungsergebnisse	116
7.1	Vorherige Spurenstoffuntersuchungen	116
7.2	PERLODES-Untersuchung 2014	118
7.3	Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie	121
8	Anhang B – Investitionen	177
8.1	Investitionen Variante 1	177
8.2	Investitionen Variante 2	178
8.3	Investitionen Variante 3	180
8.4	Investitionen Variante 4	181
8.5	Energiebedarf	182
8.6	Betriebskosten	184
8.7	Jahreskosten Variante 1 und 2	185
8.8	Jahreskosten Variante 3 und 4	188
9	Anhang C – Pläne	191
9.1	Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)	191
9.2	Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)	191
9.3	Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration)	191

Abkürzungsverzeichnis:

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

Literaturverzeichnis:

1. **Umweltbundesamt.** [Online] <http://www.umweltbundesamt.de/>.
2. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).** *Bericht: Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW.* Düsseldorf : s.n., 2014.
3. **Christian Götz, Juliane Hollender, Robert Kase.** *Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU.* Dübendorf : Eawag, 2010.
4. **Bayerisches Landesamt für Umwelt.** [Online] [Zitat vom: 01. 07 2016.] https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/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. *Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen.* **Ternes, T.** Wasser Berlin : s.n., 2006.
7. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge.* 2015.
8. **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. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
17. **Alecke, Henrik.** *KaHi.jpg.* [Anhang zur E-Mail "AW: KA Hiltrup, Machbarkeitsstudie Spurenstoffelimination" vom 18.06.2018] 2018.
18. **Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft.** *Plausibilitätsprüfung Änderungsanzeige GKE Ingenieure (Phosphorelimination) Kläranlage Münster-Hiltrup.* Bochum : s.n., 2016.
19. **Wikipedia.** [Online] [Zitat vom: 30. 11 2015.] https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCnster_%28Westfalen%29.
20. **GEOportal.NRW.** [Online] [Zitat vom: 25. Juni 2018.] <https://www.geoportal.nrw/>.
21. **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.
22. **Schleswig-Holstein - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume.** *Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein.*
23. **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/binnengewasser/fluesse-und-seen/zustand-der-oberflaechengewasser/>.
24. **Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).** *Obere Ems Ergebnisbericht - Wasserrahmenrichtlinie - Bestandsaufnahme.* 2005.
25. **Rüb, Bernhard (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pressestelle).** Bodennutzung Schöppingen [E-Mail]. 07. Oktober 2015.
26. **LANUV.** Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland (Flächenbilanz). [Online] 11. 10 2016. <https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?liki=B6>.
27. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Reaktiver Stickstoff in Deutschland - Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen.* 2014.
28. **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.

29. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.

30. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.* 2015.

31. **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.

32. **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.

33. **M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhauser, L. Salhi, U. von Gunten, C. Mc Ardell, P. Longrée, B. Beck, H. Siegrist.** *Berichterstattung - Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut.* Bern : Bafu, 2013.

34. **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.

35. **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.

36. **Remy, C. und Miehe, U.** *Energieaufwand und CO₂-Fußabdruck von Aktivkohleabsorption 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.

37. **TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH.** *Grundlagenermittlung Anlagenauslastung der Kläranlagen der Stadt Münster.* Bochum : s.n., 2017.

38. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.

39. **Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer.** *Studie - Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp.* 2013.
40. **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.
41. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** *Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen.* 2012.
42. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon.* Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
43. **Rita Triebkorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser et al.** *SchussenAktiv - Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen.* *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft.* 2013, Bd. 6, 8.
44. **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.
45. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch.* [Vortrag] Wetzikon : s.n., 2013.
46. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** *Schlussbericht - Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen.* Dresden/Oppin : s.n., 2012.
47. **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.
48. **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.
49. **Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.
50. **K. Gantner, H. Lyko.** *Ein Filter mit variabler Porengröße: der FuzzyFilter.* *Filtrieren und Separieren.* 2012, Bd. 26.4.

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.

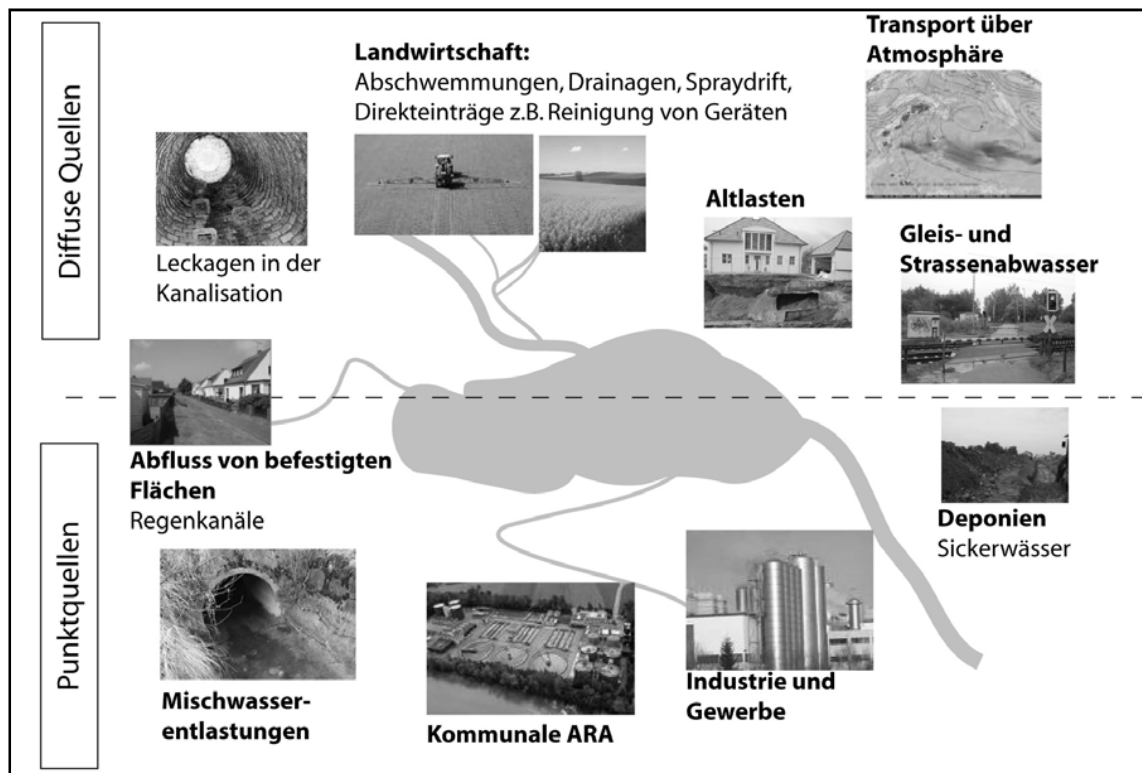


Abbildung 1-1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern (3)

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)

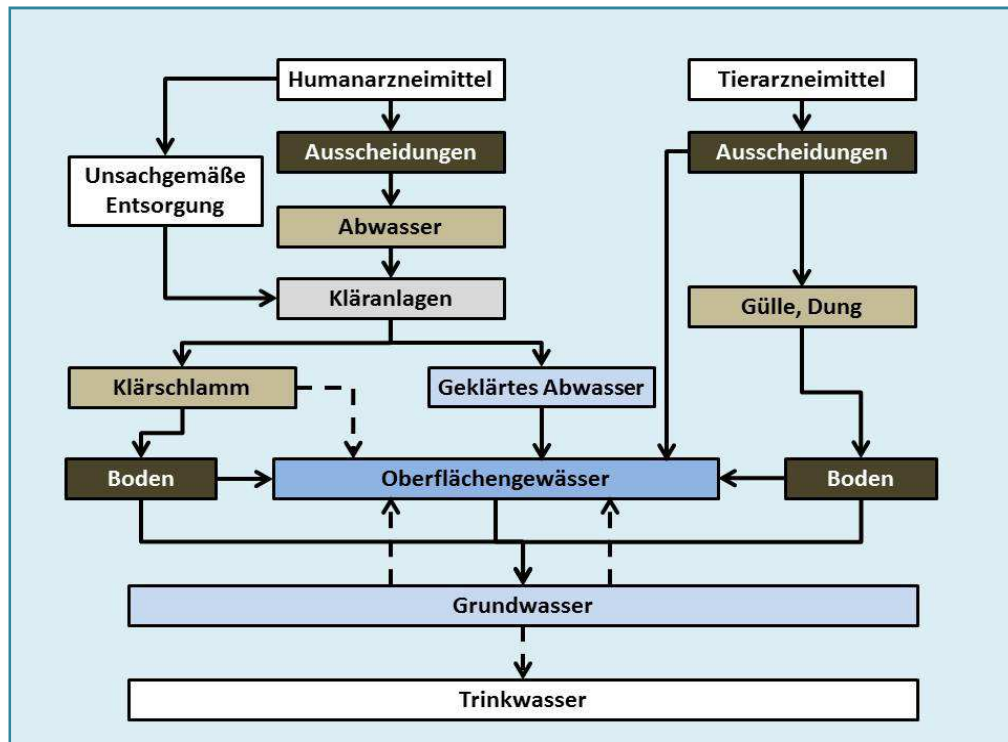


Abbildung 1-2: Haupteintragswege für Human- und Tierarzneimittel (nach (5))

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 im 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). Momentan 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 Bundesland. Durch die hohe Besiedlungsdichte, vor allem in den industriellen Ballungsgebieten wie dem Ruhrgebiet, ist der Druck auf die Gewässer durch die Abwassereinleitung und die Wassernutzung sehr hoch. Aufgrund der hohen Abwasserbelastung der nordrhein-westfälischen Fließgewässer ist auch die Problematik der Mikroschadstoffe in NRW besonders relevant. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW wurde eine Studie („Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale in Nordrhein-Westfalen“ (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 Münster hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für die Kläranlage Münster-Hiltrup 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 Arzneimittlrückständen 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 be-

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

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

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

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

serkörpern, 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 den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen.

2.1 Beschreibung der Kläranlage Münster-Hiltrup

Bei der KA Hiltrup 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):

- Ausbaugröße 30.000 EW
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,d}$) 11.000 m³/d
- Trockenwetterzufluss Spitze ($Q_{T,d,max.}$) 710 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 1.000 m³/h

Zurzeit ist die Anlage mit 27.000 EW belastet. Die Jahresabwassermenge (JAM) wurde anhand der Ablaufmengenmessungen der Jahre 2014 und 2015 mit 1.740.159 m³/a angenommen.

Die KA Hiltrup besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe, Hochlastbecken, Belebungsbecken, Nachklärbecken und Schönungsteich. Als Vorfluter dient der Emmerbach. Klär- und Überschussschlamm werden zwischengespeichert und hauptsächlich zur anaeroben Verwertung auf der Kläranlage Am Loddenbach transportiert.

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

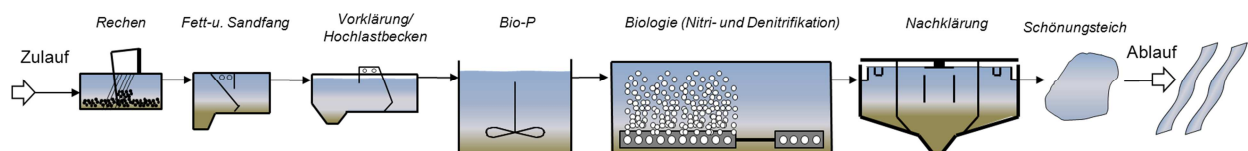


Abbildung 2-1: Vereinfachtes Fließschema der KA Münster-Hiltrup

Ein detaillierteres Fließbild zeigt Abbildung 2-2.

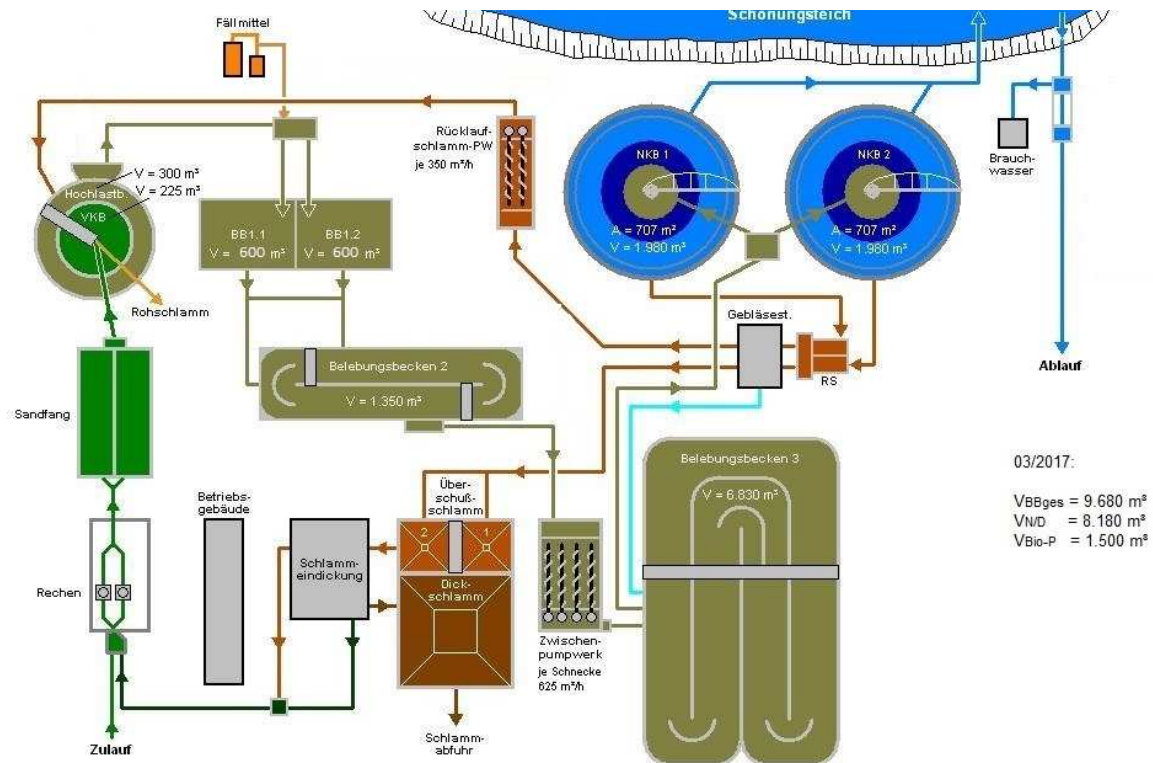


Abbildung 2-2: Fließbild KA Hiltrup (17)

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

Tabelle 2-1: Überwachungswerte im Ablauf der KA Hiltrup

Parameter	Überwachungswert [mg/l]
CSB	60
BSB ₅	12
N _{ges} (Summe NH ₄ ⁻ , NO ₂ ⁻ und NO ₃ -N; gilt nur bei T > 12 °C)	10
NH ₄ -N (gilt nur bei T > 12 °C)	5
P _{ges.}	1

2.2 Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik

Die Kläranlage Hiltrup arbeitet im Belebungsverfahren mit folgenden Verfahrensstufen:

- Rechen, 2-straßig
- belüfteter Sandfang, 2-straßig
- Vorklärung (225 m³)
- Hochlastbecken (300 m³)
- Belebungsbecken 1.1 und 1.2 (je 600 m³; Kreisellüfter)
- Belebungsbecken 2 (1.350 m³; Walzenbelüfter)
- Zwischenpumpwerk (3 Schnecken)
- Belebungsbecken 3 (6.830 m³; Druckbelüftung)
- 2 Nachklärbecken (je 1.980 m³)
- Schönungsteich
- Vorfluter: Emmerbach
- ÜS-Eindickung über Siebtrommeln

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



Abbildung 2-3: Foto der KA Hiltrup (18)

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 Vorklärung/Hochlastbecken. Hier erfolgt eine Teilelimination von CSB, BSB₅, absetzbaren Stoffen sowie Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Das Hochlastbecken ist als Ring um das Vorklärbecken angeordnet.

Der anfallende Bodenschlamm wird zwischengespeichert, da auf der KA Hiltrup keine anaerobe Schlammfäulung existiert, und auf der Kläranlage Am Loddenbach mitbehandelt.

Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird der biologischen Stufe – bestehend aus vier Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken, von denen zwei (BB1.1+1.2) jedoch aktuell nicht belüftet werden, sondern als Bio-P-Becken dienen – zugeleitet. Zweck der Bio-P-Becken ist eine Rücklösung der Phosphationen, so dass eine erhöhte biologische Phosphorelimination in den Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken stattfindet. Anschließend erfolgt die Behandlung des Abwassers im Belebungsbecken BB2, von dem aus das Ab-

wasser in BB3 geleitet wird. In diesen Becken erfolgt die biologische Abwasserreinigung (hochgradiger Kohlenstoffabbau, weitestgehende Stickstoffelimination) nach dem Verfahren der simultanen Nitrifikation/Denitrifikation.

Nach der biologischen Reinigung gelangt das Abwasser zu den zwei Nachklärbecken und wird im Anschluss in den Schöningsteich geleitet, der wiederum in den Emmerbach ableitet.

2.3 Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Münster-Hiltrup

Die kreisfreie Stadt Münster liegt im Norden von Nordrhein-Westfalen. In Münster leben etwa 302.000 Einwohner auf einer Fläche von ca. 303 km² (19). Die Umgebung um die Stadt Münster ist eher landwirtschaftlich geprägt.

2.3.1 Einzugsgebiet der Kläranlage Münster-Hiltrup

Die Kläranlage Münster-Hiltrup liegt südlich der Stadt Münster, im Süden des Stadtteils Hiltrup. Sie leitet in den Emmerbach ein, der etwa 5 km unterhalb der Kläranlage in die Werse mündet. In der Kläranlage Münster-Hiltrup werden Abwässer aus den Gebieten Hiltrup-West, Mitte, Amelsbüren und Kappenberger Feld behandelt (16). Relevante Industrieemitter sind nach Angaben des Betreibers typische Kleingewerbe. Mit dem Herz-Jesu-Krankenhaus Hiltrup leitet auch ein Krankenhaus in die Kläranlage Münster-Hiltrup ein.

2.3.2 Qualität des Vorfluters

Die Kläranlage Münster-Hiltrup leitet in den Emmerbach ein (Abbildung 2-4).

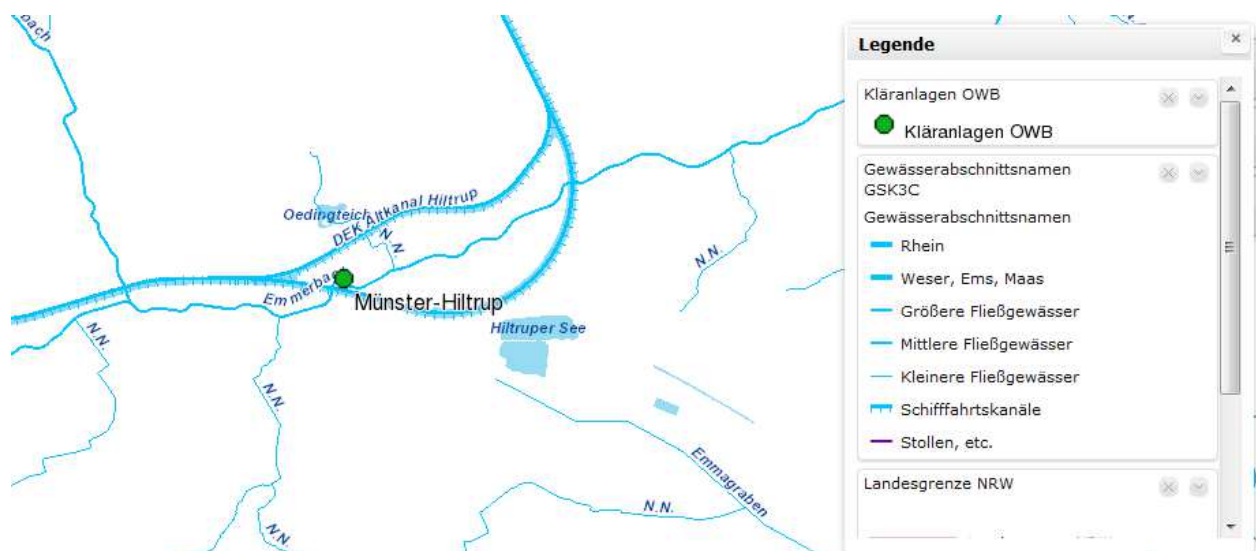


Abbildung 2-4: Lage der Kläranlage Münster-Hiltrup (16)

Einige Stoffe, die sogenannten ubiquitären Stoffe, sind in geringen Konzentrationen europaweit in der Umwelt vorhanden. Betrachtet man den chemischen Zustand des Emmerbaches ohne Berücksichtigung dieser Stoffe, ergibt sich ein „guter“ chemischer Zustand (Abbildung 2-5).

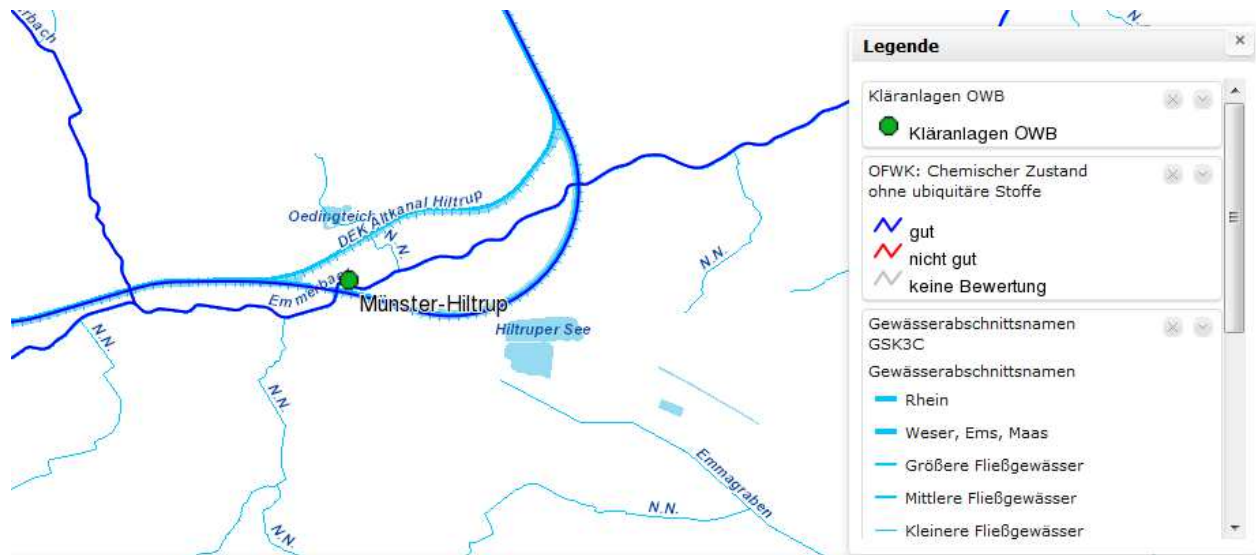


Abbildung 2-5: Chemischer Zustand des Emmerbachs ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (16)

Berücksichtigt man auch die ubiquitären Stoffe, so ist der chemische Zustand des Vorfluters Emmerbach „nicht gut“ (Abbildung 2-6). Dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Münster-Hiltrup.

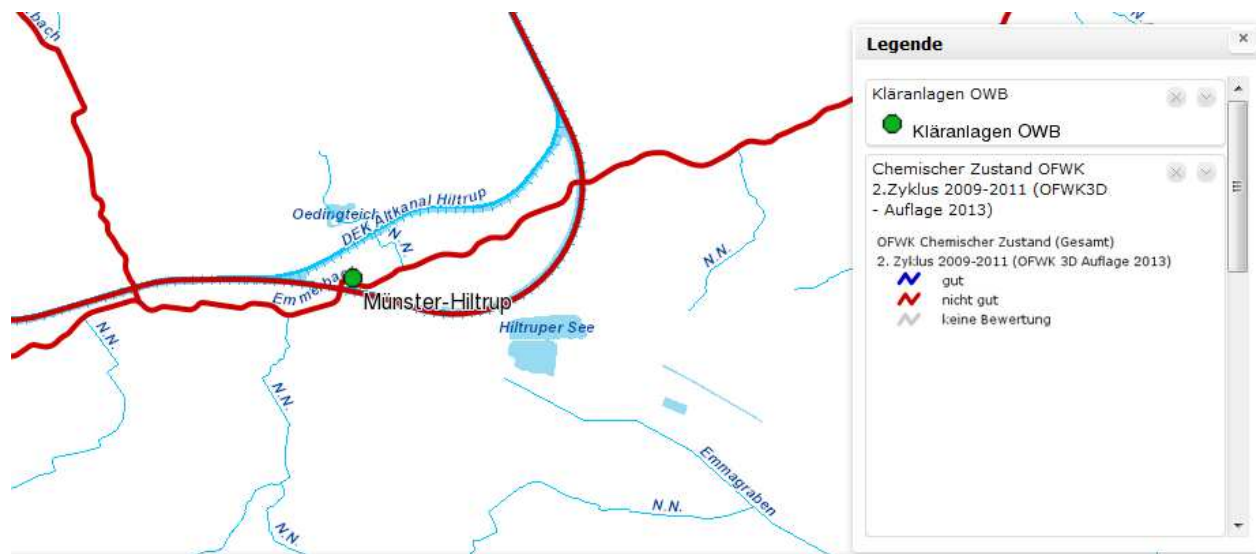


Abbildung 2-6: Chemischer Zustand des Emmerbachs unter Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (16)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand des Emmerbaches ist „unbefriedigend“. Auch dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage (Abbildung 2-7).

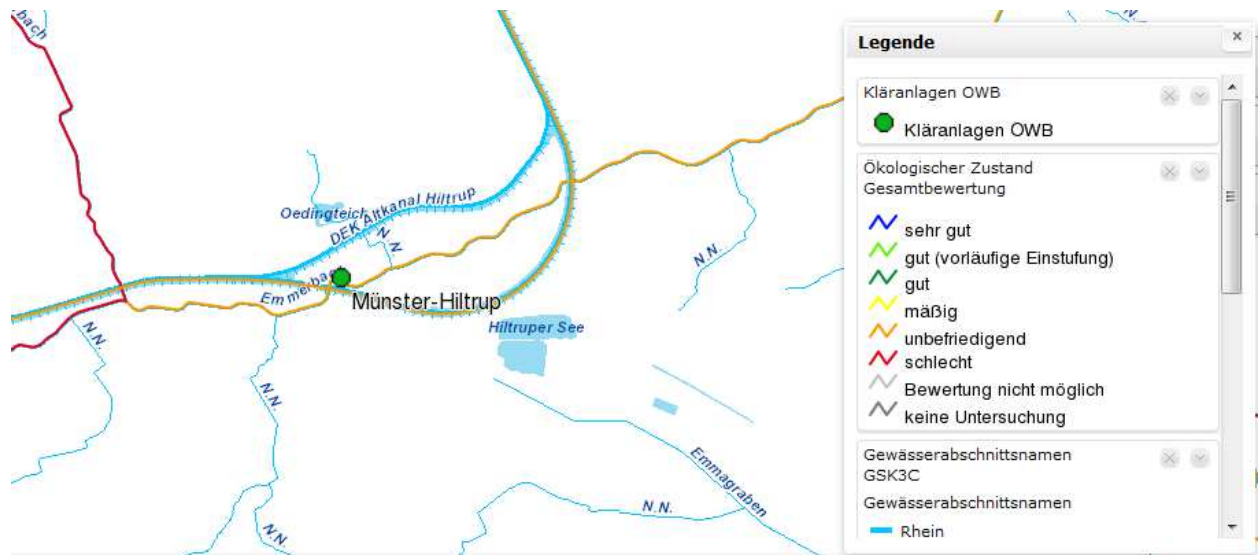


Abbildung 2-7: Ökologischer Zustand des Emmerbachs (16)

In der Nähe der Kläranlage Münster-Hiltrup liegen keine FFH-, Naturschutz- oder Vogelschutzgebiete. Auch der Vorfluter Emmerbach durchfließt unterhalb der Kläranlage keine dieser Schutzgebiete. Das in der Nähe der Kläranlage befindliche Trinkwasserschutzgebiet „Hohe Ward“ wird nicht durchflossen, sondern lediglich tangiert (Abbildung 2-8).

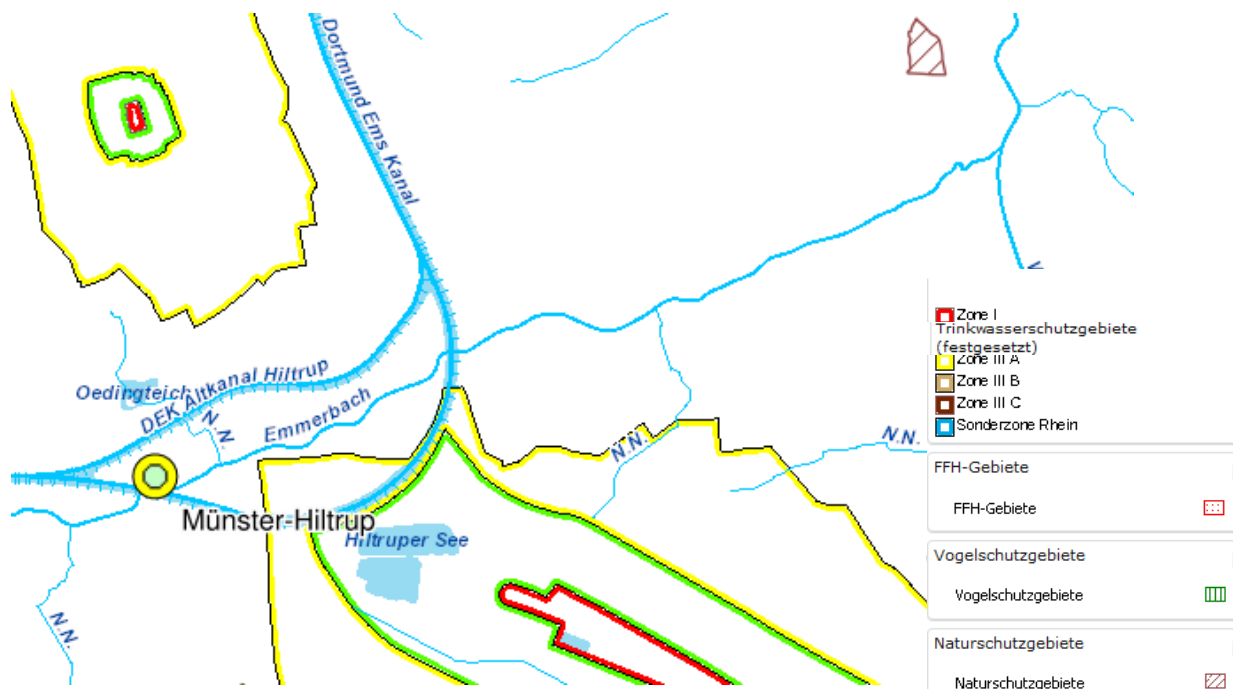


Abbildung 2-8: Schutzgebiete in der Umgebung der Kläranlage (16)

Der Emmerbach durchfließt unterhalb die Landschaftsschutzgebiete LSG-4012-0008 „Hohe Ward“ und LSG-4012-015 „Werseniederung“ (Abbildung 2-9).

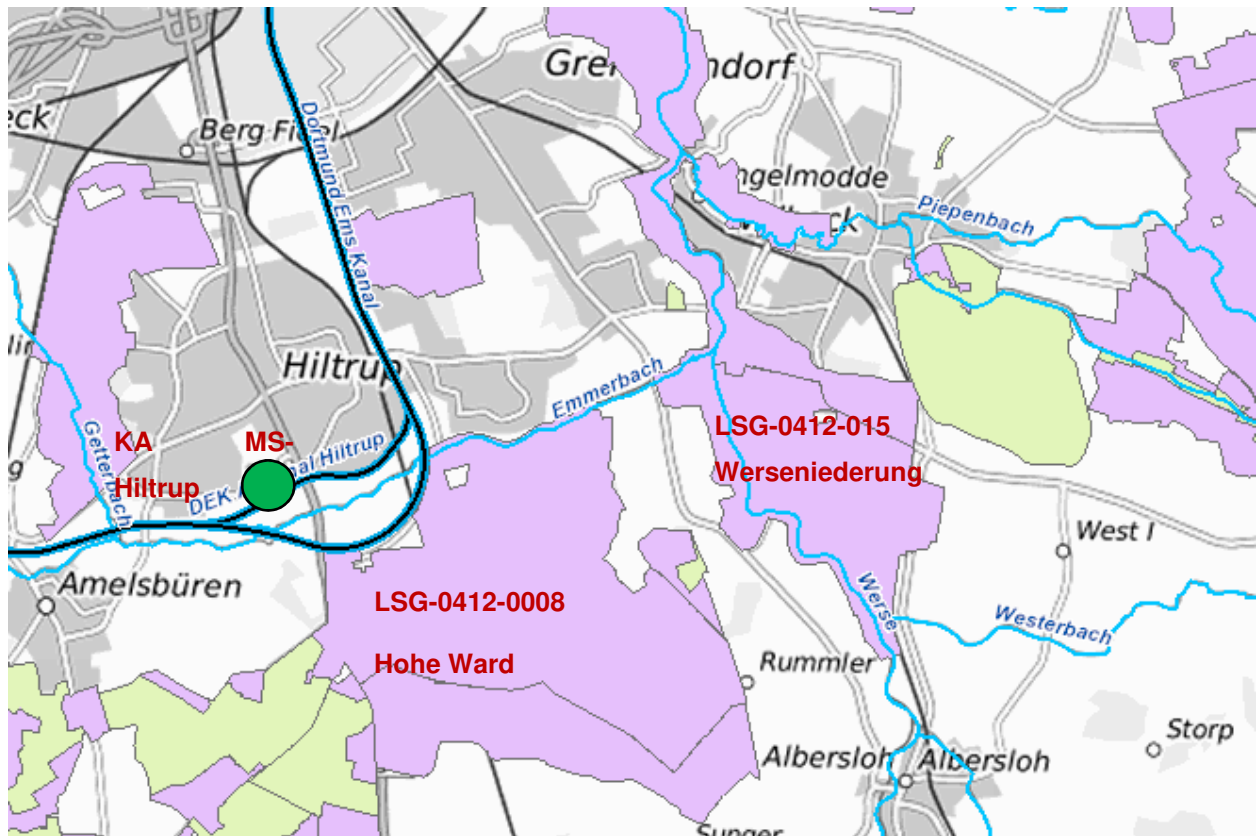


Abbildung 2-9: Naturschutzgebiete unterhalb der KA Münster-Hiltrup (modifiziert nach (20))

Entlang des Emmerbachs finden sich unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage Münster-Hiltrup auch zwei nach § 62 LG geschützte Biotope: das GB-4012-121, „Emmerbach vom Albersloher Weg bis zum Dortmund-Ems-Kanal“ schützt den in diesem Abschnitt natürlich oder naturnah verlaufenden Emmerbach über eine längere Strecke. Das GB-4012-0023 „Feuchtbrache am Emmerbach südlich der Kleingartenanlage“ umfasst ein Röhrichtgebiet entlang des Ufers des Emmerbachs (Abbildung 2-10).

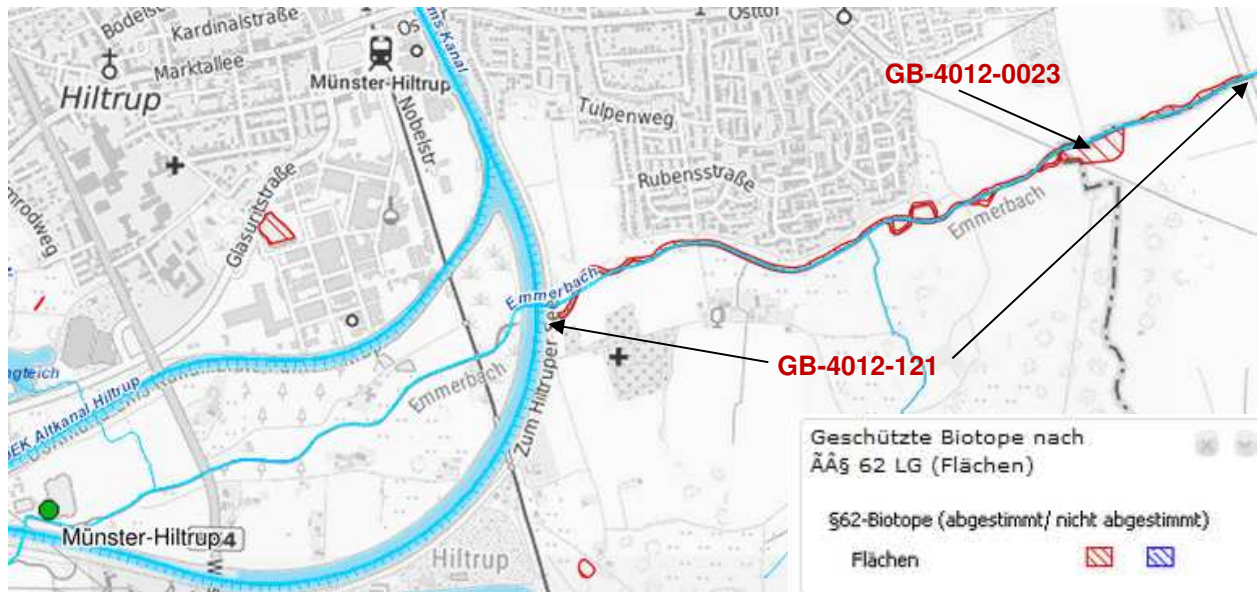


Abbildung 2-10: Geschützte Biotope nach § 62 LG (modifiziert nach (16))

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (siehe Abbildung 2-11). Hierbei zeigte sich, dass der ökologische Zustand der meisten Gewässer in Deutschland schlecht, unbefriedigend oder mäßig ($\approx 90\%$) ist. Im Gegensatz dazu ist der chemische Zustand vieler Gewässer ($\approx 90\%$) in Deutschland gut, wenn man von den überall in Europa vorhandenen Schadstoffen, den sogenannten ubiquitären Schadstoffen wie Quecksilber (21), PCB oder Nitrat (22), absieht.

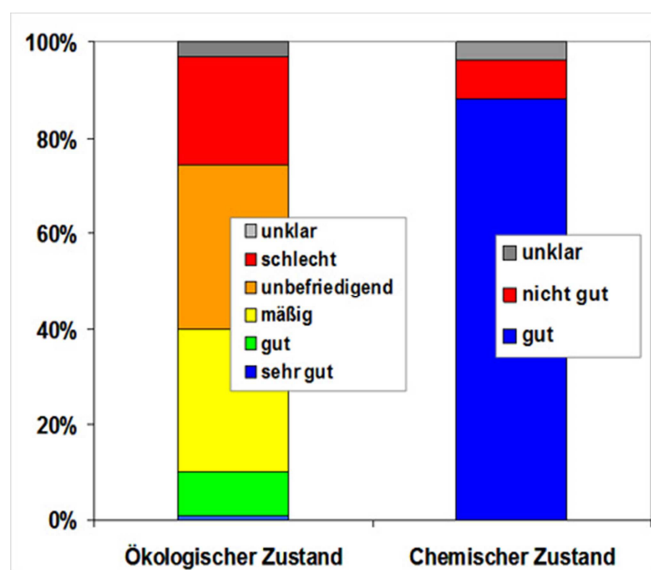


Abbildung 2-11: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (23))

Oberhalb der Kläranlage Münster-Hiltrup, am Pegel Amelsbüren (Messstelle 3267000000100), wird der MNQ mit 0,034 m³/s, entsprechend 34 l/s, angegeben (16). Die mittlere Abflussmenge der Kläranlage Münster-Hiltrup beträgt für die Jahre 2014-2015 199 m³/h, entsprechend ca. 55 l/s. Hieraus ergibt sich ein Verhältnis der Einleitmenge zum MNQ von ca. 162 %. Es ist zu berücksichtigen, dass vor der Einleitung der Kläranlage noch einige kleinere Gewässer einleiten. Laut dem Obere Ems Ergebnisbericht (24) liegt das Verhältnis von Einleitmenge zum MNQ des Vorfluters bei 133 %. In jedem Fall leitet die Kläranlage Münster-Hiltrup demnach in einen schwachen Vorfluter ein.

2.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Die Kläranlage Münster-Hiltrup liegt im Bereich des Grundwasserkörpers 3_13 (Münsterländer Oberkreide (Altenberge / Aschenberg)). Der Grundwasserkörper 3_13 hat eine Fläche von 35.538 ha und liegt vollständig in Nordrhein-Westfalen. Zuständige Stelle ist die Bezirksregierung Münster.

Im Gebiet des Grundwasserkörpers 3_13 sind keine Grenzwerte für Schadstoffe überschritten. Dadurch wird der Zustand des Grundwasserkörpers mit „gut“ beurteilt. (16)

2.3.4 Landwirtschaft

Die Umgebung der Stadt Münster ist, wie weite Teile des Münsterlandes, eher landwirtschaftlich geprägt. Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt sowohl durch Tierhaltung als auch durch Ackerbau. Mit Stand 2010 gibt es in Münster 447 Bestände mit insgesamt 167.367 Tieren (Tabelle 2-2). (25) Dies lässt auf eine intensive Tierhaltung im Umland der Stadt Münster schließen, auch wenn die Nutzung (bedingt durch den Großstadtcharakter) weniger intensiv ausfällt als im übrigen Münsterland.

Tabelle 2-2: Tierbestände im Umland Münster (nach (25))

Tierbestände Stadt Münster		
<i>Tierart</i>	<i>Bestände [Stk.]</i>	<i>Anzahl Tiere [Stk.]</i>
Rinder	124	11.526
Schweine	124	94.519
Einhufer	105	1.497
Mastgeflügel	10	59.208
Weitere Tierarten	84	617
Gesamt	447	167.367

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Münster beläuft sich (Stand 2010) auf insgesamt 13.224 ha. (25) Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Nutzungsfläche Stadt Münster (nach (25))

Nutzungsfläche Stadt Münster		
Silomais	ha	1.609
Körnermais inkl. CCM (Corn-Cob-Mix)	ha	2.504
Getreide (ohne Mais)	ha	5.804
Dauergrünland	ha	2.115
Weitere stark landwirtschaftlich geprägte Fläche	ha	1.192
Gesamt	ha	13.224

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 (26). Unter der Annahme, dass dieser Wert auch in der Stadt Münster angesetzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Überdüngung von rund 823.174 kg_N/a. Im Vergleich dazu leitet die Kläranlage Münster-Hiltrup im Schnitt jährlich etwa 4.300 kg_N in den Emmerbach ein (Mittelwert Eigenüberwachung nach SüwV-Kom, Berichte 2014+2015).

In Abbildung 2-12 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 (27).

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.

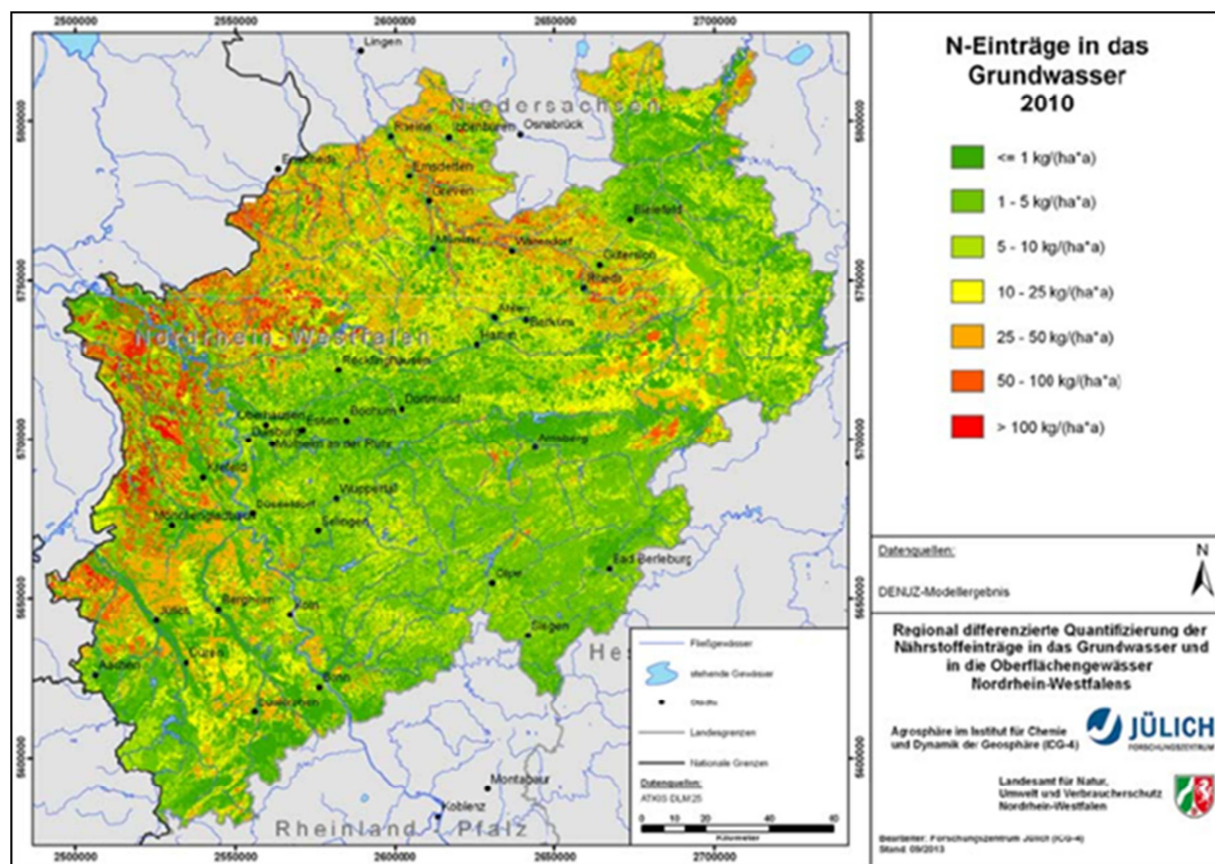


Abbildung 2-12: Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der Landesfläche (NRW) (28)

2.3.5 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

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

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

Ein Eintrag verschiedener Stoffe in den Emmerbach wird u.a. durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft. Der Eintrag wird durch das eingeleitete Abwasser der KA Münster-Hiltrup zwar verstärkt, jedoch ist eine Verbesserung des chemischen Zustandes (unter Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe) allein durch eine 4. Reinigungsstufe nicht sicher.

3 Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

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

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

Ein Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser muss dabei folgenden Anforderungen genügen (29):

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

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

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

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

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

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

Oxidative Verfahren:

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

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

Physikalische Verfahren:

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

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

Bei der Filtration erfolgt die Abtrennung der Abwasserinhaltsstoffe über eine selektive Membran. Da es sich bei den für die Spurenstoffelimination relevanten Stoffen um Einzelmoleküle handelt, müssten zu deren Elimination mindestens Nano- und Ultrafiltrationsmodule eingesetzt werden. Dabei wird das Abwasser mit großen Drücken durch die Membran gepresst. Nur Wasser und kleinste Moleküle treten durch die Membran durch. Die zurückgehaltenen Stoffe verbleiben im sogenannten Retentat, das entsorgt werden muss, das gereinigte Abwasser fließt in den Vorfluter ab (siehe auch Kap. 3.3).

3.1 Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle

3.1.1 Grundlagen der Adsorption

Bei der Adsorption handelt es sich um ein physikalisch-chemisches Trennverfahren. Unter Adsorption versteht man die Anlagerung einer Komponente (Adsorptiv) aus einem gasförmigen oder flüssigen 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.

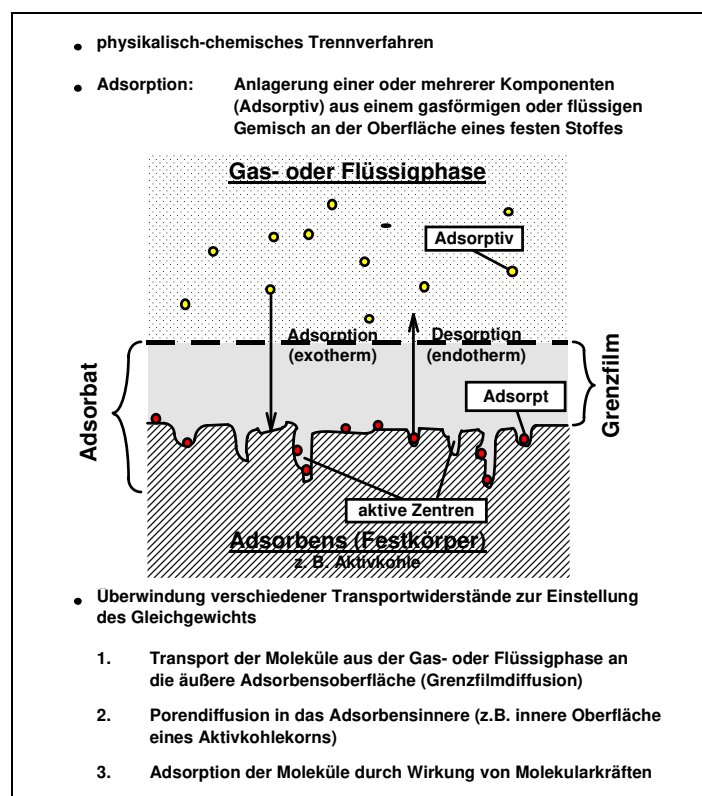


Abbildung 3-1: Grundlagen der Adsorption

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 Kohlenstoffgerüsts selektiv abgebaut. Durch die dabei entstehenden Poren, Spalten und Risse wird die auf die Masseneinheit bezogene Oberfläche erheblich größer. Die innere Oberfläche handelsüblicher Sorten liegt zwischen 400 und 1.500 m²/g.

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

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

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

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

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

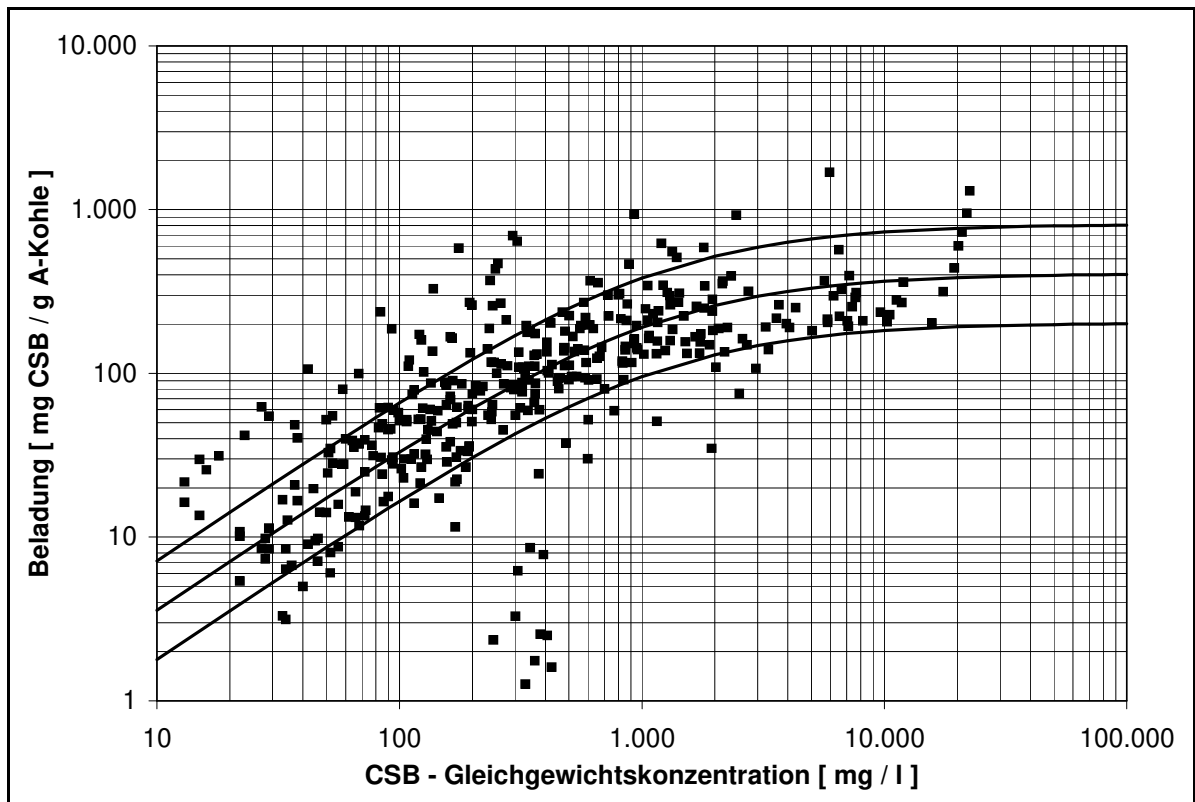


Abbildung 3-2: Adsorptionsisothermen für den Parameter CSB

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

Der Einsatz der Aktivkohle erfolgt entweder granuliert oder pulverförmig:

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

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 Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen

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

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

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

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

Am Eintritt der ersten Filterstufe (Säule) weist das Adsorbens entsprechend der Zulaufkonzentration die höchste Beladung auf. Für die Auslegung einer mehrstufigen Säulenanlage kann die in der Adsorptionisotherme 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 Adsorptionisotherme 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 reststoffreies Verfahren, da die beladene Kohle nach Reaktivierung erneut für den Adsorptionsprozess zur Verfügung steht.

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

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

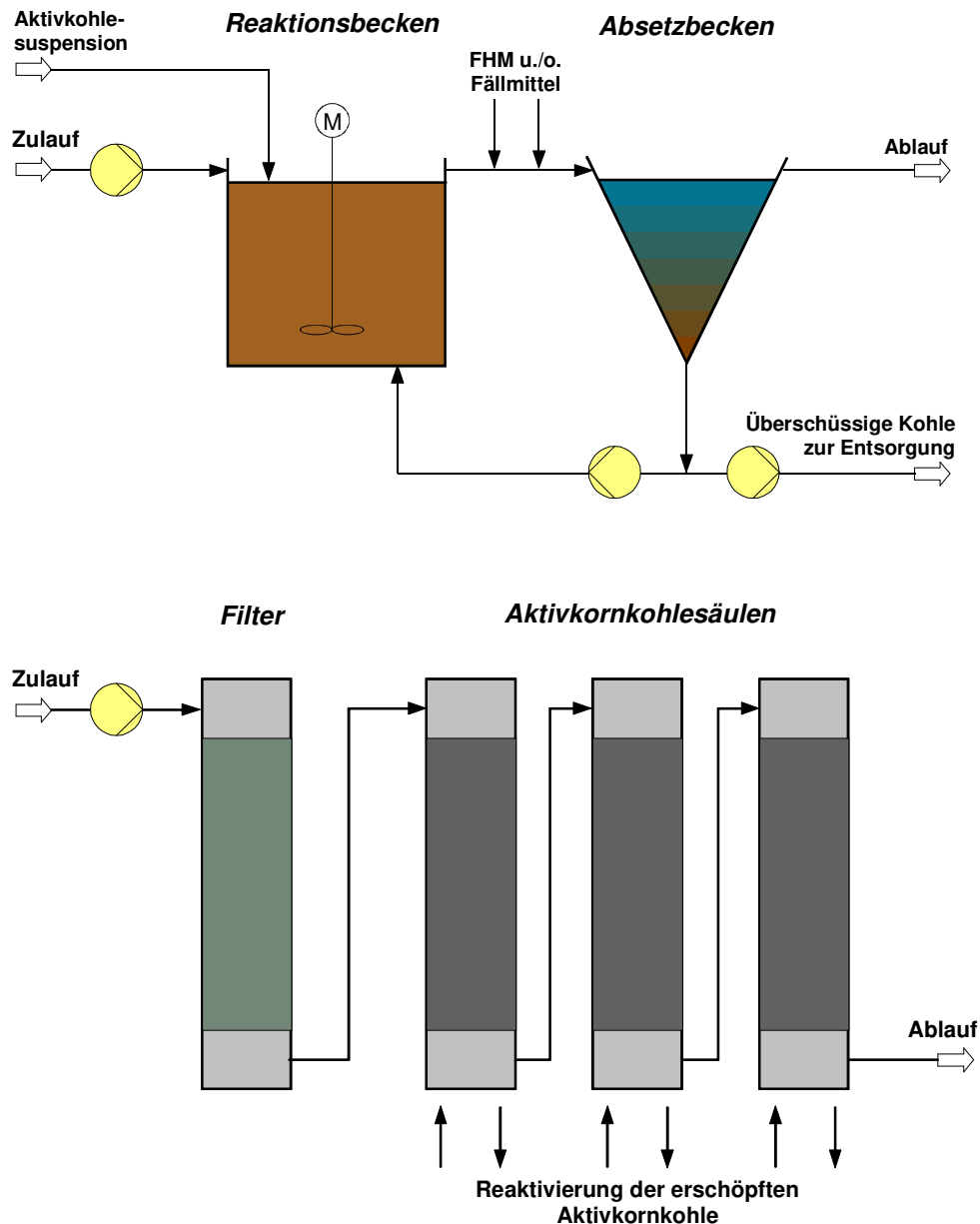


Abbildung 3-3: Verfahrensprinzip Aktivkohleadsorption

3.1.3 Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

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

Die Pulveraktivkohle kann direkt in die biologische Stufe oder im Anschluss an die biologische Stufe (in der Regel hinter der Nachklärung in ein Kontaktbecken oder in den Flockungsraum eines Filters) eingebracht 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 ab scheiden 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. (29)

3.1.3.1 Einmischen der Pulveraktivkohle in die biologische Stufe

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

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

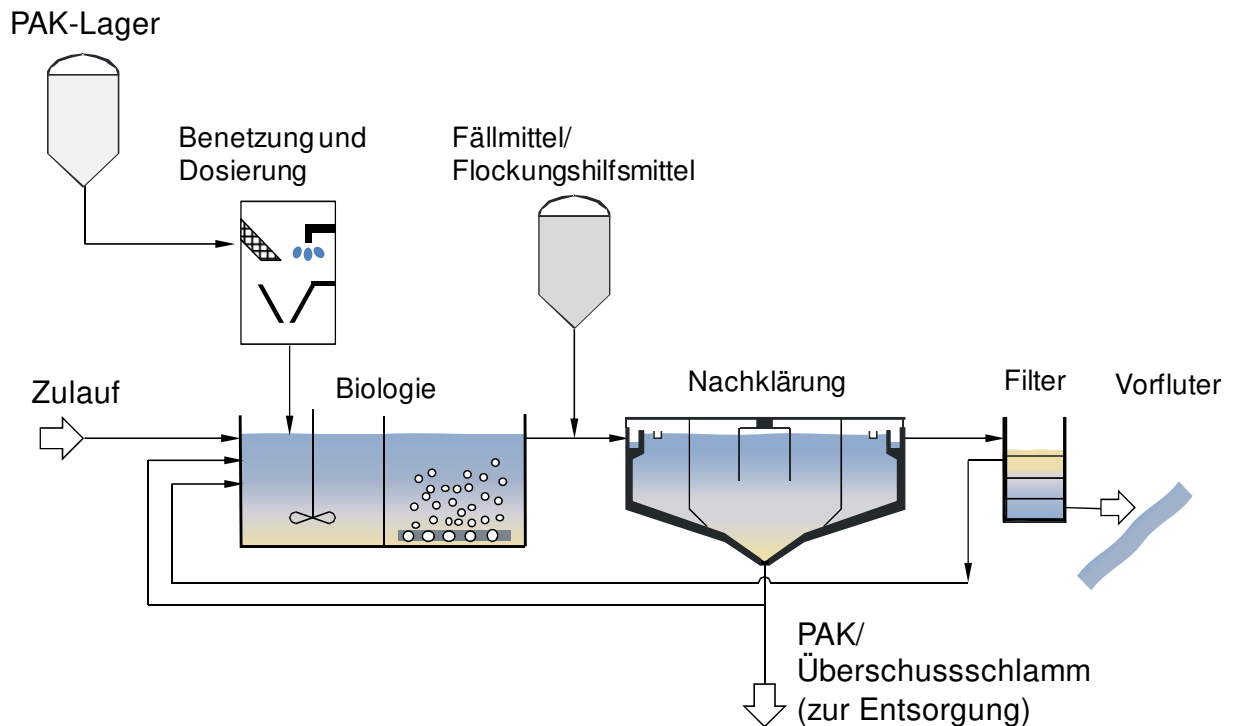


Abbildung 3-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung

3.1.3.2 Dosierung von Pulveraktivkohle in ein separates Kontaktbecken

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

Belebung entnommen werden. Eine Regeneration der Kohle wird nicht durchgeführt. Eine landwirtschaftliche Verwertung des 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/l angegeben werden.

Untersuchungen in Baden-Württemberg konnten zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg PAK/l die gut adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie Carbamazepin und Metoprolol, zu 80 % eliminiert werden können. (30)

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

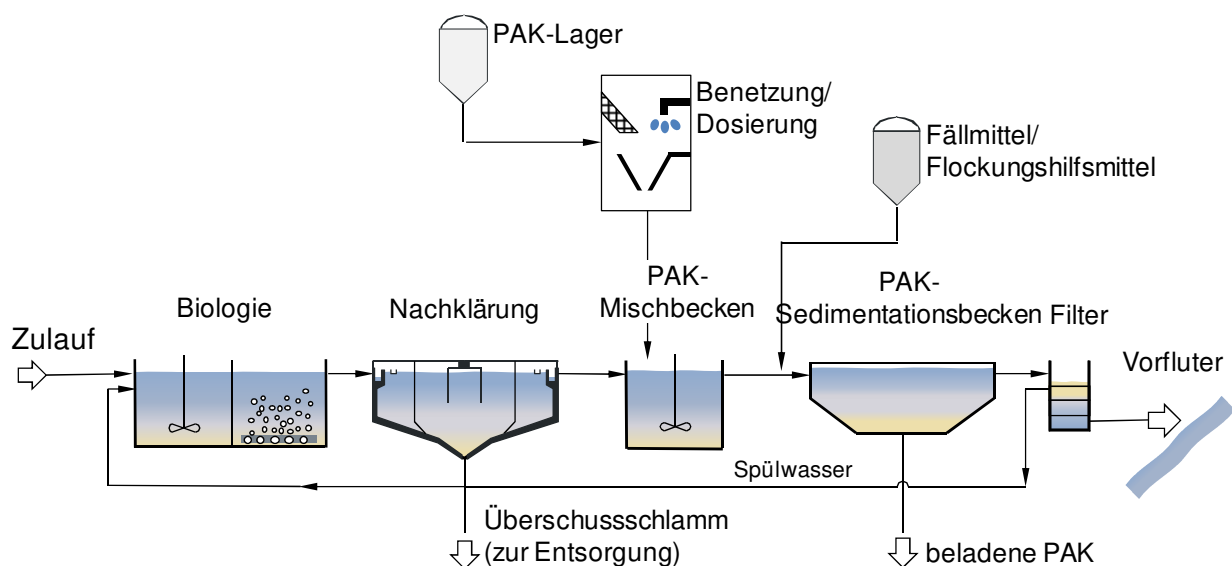


Abbildung 3-5: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken

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 (31), (32).

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

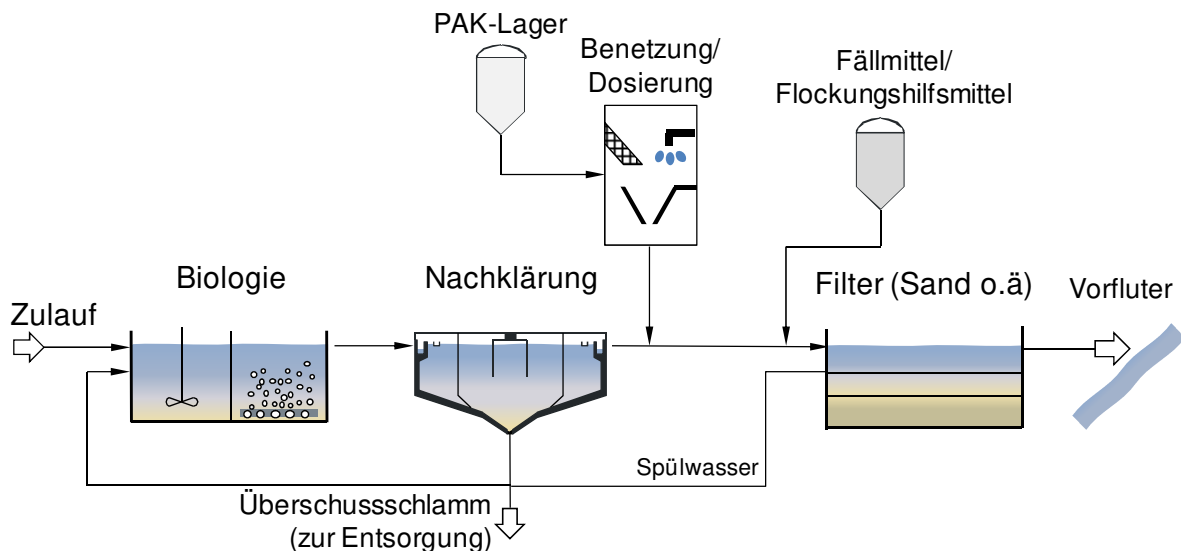


Abbildung 3-6: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum

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

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

Frische Kohle weist eine sehr hohe Adsorptionsfähigkeit auf, mit zunehmender Laufzeit nimmt diese ab. Die Durchbruchzeiten sind für verschiedene Stoffe sehr unterschiedlich, so dass sich u.U. sehr geringe Standzeiten der Filter ergeben können. In der Sickerwasserreinigung ist es deshalb üblich mehrere Aktivkohlefilter hintereinander zu schalten und rotierend zu betreiben. Auf kommunalen Kläranlagen sind die Wassermengen jedoch wesentlich höher und dynamischer, so dass der Betrieb mehrerer Filter in Reihe voraussichtlich nicht darstellbar ist. Ein Maß für die Standzeit eines Filters ist das „durchgesetzte Bettvolumen“, das auch abgekürzt als BVT (bed volume treated) bezeichnet wird. Die BVT geben an, wie oft ein Reaktorvolumen von der gleichen Volumenmenge Abwasser durchfahren werden kann bevor es ausgetauscht werden muss. Die zurzeit vorliegenden Erfahrungen zeigen eine deutliche Spannweite der erzielbaren Bettvolumina, die zwischen 3.000 – 15.000 m³ schwanken (30). 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 (33) 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 (34). 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 (34). Daher sollten hohe AFS-Gehalte evtl. durch eine vorgeschaltete Filtration vermieden werden.

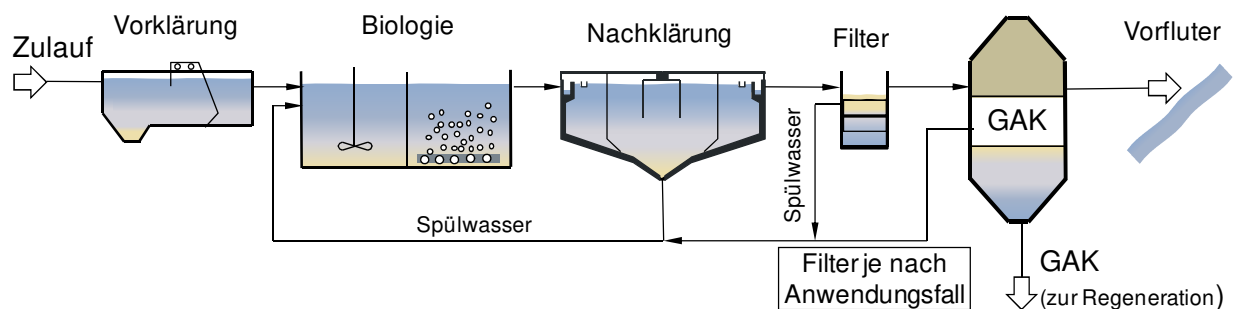


Abbildung 3-7: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter

3.2 Oxidative Verfahren

3.2.1 Grundlagen der Oxidation

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

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

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

Die erste Reaktion ist die Reaktion des Ozonmoleküls mit den gelösten Substanzen. Diese direkte Reaktion ist äußerst selektiv, es werden Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen angegriffen. Die zweite Reaktion wird über OH-Radikale geführt, die beim Zerfall des Ozons entstehen.

Diese OH-Radikale reagieren unselektiv in Millisekunden mit den Wasserinhaltsstoffen. Bei niedrigen pH-Werten überwiegt die erste, direkte Reaktion, während bei hohen pH-Werten fast ausschließlich die radikalische Reaktion abläuft.

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

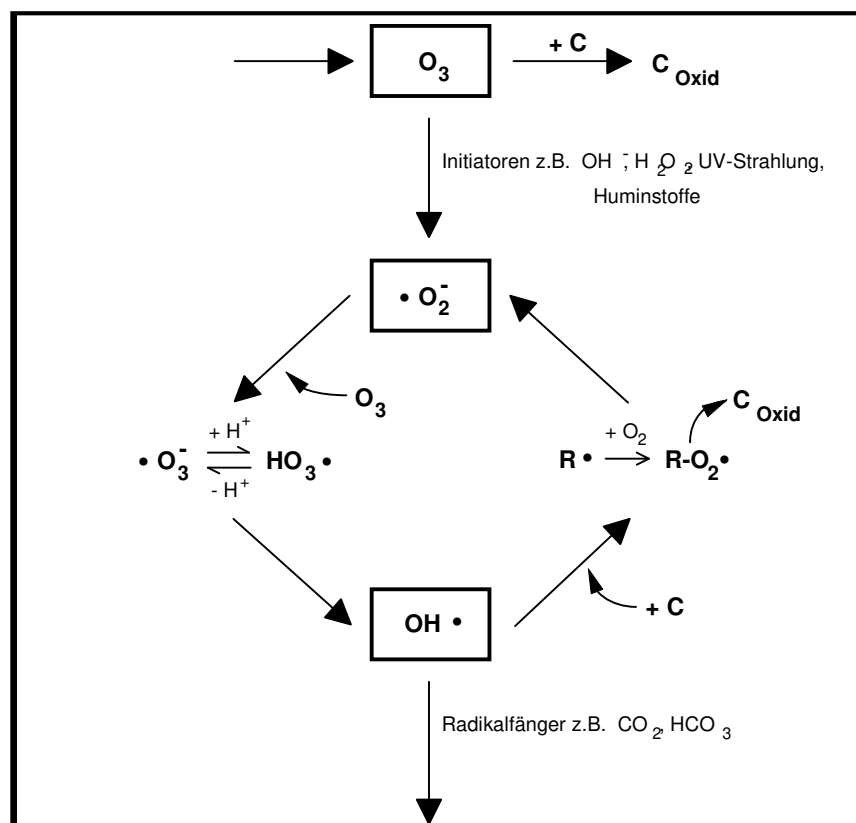


Abbildung 3-8: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

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 zurückgehalten 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 sind eine gute 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. (35) Bei der Ozonisierung kann außerdem durch die Reaktion von Bromid und Ozon Bromat entstehen, das in der Trinkwasserverordnung stark reglementiert ist.

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 und in einem Tank gelagert wird. Es ist auch möglich, Ozon aus Umgebungsluft herzustellen.

Das zu behandelnde Abwasser wird in einen Ozonreaktor eingeleitet. 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.

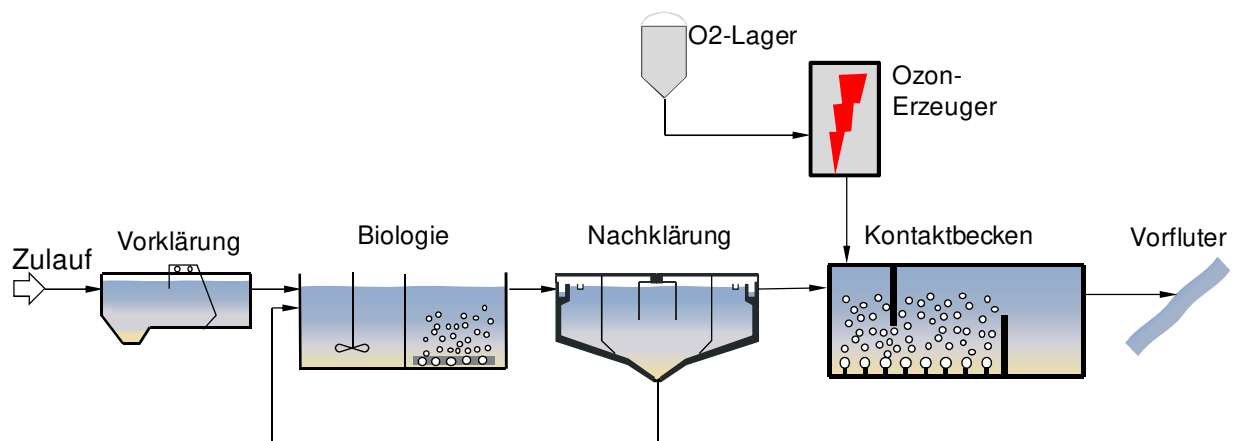


Abbildung 3-9: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung

3.3 Membranverfahren

3.3.1 Grundlagen der Membrantechnik

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

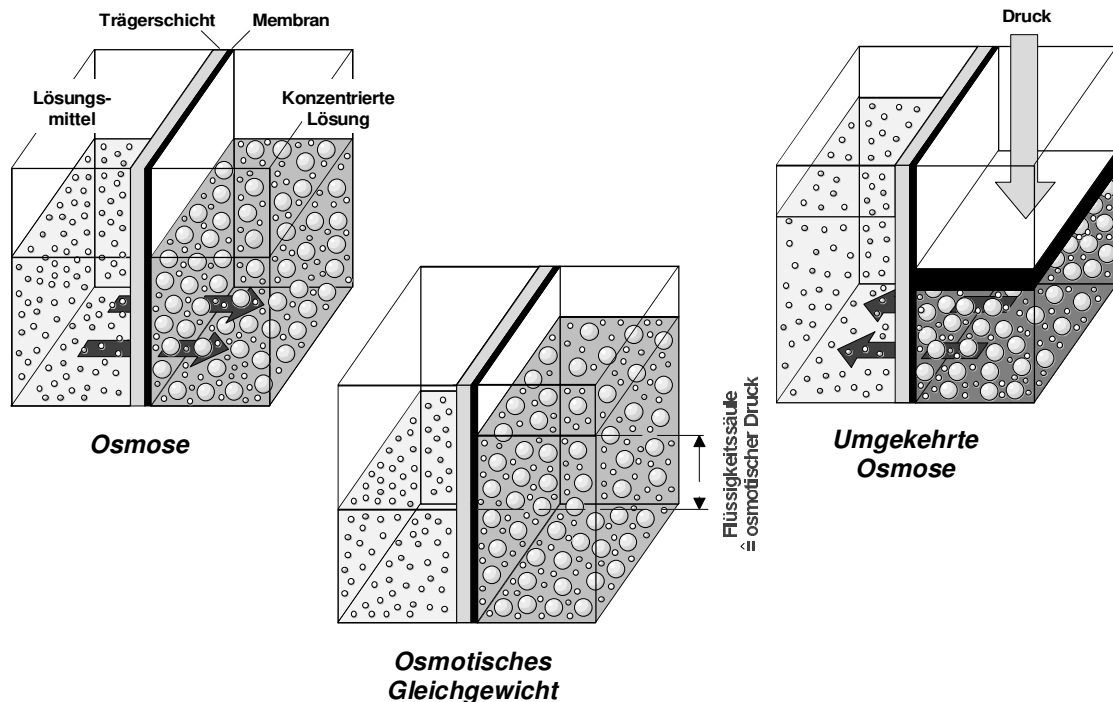


Abbildung 3-10: Osmose und Umkehrosmose

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

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

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

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

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

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

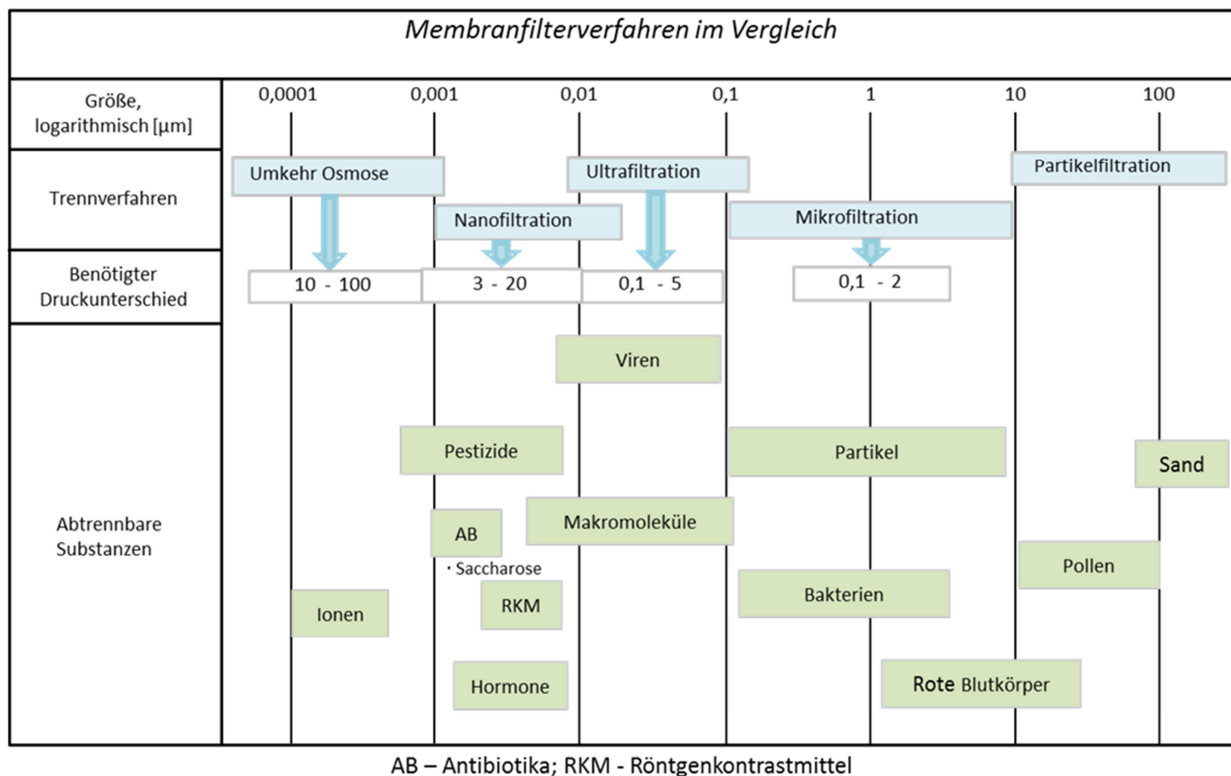


Abbildung 3-11: Membranfiltrationsverfahren im Vergleich

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

Die konventionellen Filtrationstechniken, wie Ultra-, Mikro- und Partikelfiltration, werden für das Abtrennen von Kolloiden und Feststoffen aus einer Lösung an einer Porenmembran eingesetzt. Diese Anlagen können daher mit geringen Drücken, je nach System und Anwendung ca. 1-10 bar, betrieben werden. Bei der Umkehrosmose muss zuerst der osmotische Druck der Lösung überwunden werden, bevor eine Auftrennung der Lösung stattfinden kann. Daher sind vor allem bei der Umkehrosmose erheblich höhere Drücke erforderlich. Für die Nanofiltration gilt dies nur bedingt, da die einwertigen Neutralsalze zum größten Teil die Membran passieren und somit eine geringere Konzentrationsdifferenz zwischen der 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 Stützschrift (ca. 0,1-0,2 mm) für die notwendige Festigkeit sorgt. Da der Betriebsdruck stets deutlich über dem maximal auftretenden osmotischen Druck des erzeugten Konzentrates liegen muss, ist der Aufkonzentrierung eine natürliche Grenze gesetzt.

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

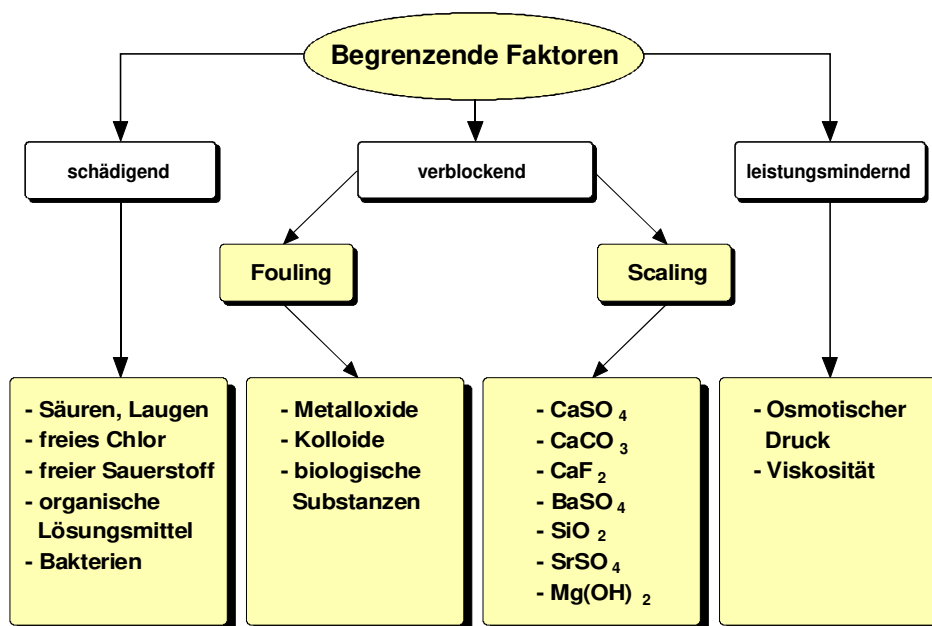


Abbildung 3-12: Begrenzende Faktoren

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

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

3.3.1.1 Apparative Ausführung der Membranen

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

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

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

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

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

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

3.3.2 Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

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

Beim Einsatz der Membranverfahren fallen stets zwei Wasserströme an, einerseits das gereinigte Abwasser (Permeat), andererseits das Konzentrat oder Retentat, welches die abgetrennten Stoffe enthält und bis zu 25% des Eingangsvolumenstroms ausmachen kann. Während das gereinigte Abwasser abgeleitet werden kann, verbleibt nach der Membranbehandlung ein Konzentrat, das die abgetrennten Abwasserinhaltsstoffe enthält. Je nach eingesetzter Verfahrenstechnik sind die Konzentratmengen unterschiedlich groß. Das Konzentrat muss weiter behandelt und/oder entsorgt werden. Lösungsmöglichkeiten für die 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 H_2O_2 , UV und TiO_2 (oder einem anderen Halbleiter), O_3 und H_2O_2 und weiteren Oxidationsmitteln. AOP sind grundsätzlich in der Lage, ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. AOP beruhen auf der Oxidation von organischen Inhaltsstoffen durch OH-Radikale ($\text{OH}^\cdot$). OH-Radikale müssen vor Ort (im Wasser) erzeugt werden und können nicht gelagert werden. Sie sind hoch reaktiv und reagieren mit praktisch allen organischen Stoffen, d. h. mit Mikroverunreinigungen, aber auch mit Hintergrund-DOC sowie mit einigen anorganischen Verbindungen. Die angegriffenen Substanzen werden wie bei der Ozonung in der Regel nicht zu CO_2 mineralisiert, sondern transformiert, wobei unbekannte Reaktionsprodukte entstehen. Aufgrund der hohen Reaktivität der Radikale ist eine gute Vorreinigung des Abwassers notwendig, damit die Radikale möglichst effizient mit den Mikroverunreinigungen reagieren können.

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

3.4.2 Weitere Verfahren

3.4.2.1 Ferrat

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

Anwendung von Ferrat wurde zunächst im Labormaßstab getestet, wobei diese Versuche vielversprechend verliefen. Ferrat kann, ähnlich wie Pulveraktivkohle, in die Belebung oder in eine eigene Behandlungsstufe dosiert werden. Bei der Dosierung in die Belebung ist eine höhere spezifische Dosiermenge notwendig. Die chemische Reaktivität ist etwas geringer als beim Ozon. Da Ferrat bislang nicht im industriellen Maßstab hergestellt wird, sind die Kosten relativ hoch. Die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit muss in der kommenden Zeit noch genauer untersucht werden. (29)

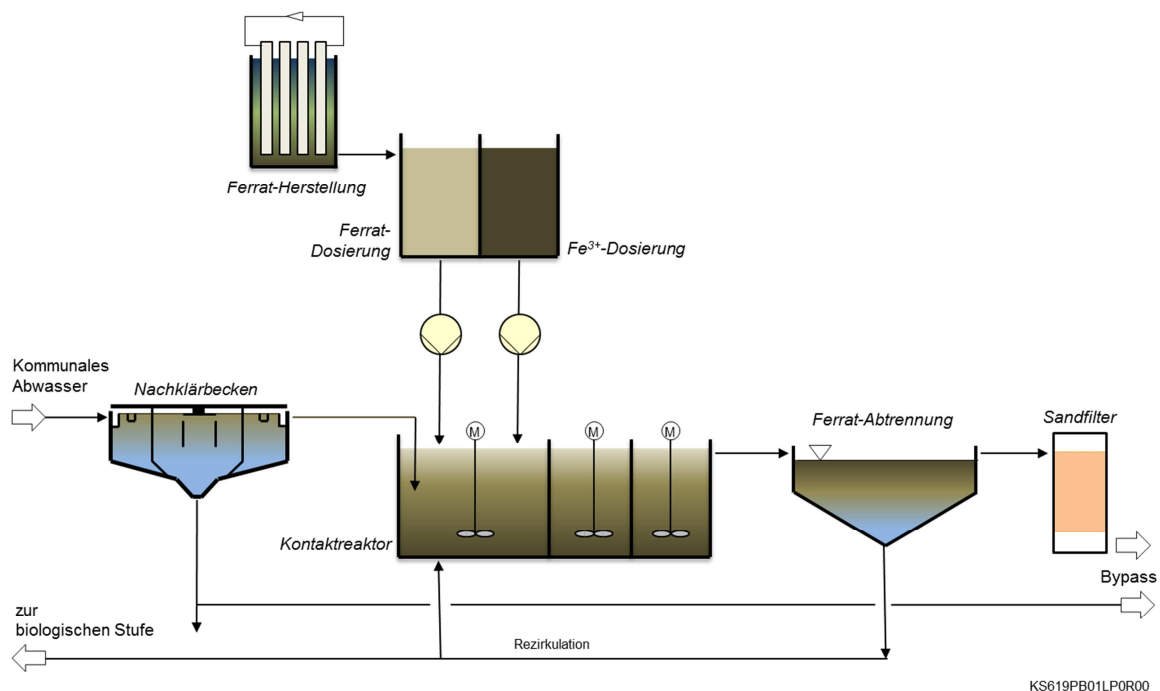


Abbildung 3-13: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Spurenstoffelimination (nach (29))

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. (29)

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. (29)

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. (29)

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 Umkehrosmostechniken 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 (29). 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). (35) Auch im Hinblick auf die Mikroplastikelimination ist eine anschließende Filtration empfehlenswert.

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

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granuliert Aktivkohle (GAK). Beim Einsatz der Pulveraktivkohle werden die besten Eliminationsleistungen erreicht, wenn die Dosierung der PAK in ein Kontaktbecken mit ausreichender Verweilzeit und einer ausreichend hohen PAK Dosierrate erfolgt und eine Rezirkulation der PAK betrieben wird. Es ist auch möglich, die PAK in den Flockungsraum eines Filters zu dosieren. Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle wurden teilweise wesentlich schlechtere Eliminationsleistungen als beim Einsatz der Pulveraktivkohle festgestellt (33). Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (34) liegen die durchsetzbaren Bettvolumina in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt des Abwassers bei 5.000 bis 10.000 BV (DOC 14 bis 17 mg/l) bzw. 4.700 bis 24.000 BV (5 bis 11 mg/l DOC). Zu beachten ist jedoch bei der Betrachtung der erreichbaren Bettvolumina, dass eine Parallelschaltung 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 (34).

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 ab-

schließenden UV-Behandlung. (36) Die Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen ist jedoch nicht ohne weiteres gegeben, so dass diese Untersuchungen lediglich einen Hinweis geben.

3.7.1 Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

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

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

KA Bad Sassendorf:	Ozonung
KA Duisburg- Vierlinden:	Ozonung
KA Mannheim:	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Schwerte:	PAK-Dosierung und Ozonung
KA Buchenhofen:	PAK- Dosierung in Filterzelle
KA Obere Lutter:	GAK-Filtration
KA Gütersloh- Putzhagen	GAK-Filtration (Teilstrombehandlung)
KA Dülmen	PAK - Kombination aus Sedimentation und Filtration
KA Rietberg	GAK-Filtration
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 Münster-Hiltrup

Die Auswertung der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Betriebstagebücher der Kläranlage Münster-Hiltrup erfolgt für den Zeitraum 01.01.2014 bis 31.12.2015.

4.1 Zulauf der Kläranlage

Die Tageszulaufmengen für die Jahre 2014 und 2015 sind in Abbildung 4-1 gezeigt. Die mittlere Zulaufmenge beträgt etwa 4.800 m³/d.

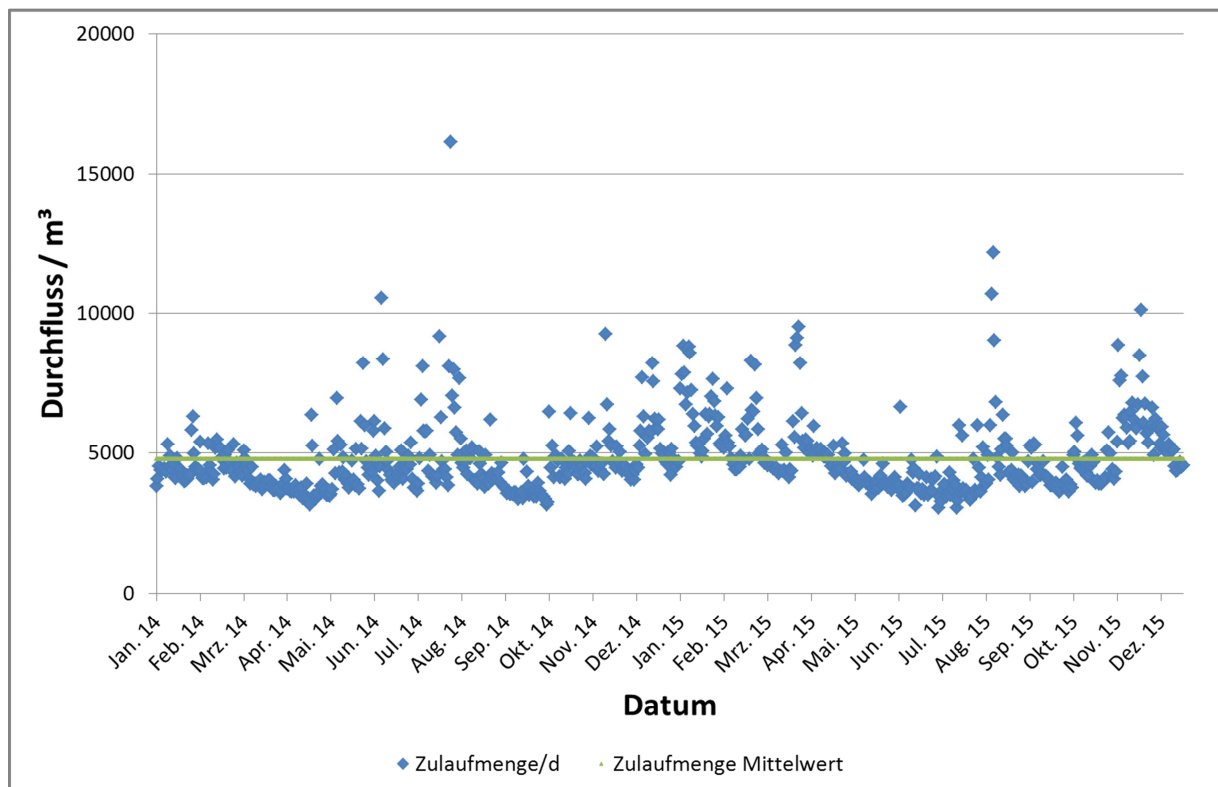


Abbildung 4-1: Tageszulaufmenge der KA Hiltrup 2014-2015

Im Zuge einer von der Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft mbH durchgeführten Grundlagenermittlung vom Februar 2017 wurde die tatsächliche Auslastung unter Verwendung der aufgeführten einwohnerspezifischen Ansätze wie in Tabelle 4-1 aufgeführt aus dem 85 %-Perzentil der Zulaufkonzentrationen zur Belegung ermittelt.

Tabelle 4-1: Berechnung der Einwohnerwerte (37)

Parameter	Einwohnerspez. Ansatz	Berechnete EW
CSB	85 g/(E*d)	27.330
N _{ges}	10 g/(E*d)	35.200
N/CSB-Verhältnis	-	39.200
P _{ges}	1,6 g/(E*d)	35.100

4.2 Zulauf der Belebungsanlage

Die folgenden Daten stammen aus der Grundlagenermittlung der Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft mbH (37). Betrachtet wurden die Jahre 2014 und 2015.

Der CSB liegt, wie aus Abbildung 4-2 ersichtlich, zwischen 561 und 6.283 kg/d.

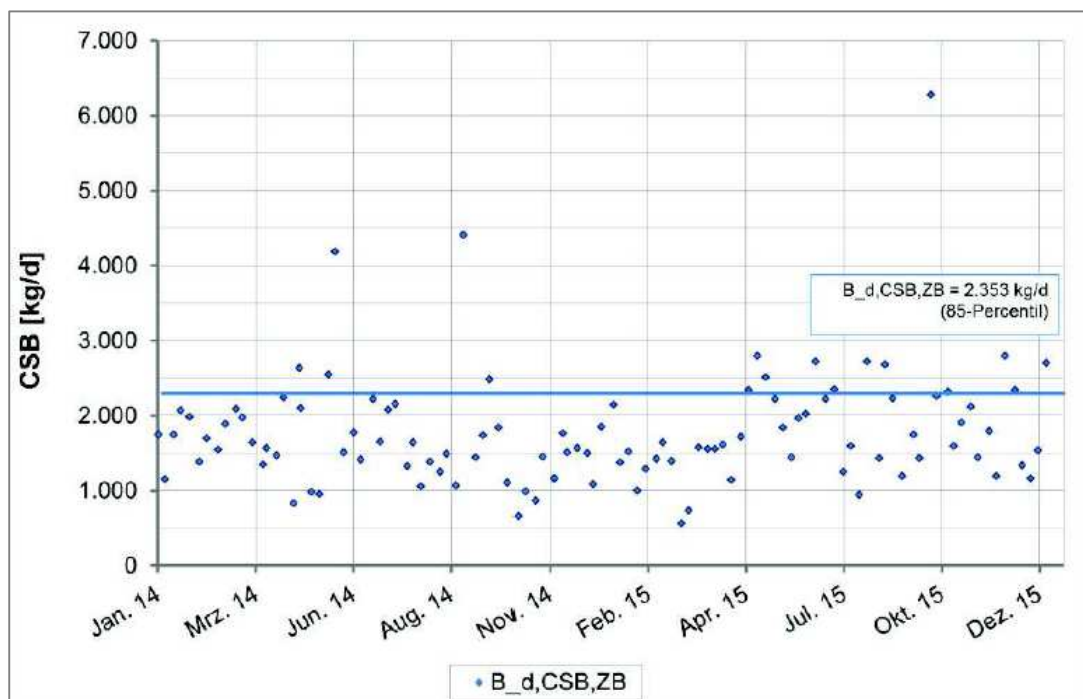


Abbildung 4-2: CSB-Frachten im Zulauf der Belebungsanlage, 2014-2015 (37)

Die Stickstofffracht liegt im betrachteten Zeitraum bei 130-500 kg/d, im Mittel bei 273 kg/d (Abbildung 4-3).

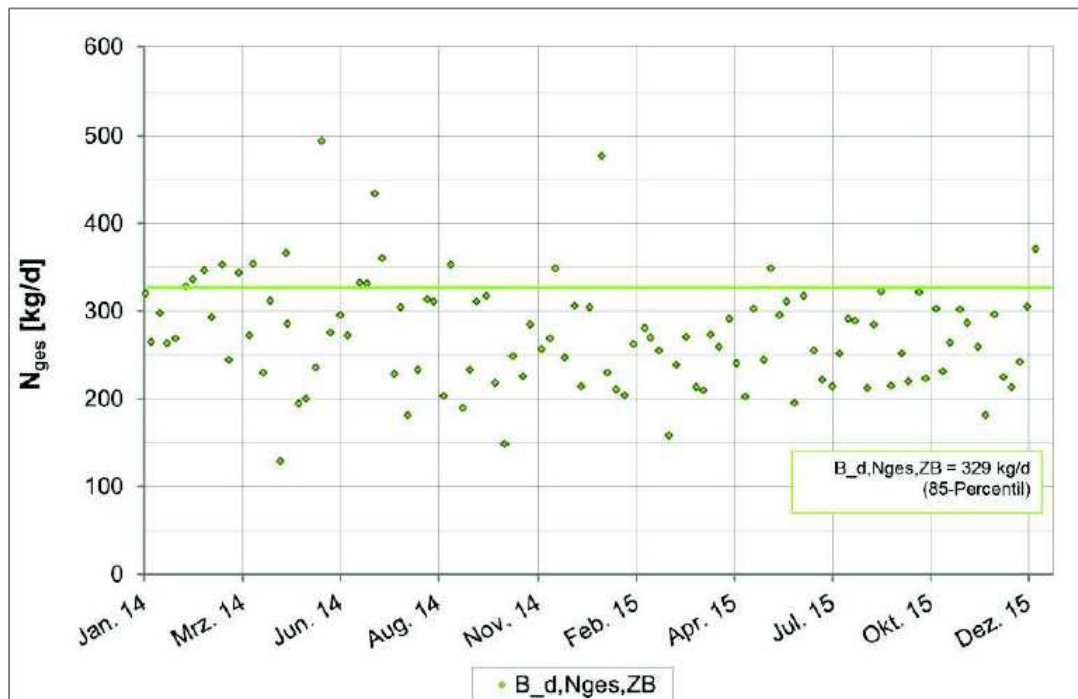


Abbildung 4-3: N_{ges} -Frachten im Zulauf der Belebung, 2014-2015 (37)

Es ist eine P_{ges} -Fracht von 18-90 kg/d, im Mittel 44 kg/d, zu verzeichnen (Abbildung 4-4).

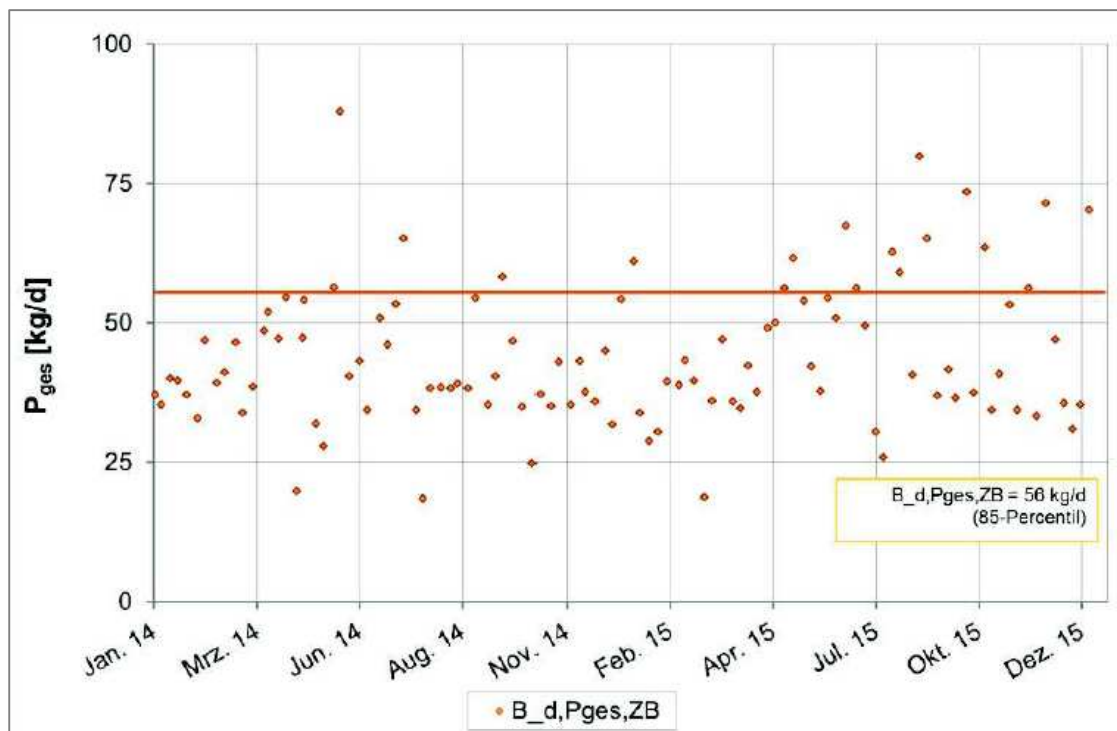


Abbildung 4-4: P_{ges} -Frachten im Zulauf der Belebung, 2014-2015 (37)

4.3 Belebung

Das Schlammvolumen und der Trockensubstanzgehalt sind in Abbildung 4-5 gezeigt. Der Trockensubstanzgehalt liegt recht konstant bei im Mittel 3,5 g/l. Das Schlammvolumen liegt im Mittel bei 350 ml/l, zeigt jedoch eine stärkere Schwankung als der Trockensubstanzgehalt.

Der aus dem Schlammvolumen und dem Trockensubstanzgehalt berechnete Schlammindex (Abbildung 4-6) unterliegt den gleichen Schwankungen wie das Schlammvolumen.

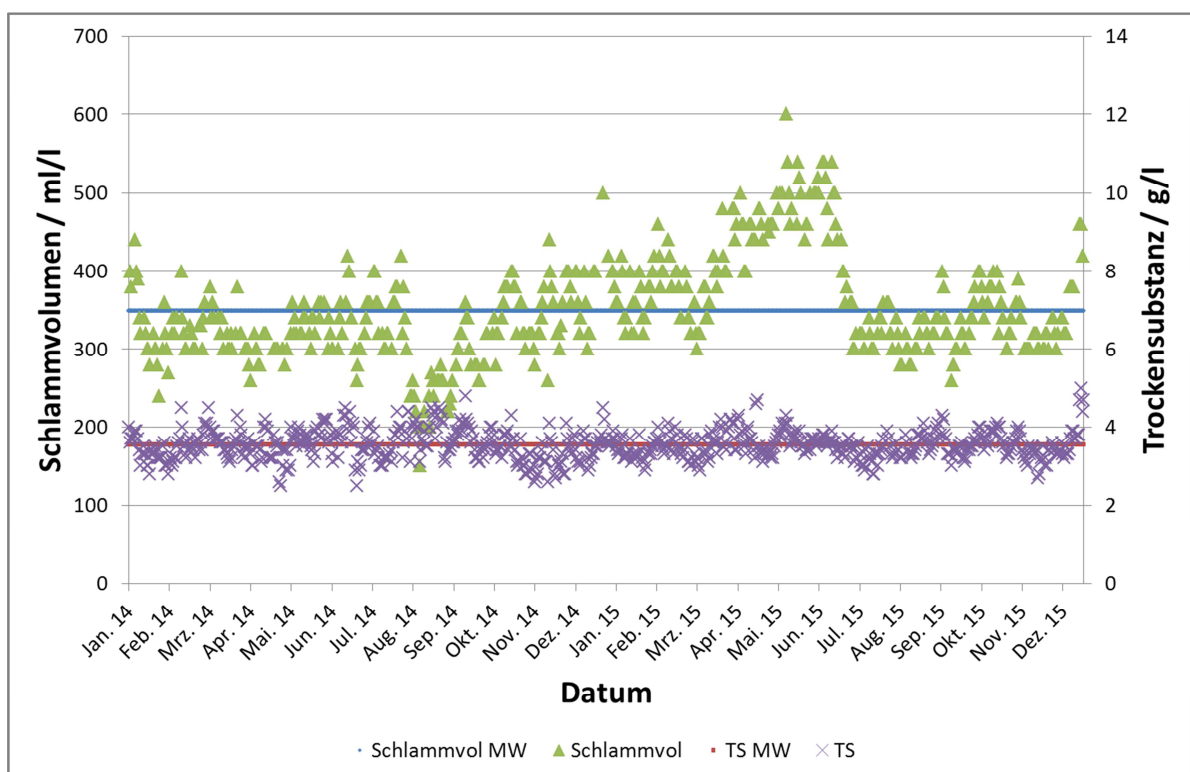


Abbildung 4-5: Schlammvolumen und Trockensubstanzgehalt

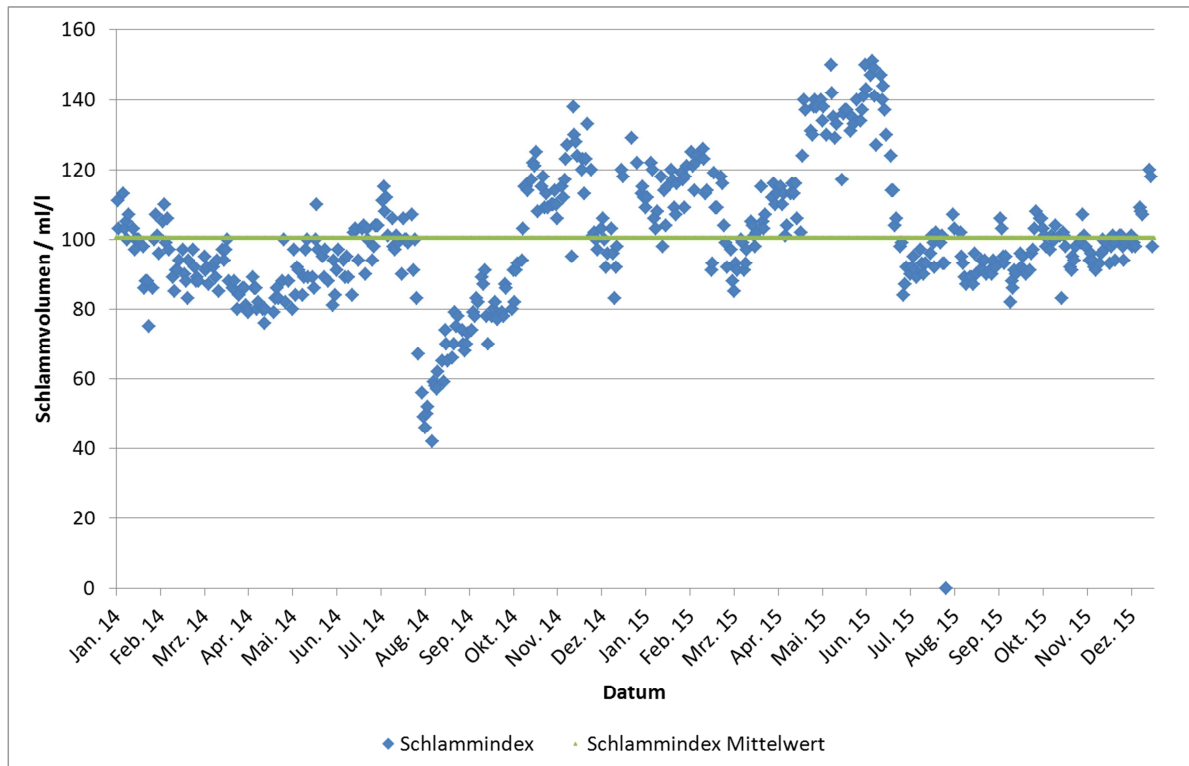


Abbildung 4-6: Schlammindex

4.4 Kläranlagenablauf

Die Ablaufwerte der Kläranlage Hiltrup werden im Ablauf des Schönungsteichs bestimmt. Da eine vierte Reinigungsstufe jedoch hinter dem Ablauf der Nachklärung integriert würde, sind eigentlich die Ablaufwerte des Nachklärbeckens für die Auslegung zu betrachten. Im Zuge der Teichentschlammung wurden die Werte von Sommer 2011 bis Sommer 2012 an dieser Stelle gemessen. Für die Jahre danach liegen sie nur für den Ablauf des Schönungsteichs vor. Im Folgenden werden jeweils beide Messstellen gezeigt.

In Abbildung 4-7 ist die CSB-Konzentration im Ablauf des Schönungsteichs der KA Hiltrup über die Jahre 2014 und 2015 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 25,4 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 33 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 60 mg/l wird von der KA Hiltrup sicher eingehalten.

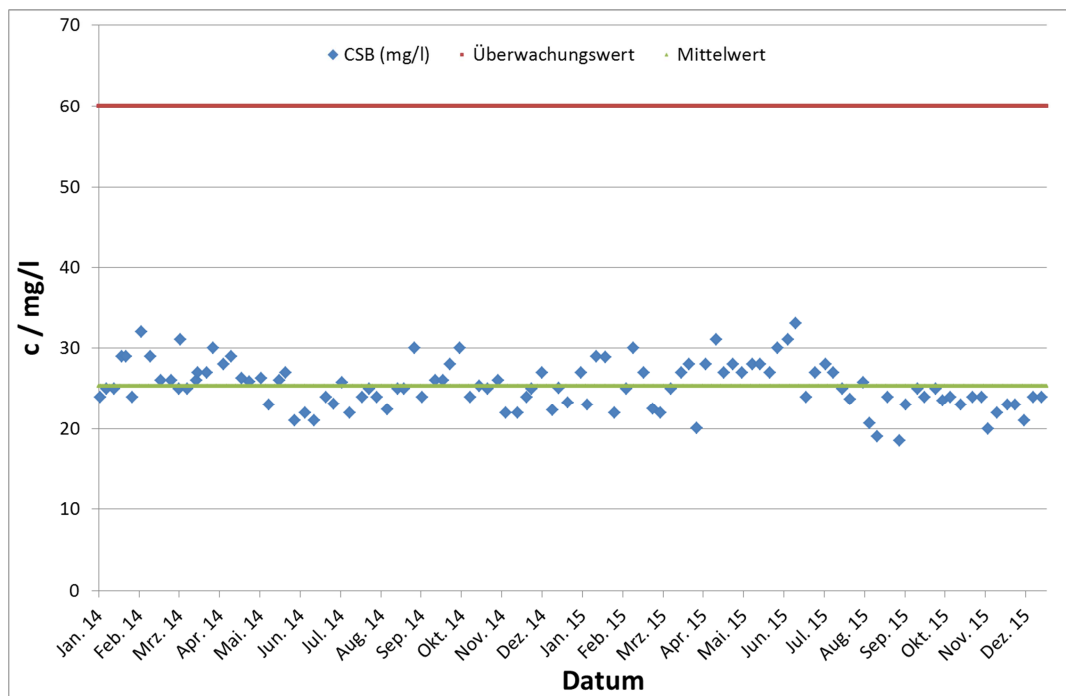


Abbildung 4-7: CSB-Konzentrationen im Ablauf des Schönungsteichs der KA Hiltrup

Relevant für die Auslegung einer vierten Reinigungsstufe wären jedoch nicht die Ablaufwerte des Schönungsteiches, sondern die Ablaufwerte der Nachklärung. Hierzu liegen nur Stichproben aus den Jahren 2011-2012 vor, die in der folgenden Abbildung 4-8 dargestellt sind. Der CSB liegt hier im Mittel bei 22,9 mg/l. Die Werte liegen somit in einer vergleichbaren Größenordnung.

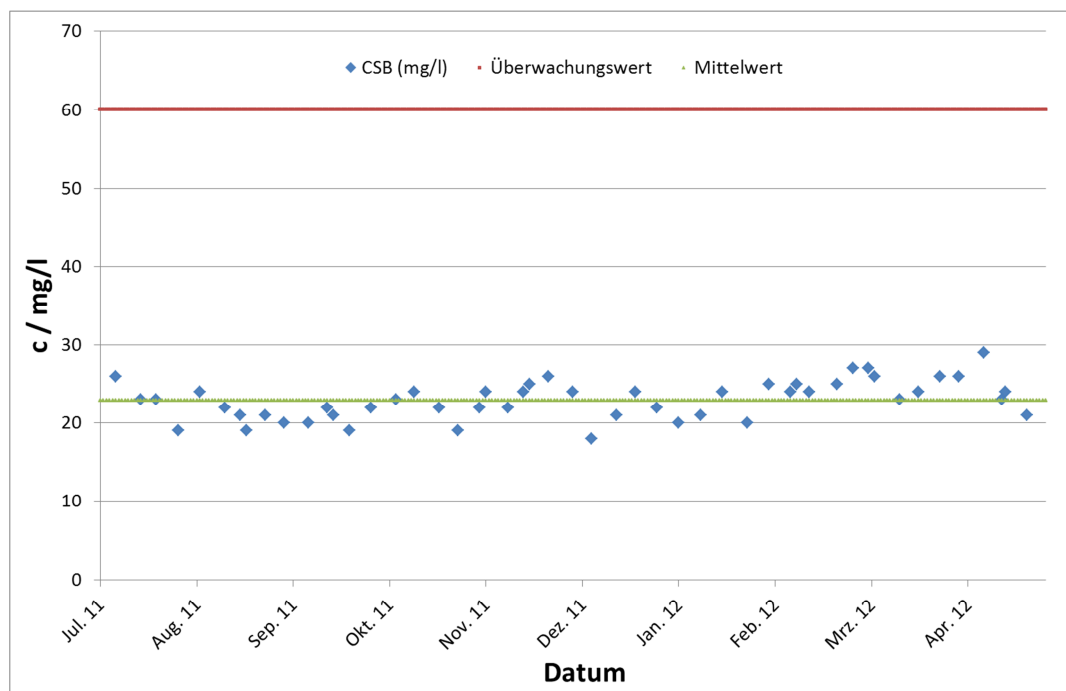


Abbildung 4-8: CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung der KA Hiltrup

Der Gesamtgehalt an anorganisch gebundenem Stickstoff (N_{anorg}) liegt im Mittel bei 2,5 mg/l (Abbildung 4-9). Damit wird auch hier der Überwachungswert (10 mg/l bei $T \geq 12^\circ\text{C}$) sicher eingehalten. Die Analysen aus dem Ablauf der Nachklärung (Abbildung 4-10) ergeben vergleichbare Werte (Mittelwert: 2,3 mg/l).

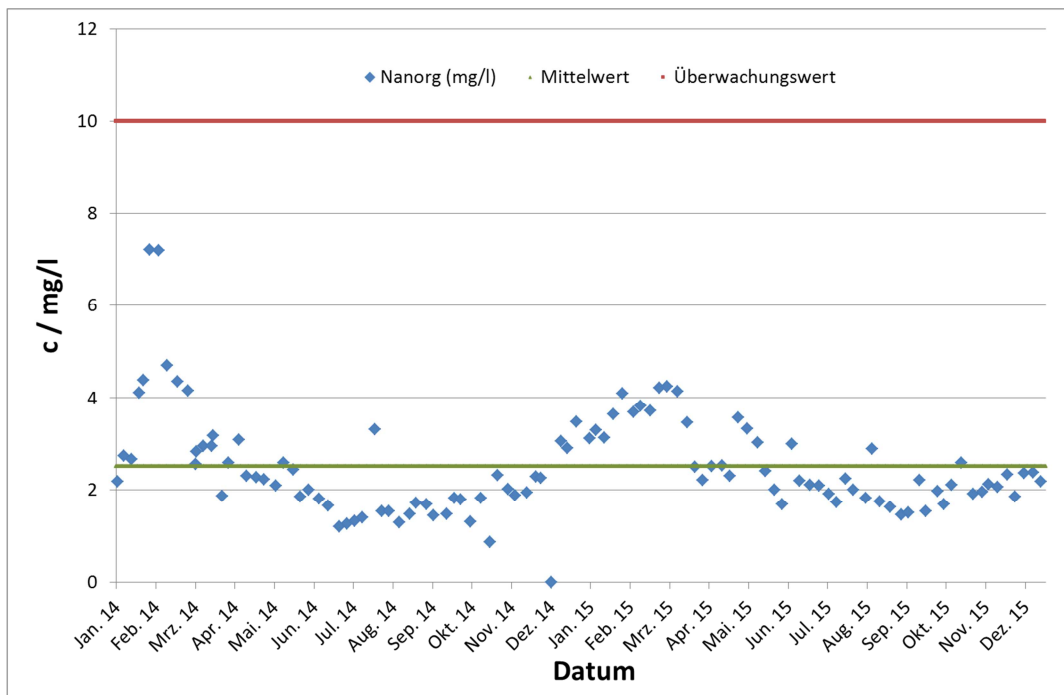


Abbildung 4-9: N_{anorg} -Konzentrationen im Ablauf des Schönungsteichs

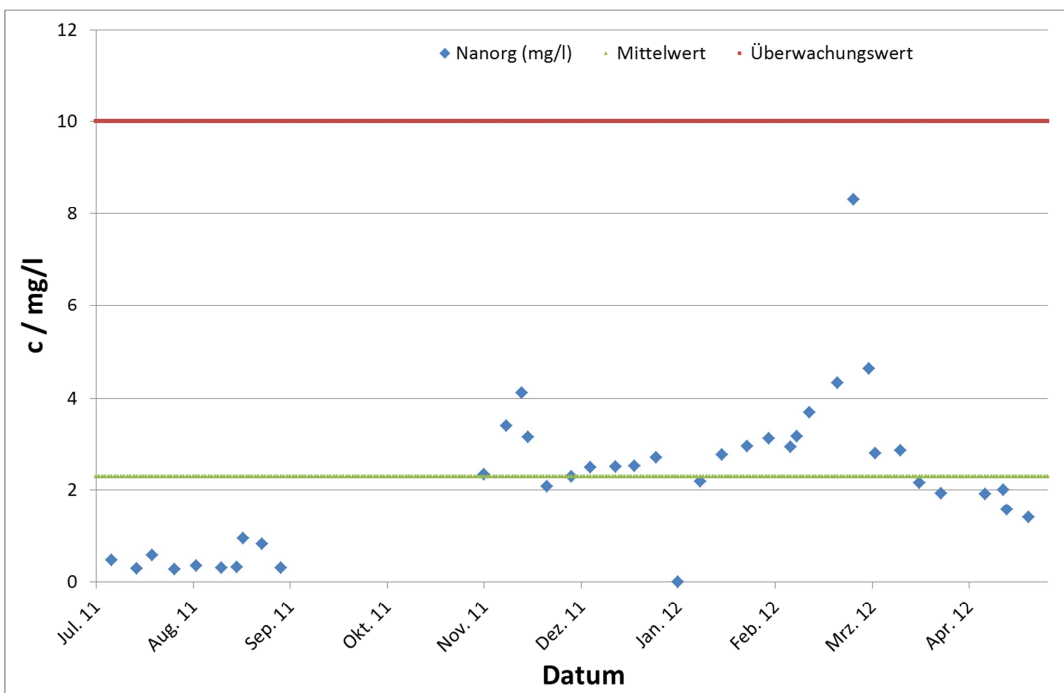


Abbildung 4-10: N_{anorg} -Konzentration im Ablauf des Nachklärbeckens

Abbildung 4-11 zeigt die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf des Schönungsteichs. Im Mittel beträgt die Konzentration 1,7 mg/l, wobei die Konzentration im Winter höher ist als im Sommer. Der Überwachungswert von 5 mg/l bei $T \geq 12^\circ\text{C}$ wird sicher eingehalten. Die Werte im Ablauf des Nachklärbeckens liegen deutlich darunter (Mittelwert: 0,8 mg/l; vgl. Abbildung 4-12).

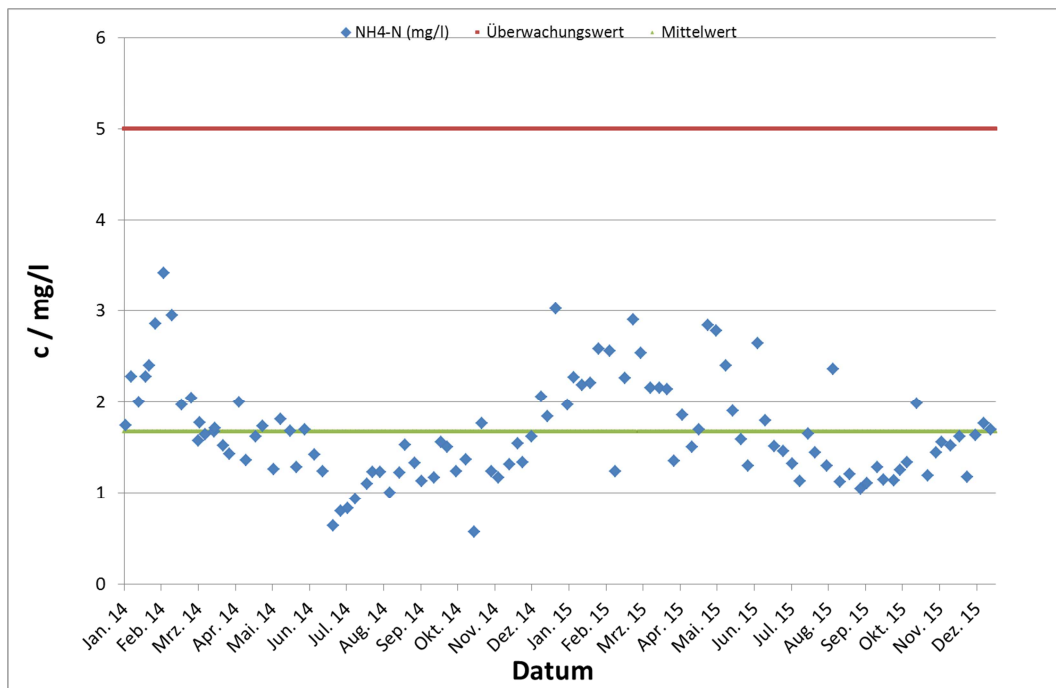


Abbildung 4-11: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Ablauf Schönungsteich

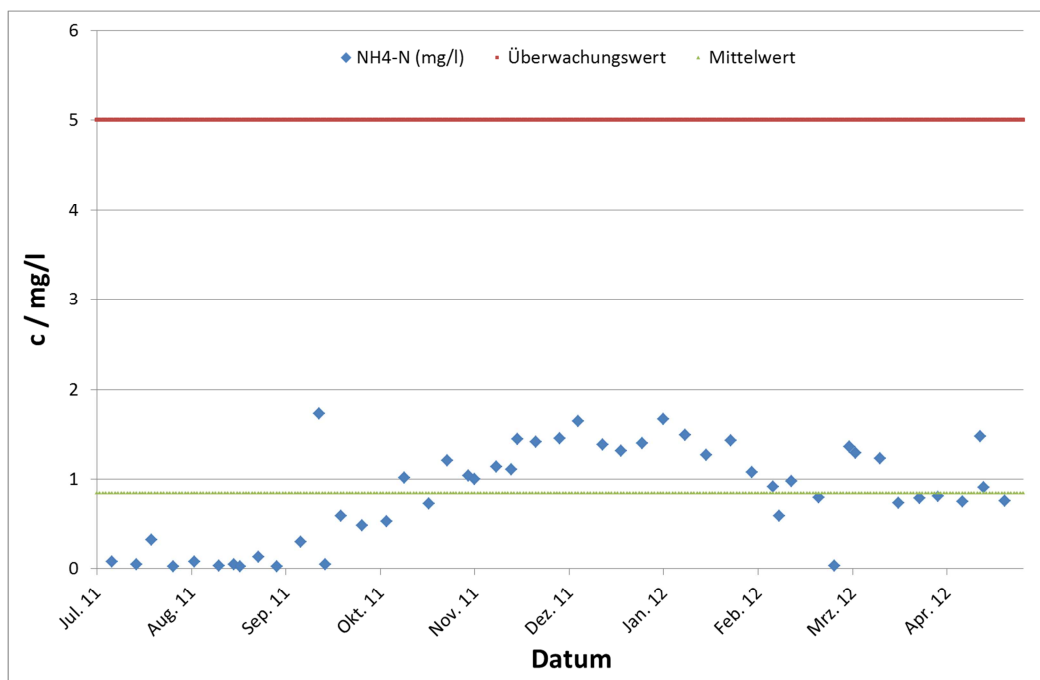


Abbildung 4-12: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Ablauf Nachklärbecken

Die P_{ges} -Konzentration im Ablauf des Schönungsteichs ist in Abbildung 4-13 dargestellt. Die Konzentration liegt im Mittel bei 0,18 mg/l. Damit wird der Überwachungswert von 1 mg/l sicher eingehalten. Im Ablauf des Nachklärbeckens (Abbildung 4-15) liegt die Konzentration im Mittel bei vergleichbaren 0,23 mg/l.

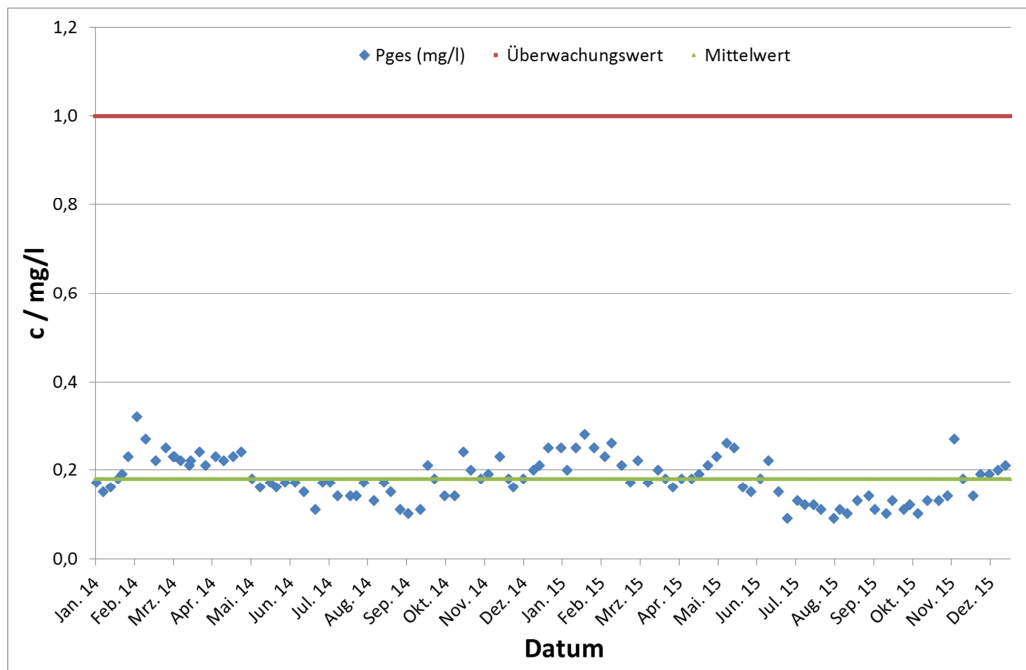


Abbildung 4-13: P_{ges} -Konzentrationen im Ablauf des Schönungsteichs

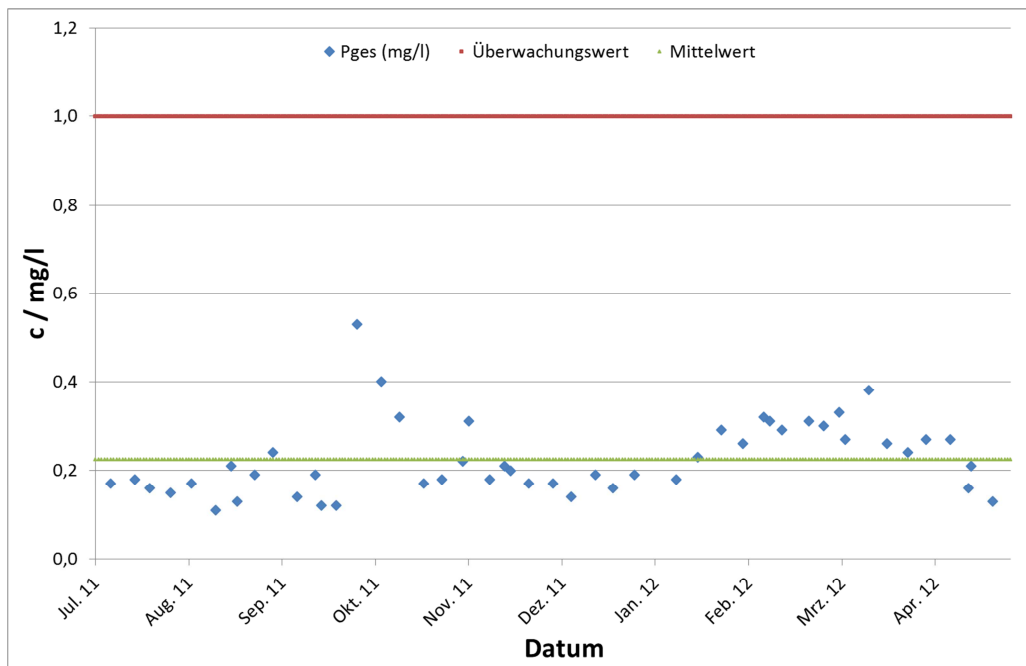


Abbildung 4-14: P_{ges} -Konzentrationen im Ablauf des Nachklärbeckens

Die Konzentrationen von $\text{NO}_2\text{-N}$ sind in Abbildung 4-15 (Ablauf Schönungsteich, Mittelwert: 0,15 mg/l) und Abbildung 4-16 (Ablauf Nachklärbecken, Mittelwert: 0,05 mg/l) dargestellt. Sie liegen somit im Ablauf des Schönungsteichs dreimal so hoch wie im Ablauf des Nachklärbeckens. Da die Werte zu unterschiedlichen Zeiten generiert wurden, ist der direkte Vergleich allerdings schwierig.

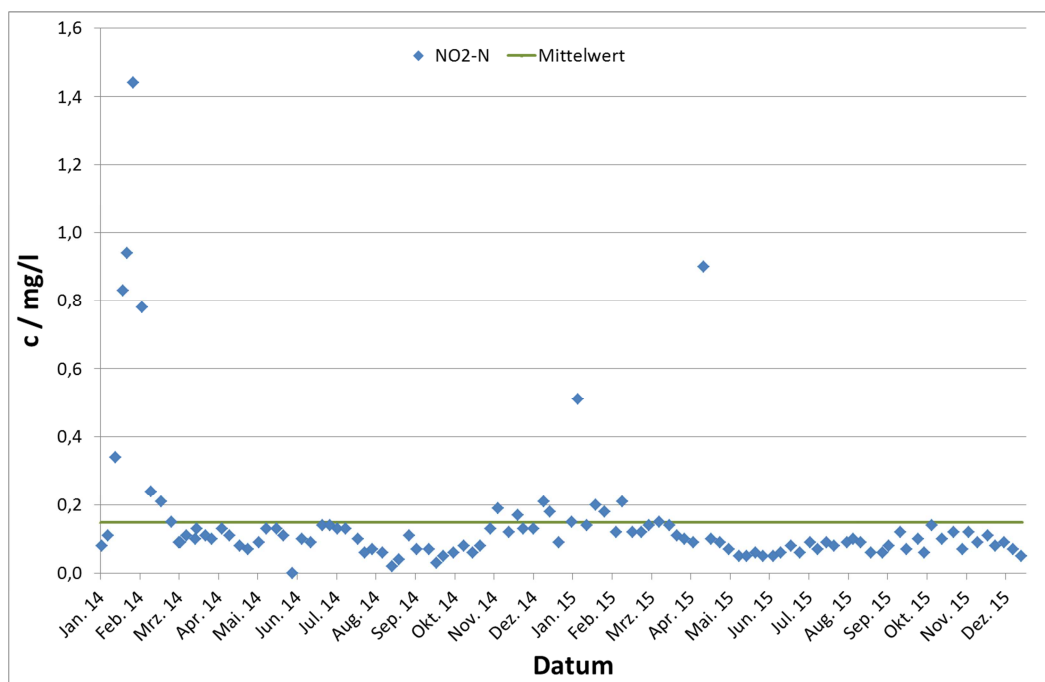


Abbildung 4-15: $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen im Ablauf des Schönungsteichs

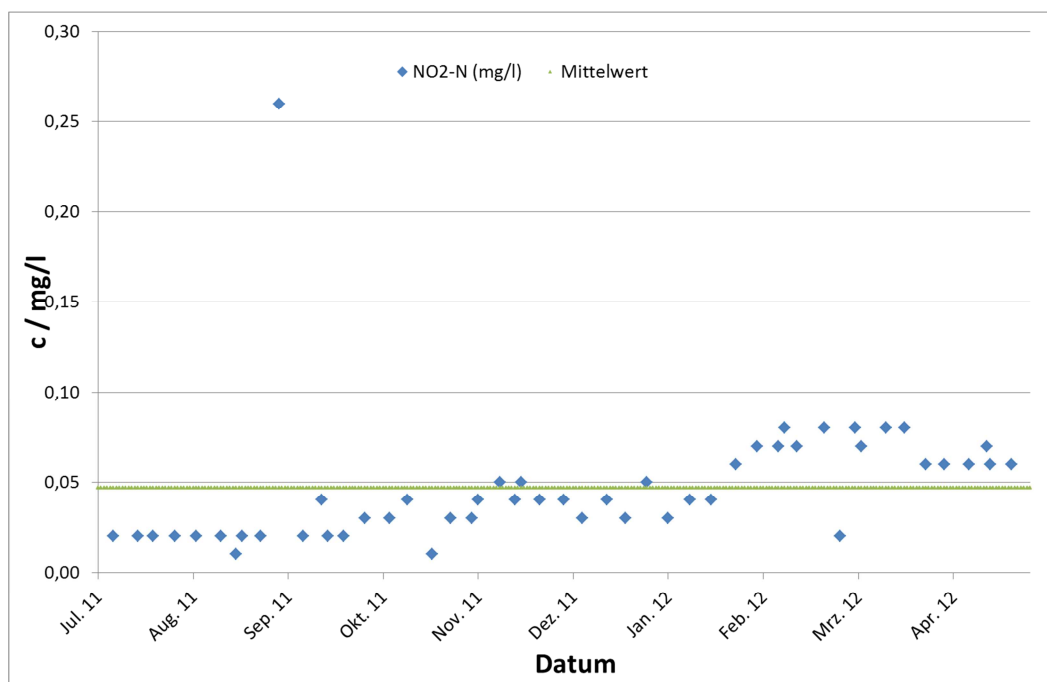


Abbildung 4-16: $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen im Ablauf des Nachklärbeckens

Der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt liegt im Ablauf des Schönungsteichs im Mittel bei 0,69 mg/l (vgl. Abbildung 4-17), im Ablauf des Nachklärbeckens liegt der Mittelwert bei 1,26 mg/l (vgl. Abbildung 4-18).

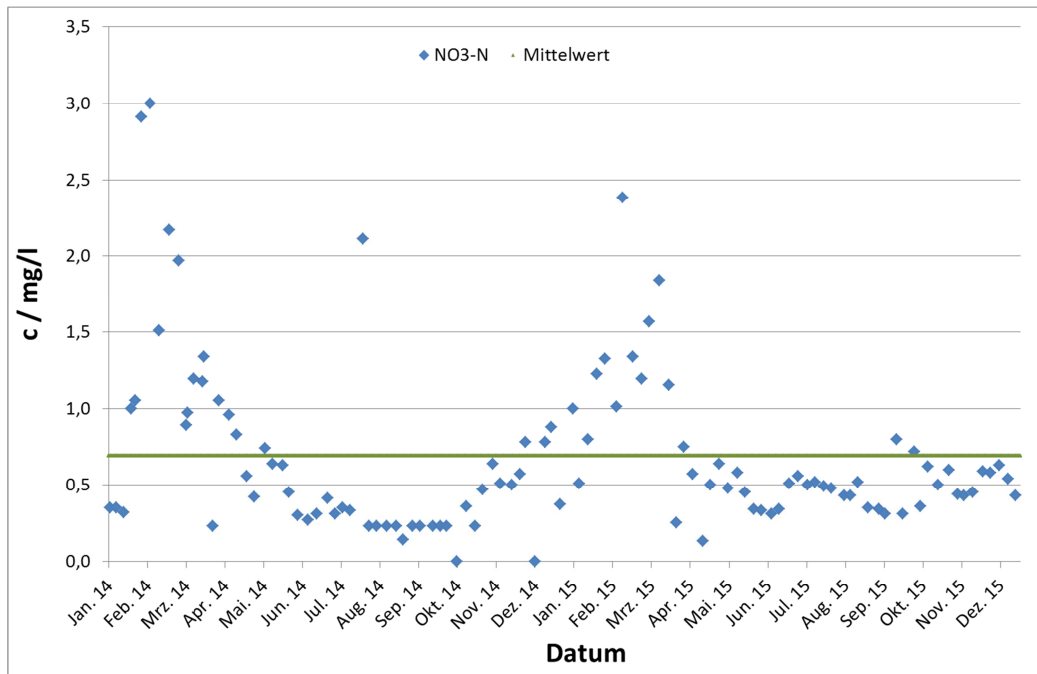


Abbildung 4-17: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt im Ablauf des Schönungsteichs

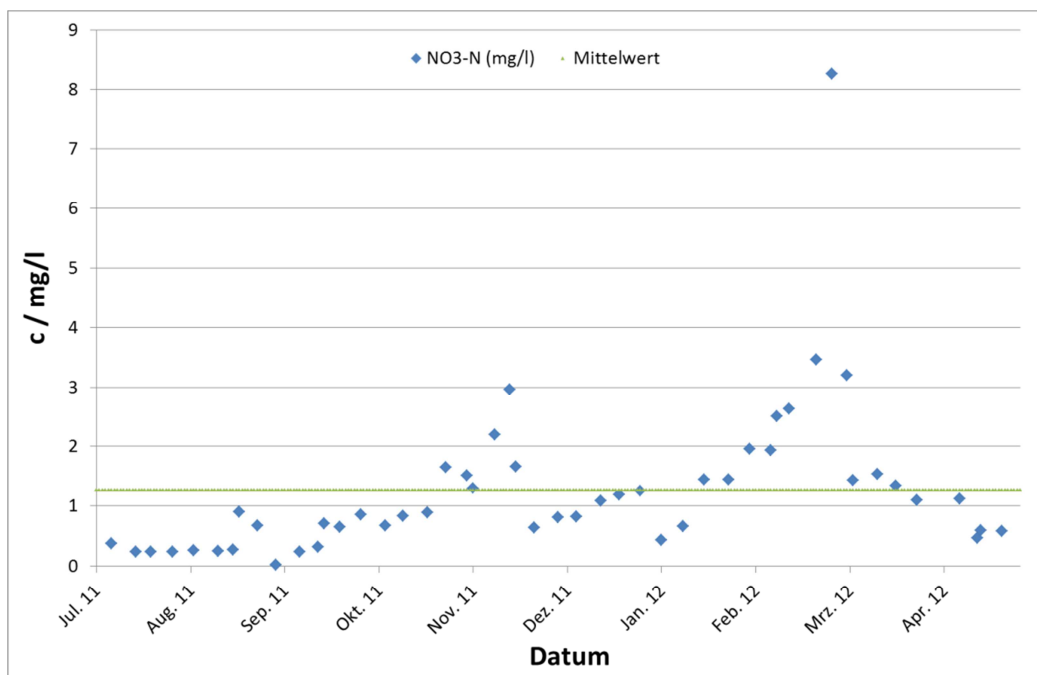


Abbildung 4-18: $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt im Ablauf des Nachklärbeckens

4.5 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe

Die KA Hiltrup ist mit 27.000 EW bezogen auf den CSB nicht voll ausgelastet. Bezogen auf den Stickstoff- und den Phosphorgehalt ergibt sich allerdings eine Auslastung von über 35.000 EW, die deutlich über der Ausbaugröße von 30.000 EW liegt. Trotzdem 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 Nitrit-Ablaufkonzentrationen für den Einsatz von Behandlungsverfahren mit Ozon zu vermeiden. Nitrit verursacht eine hohe Ozonzehrung, was sich negativ auf die Betriebskosten auswirkt.

Da für den Ablauf des Nachklärbeckens, hinter dem die vierte Reinigungsstufe vorgesehen wäre, keine aktuelleren Daten als die oben gezeigten (07/2011-04/2012) vorliegen, werden im Folgenden die Ablaufwerte des Schönungsteichs verwendet.

Zurzeit erreicht die CSB-Konzentration nie mehr als 33 mg/l, im Mittel liegt sie bei 25,4 mg/l. Die Reinigungsleistung ist damit als sehr gut einzustufen. Da die NO₂-N-Konzentrationen schwanken und insbesondere im Winter stark ansteigen können, 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.

4.6 LANUV-Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Bei den Untersuchungen des Kläranlagenablaufs im Rahmen der LANUV-Überwachung der Kläranlage Hiltrup konnten in den Jahren 2014-2015 keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

4.7 Bisherige Untersuchungen des Vorfluters und des Kläranlagenablaufes auf Spurenstoffe

Behördlich angeordnet wurden die Probenahmestellen We2 (Emmerbach oberhalb der KA Hiltrup) und We1a (Emmerbach unterhalb KA Hiltrup) sowie der Ablauf der Kläranlage. Die Untersuchung erfolgte nur für einige ausgewählte Parameter, nämlich für Arzneimittelrückstände sowie für Benzotriazol als Vertreter der Pflanzenschutzmittel. Die Ergebnisse werden in Tabelle 4-2 gezeigt.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der erweiterten Untersuchungen des Vorfluters. Rote Markierung: Überschreitung des Präventivwertes

		We2		We1a
	Präventivwert	Emmerbach oberhalb KA	Ablauf KA Hi	Emmerbach unterhalb KA

	Präventiv wert		We2 Emmerbach oberhalb KA	Ablauf KA Hi	We1a Emmerbach unterhalb KA
19.03.2015					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	1,24	9,94	2,11
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	0,100	0,934	0,160
Clarithromycin	0,025	µg/l	0,116	0,393	0,142
Diclofenac	0,1	µg/l	0,209	1,980	0,450
Metoprolol	7,3	µg/l	0,455	7,560	1,460
Sotalol	0,1	µg/l	<0,05	0,392	0,081
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	0,065	0,851	0,158
10.06.2015					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	1,750	7,040	2,860
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	0,365	0,997	0,451
Clarithromycin	0,025	µg/l	0,105	0,054	0,068
Diclofenac	0,1	µg/l	0,223	1,83	0,74
Metoprolol	7,3	µg/l	0,37	4,37	1,39
Sotalol	0,1	µg/l	0,074	0,272	0,101
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	0,079	0,789	0,326
07.09.2015					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	<0,025	<0,025	<0,025
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	0,18	0,88	0,28
Clarithromycin	0,025	µg/l	<0,025	0,083	0,025
Diclofenac	0,1	µg/l	0,42	2,71	0,44
Metoprolol	7,3	µg/l	0,42	3,85	0,68
Sotalol	0,1	µg/l	0,037	0,36	0,066
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	0,051	0,53	0,057
07.09.2015					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	<0,025	<0,025	<0,025
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	0,027	0,653	0,044
Clarithromycin	0,025	µg/l	<0,025	0,119	<0,025
Diclofenac	0,1	µg/l	0,098	3,56	0,196
Metoprolol	7,3	µg/l	0,167	4,3	0,291
Sotalol	0,1	µg/l	<0,025	0,327	<0,025

	Präventiv wert		We2 Emmerbach oberhalb KA	Ablauf KA Hi	We1a Emmerbach unterhalb KA
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	<0,025	0,092	0,031
09.03.2016					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	<0,1	0,64	<0,1
Clarithromyzin	0,025	µg/l	<0,1	0,28	<0,1
Diclofenac	0,1	µg/l	0,19	3,9	0,32
Metoprolol	7,3	µg/l	0,22	3,6	0,2
Sotalol	0,1	µg/l	<0,1	0,25	<0,1
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	<0,1	0,32	<0,1
21.06.2016					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	0,303	7,470	0,580
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	0,022	0,62	0,053
Clarithromyzin	0,025	µg/l	<0,01	<0,1	<0,05
Diclofenac	0,1	µg/l	0,061	2,58	0,235
Metoprolol	7,3	µg/l	0,067	3,97	0,286
Sotalol	0,1	µg/l	<0,01	0,269	0,05
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	<0,01	0,889	0,059
01.03.2017					
Pflanzenschutzmittel					
Benzotriazol	10	µg/l	0,38	9,07	0,29
Arzneimittelrückstände					
Carbamazepin	0,5	µg/l	<0,1	0,53	<0,1
Clarithromyzin	0,025	µg/l	<0,1	0,24	<0,1
Diclofenac	0,1	µg/l	<0,1	1,79	0,14
Metoprolol	7,3	µg/l	<0,1	3,57	0,26
Sotalol	0,1	µg/l	<0,1	0,28	<0,1
Sulfamethoxazol	0,15	µg/l	<0,1	0,39	<0,1

Festzustellen ist, dass die Konzentrationen im Kläranlagenablauf deutlich höher sind als im Vorfluter, so dass die Präventivwerte hier deutlich öfter überschritten werden. Aber auch im Vorfluter finden sich Überschreitungen für die meisten Arzneimittel. Bei den erfassten Werten handelt es sich um Stichproben, die eine Momentaufnahme zeigen. Im Schnitt liegen die Werte nach der Einleitung jedoch höher. Dies ist bei den im Ablauf gemessenen erhöhten Konzentrationen nicht verwunderlich.

Die PERLODES-Untersuchung durch AgL – Büro für Umweltgutachten aus dem Jahr 2014 ergab für den Emmerbach sowohl vor als auch nach der Einleitstelle der KA Hiltrup eine unbefriedigende Beurteilung im Modul „Allgemeine Degradation“ und eine gute Beurteilung im Modul „Saprobie“ und damit insgesamt eine schlechte ökologische Zustandsklasse (siehe Anhang 7.2). Ein Einfluss der KA Hiltrup ist aus den ermittelten Werten jedoch nicht zu erkennen.

4.8 Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie

Auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 (38), wurde für den Vorfluter, den Zulauf der Biologie und Ablauf der Nachklärung ein Messprogramm festgelegt. Die Analytik wurde durch die Wessling GmbH durchgeführt. Gemessen wurde sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der KA Münster-Hiltrup in den Emmerbach. Die Parameter wurden analog des Screenings der Kläranlage gewählt (Tabelle 4-6). Anschließend wurde auf Basis der Ergebnisse folgendes Monitoring durchgeführt (Tabelle 4-3):

Tabelle 4-3: Monitoring des Vorfluters Emmerbach

Monitoring bei TW		2x	2x
Stoffgruppe	Parameter	Gewässer vor Kläranlage	Gewässer nach Kläranlage
Arzneimittel-wirkstoffe	Carbamazepin	1	1
	Clarithromycin	1	1
	Diclofenac	1	1
	Metoprolol	1	1
	Sotalol	1	1
	Sulfamethoxazol	1	1
Röntgen-kontrastmittel	Amidotrizoesäure	-	-
	Iopromide	-	-
Süßstoffe	Acesulfam	-	-
Halbmetalle	Bor	1	1
Duftstoffe	HHCB-Galaxolide	1	1
Korrosionsschutz	Benzotriazol	1	1
sonstige	Bromid	-	-

Die kompletten Ergebnisse des Screenings finden sich in Anhang 7.3. Eine Auswahl der nachgewiesenen Stoffe ist in Tabelle 4-4 dargestellt.

Tabelle 4-4: Screening-Ergebnisse Vorfluter Emmerbach

Datum Bericht		15.06.2016	15.06.2016		Orientierungs-wert (OW) oder Jahres-Mittelwert (JMW)*
Datum Probenahme		06.05.2016	05.05.2016		
Messstelle		Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	
Parameter	Einheit				

Acesulfam K	mg/l	0,0011	0,0018	64%	
Cyclamat	mg/l	0,00013	0,00023	77%	
Saccharin	mg/l	0,00011	0,00024	118%	
Sucralose	mg/l	0,0005	0,0013	160%	
Leitfähigkeit	µS/cm	720	750	4%	
pH-Wert	-	8,2	8,2	0%	
DOC	mg/l	11	11	0%	
TOC	mg/l	11	11	0%	
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	5	4,9	-2%	
Iopamidol	mg/l	0,00065	0,007	977%	0,0001
Iohexol	mg/l	<0,00025	0,001	300%	
Amidotrizoesäure	mg/l	<0,00025	0,0031	1140%	0,0001
Iopromid	mg/l	0,0011	0,0015	36%	0,0001
10,11-Dihydro-10,11-Dihydroxy-	mg/l	0,00012	0,00027	125%	
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	µg/l	<0,025	0,83	3220%	10
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	µg/l	0,12	0,25	108%	4
EDTA	µg/l	2,2	4,4	100%	240
NTA	µg/l	0,6	0,6	0%	80
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l	<0,025	0,05	100%	71,3
NH4	mg/l	0,05	0,27	440%	
NH4-N	mg/l	0,039	0,21	438%	
NO3	mg/l	8,2	6,7	-18%	
NO3-N	mg/l	1,9	1,5	-21%	
ortho-P	mg/l	0,02	0,01	-50%	
Gesamt-P	mg/l	0,01	0,02	100%	
Stickstoff ges. geb. (TNb)	mg/l	4,9	2,5	-49%	
Chlorid	mg/l	43	52	21%	
Sulfat	mg/l	65	67	3%	
Benzotriazol	µg/l	0,054	1,2	2122%	10
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	0,075	0,16	113%	10
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	0,076	0,17	124%	10
Carbamazepin	µg/l	0,071	0,16	125%	0,5
Diclofenac	µg/l	0,12	0,41	242%	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,051	0,092	80%	0,15
Metoprolol	µg/l	0,23	0,84	265%	7,3
Sotalol	µg/l	<0,025	0,062	148%	0,1
Galaxolid (HHCB)	µg/l	<0,05	0,12	140%	7

Grün: Referenz unterschritten, orange: Referenz überschritten

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

Für die meisten Spurenstoffe zeigt sich eine Zunahme nach der Einleitung. Dies gilt insbesondere für TCPP, Benzotriazol, die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol und Iohexol sowie die Humanpharmaka Metoprolol und Diclofenac. Einzig die allgemeinen chemischen Parameter zeigen keine

deutliche Zu- bzw. teilweise sogar eine Abnahme. TCP und Benzotriazol stammen vermutlich aus der einleitenden Industrie, während vornehmlich die Röntgenkontrastmitteln, aber auch die Humanpharmaka, aus dem angeschlossenen Krankenhaus stammen dürften. Mit Ausnahme der Röntgenkontrastmittel sowie von Diclofenac wurden die Referenzwerte unterschritten. Einige der Röntgenkontrastmittel überschritten bereits oberhalb der Einleitstelle den Referenzwert, hier ist eine weitere Zunahme zu beobachten. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nur um eine einzelne Stichprobe handelt – eine zuverlässige Bewertung kann auf dieser Basis nicht getroffen werden.

Tabelle 4-5 zeigt die Ergebnisse des Monitorings:

Tabelle 4-5: Ergebnisse des Monitorings des Vorfluters

Datum Bericht		13.07.2017	13.07.2017		29.06.2017	29.06.2017		
Datum Probenahme		23.06.2017	23.06.2017		19.06.2017	19.06.2017		
Messstelle		Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	Referenz*
Parameter	Einheit							
Bor	mg/l	0,21	0,22	5%	0,24	0,25	4%	
Benzotriazol	µg/l	2,1	2,6	24%	3	2,1	-30%	10
Carbamazepin	µg/l	0,38	0,54	42%	0,42	0,44	5%	0,5
Diclofenac	µg/l	0,52	0,61	17%	0,47	0,31	-34%	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,25	0,39		0,31	0,2		0,15
Metoprolol	µg/l	1,2	1,7	42%	1,4	0,84	-40%	7,3
Sotalol	µg/l	0,053	0,091	72%	0,072	0,043	-40%	0,1
Clarithromycin	µg/l	<0,25	<0,25	-	<0,25	<0,25	-	0,02
Galaxolid (HHCB)	µg/l	0,09	0,15	67%	0,09	<0,05	-44%	7

Grün: Referenz unterschritten, gelb: Referenz bei einer der zwei Analysen überschritten, orange: Referenz bei beiden Analysen überschritten

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

Wie bereits beim Screening, ist auch hier Diclofenac in höheren Konzentrationen nachgewiesen worden. Zusätzlich wurden auch erhöhte Sulfamethoxazolwerte gemessen. Bei Carbamazepin, das im Screening ebenfalls keine erhöhten Werte aufwies, wurde bei einer Messung der Referenzwert überschritten.

4.9 Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie

Da es sich bei dem in der Kläranlage Münster-Hiltrup behandelten Abwasser, abgesehen von einigen kleinindustriellen Einleitern, zum überwiegenden Teil um kommunales Abwasser handelt (vgl. Kap. 2.3), werden im Abwasserstrom der Kläranlage nur geringe Mengen an Industriechemikalien vermutet. Durch das einleitende Krankenhaus ist jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen und Röntgenkontrastmitteln zu erwarten.

Das durchgeführte Messprogramm wurde zuvor mit der Bezirksregierung Münster abgestimmt. Insgesamt wurden im Rahmen eines Screenings bis zu 69 Parameter untersucht. Basierend auf den Ergebnissen wurde ein Monitoring durchgeführt.

Im Rahmen des Screenings wurde u.a. auf verschiedene Arzneimittelwirkstoffe, Röntgenkontrastmittel und Biozide getestet. Untersucht wurden außerdem einige allgemeine chemische Parameter (ACP) wie pH-Wert und Nährstoffgehalte. Die genaue Auflistung der untersuchten Parameter findet sich in Tabelle 4-6.

Im Anschluss an das Screening wurde ein Monitoring durchgeführt. Hierfür wurden 13 Parameter im Ablauf und 6 Parameter im Zulauf bestimmt. Eine Zusammenstellung des Untersuchungsprogramms zeigt Tabelle 4-7.

Tabelle 4-6: Screening-Parameter in Zu- und Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup

Stoffgruppe	Parameter	Zulauf Biologie	Ablauf NKB
Arzneimittel- wirkstoffe	Carbamazepin	1	1
	Clarithromycin	1	1
	Ciprofloxacin	1	1
	Diclofenac	1	1
	Gabapentin	1	1
	Metoprolol	1	1
	Guanylharnstoff	1	1
	Sartane	1	1
	Sotalol	1	1
	Sulfamethoxazol	1	1
Röntgen- kontrastmittel	Amidotrizoesäure	-	1
	Iopamidol	-	1
	Iopromide	-	1
Östrogene	A-YES, YES oder ER CALLUX	1	1
Biozide/PSM	Mecoprop	1	1
	Terbutryn	1	1
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotriazol	1	1
PFC	Perfluorooctansäure (PFOA)	1	1
	Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	1	1
Duftstoffe	HHCB (Galaxolide)	1	1
Süßstoffe	Acesulfam	1	1
Sonstige	Arsen	-	1
	Bor	-	1
	Bromid	-	1
ACP	BSB5	-	1
	pH-Wert	-	1
	Leitfähigkeit	-	1
	Chlorid	1	1
	Nitrat-N	-	1
	ortho-Phosphat	-	1
	Sulfat	1	1
	Stickstoff, ges. gebunden (TNb)	-	1
	Ammonium-N	-	1
	Phosphor ges.	-	1
	Säurekapazität bis pH 4,3	-	1
	TOC	-	1
	DOC	-	1

Tabelle 4-7: Untersuchte Parameter im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup

Monitoring bei TW		5x	5x
Stoffgruppe	Parameter	Zulauf Biologie	Ablauf NKB
Arzneimittel-wirkstoffe	Carbamazepin	1	1
	Clarithromycin	1	1
	Diclofenac	1	1
	Metoprolol	1	1
	Sotalol	1	1
	Sulfamethoxazol	1	1
Röntgen-kontrastmittel	Amidotrizoesäure	-	1
	Iopromide	-	1
Süßstoffe	Acesulfam	-	1
Halbmetalle	Bor	-	1
Duftstoffe	HHCB-Galaxolide	-	1
Korrosionsschutz	Benzotriazol	-	1
sonstige	Bromid	-	1

Probenahmen für das Screening erfolgten jeweils am 04./05.05.2016, 12.12.2016 und am 10.02.2017. Die Untersuchung der Proben wurde durch das Labor Wessling durchgeführt. Für das Monitoring wurden im Zeitraum vom 29.06.-13.07.2017 je 5 Proben des Zulaufs der Belebung und des Ablaufs der Nachklärung gezogen. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in Kap. 7.3.

Aus dem Vergleich der Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Spurenstoffe berechnet werden. Diese Eliminationsraten entsprechen der Verringerung der Spurenstoffkonzentrationen während der Behandlung in der Kläranlage. Sie entstehen jedoch teilweise nur in einem sehr geringen Umfang durch den Abbau der Spurenstoffe; vielmehr dürften sie in einigen Fällen durch eine Adsorption der Spurenstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Hohe Eliminationsraten finden sich z.B. für die Steroidhormone (1. Probenahme: Estron 94 %, 17-beta-Estradiol 86 %), Ciproflaxin (1. Probe-nahme 93 %, 3. Probenahme 92 %) oder die Süßstoffe Acesulfam K, Cyclamat und Saccharin (90-100 %).

Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Amidotrizoesäure (1. Probenahme -10 %, 2. Probenahme -38 %) und Guanylharnstoff (nur 2. Probenahme, -51.900 %). Bei Guanylharnstoff handelt es sich um ein Abbauprodukt von Metformin. Metformin wurde im Rahmen der Untersuchungen nicht bestimmt, so dass zu vermuten ist, dass signifikante Konzentrationen vorlagen, die über Guanylharnstoff abgebaut wurden. So erklärt sich die Zunahme dieses Stoffes. Bei anderen Kon-

zentrationenanstiegen 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 der ausgewerteten Messung um Stichproben handelt, so dass statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

Eine Auswahl der Analysenergebnisse inkl. berechneter Eliminationsraten ist in Tabelle 4-8 gezeigt. Falls einer der Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, wurde die Bestimmungsgrenze zur Berechnung der Eliminationsraten herangezogen, so dass die Berechnung zu hoher Eliminationsraten vermieden wurde.

Tabelle 4-8: Berechnete Eliminationsraten für ausgewählte Parameter

Datum Bericht		13.4.17	13.4.17		24.2.17	24.2.17		15.6.16	15.6.16	
Datum Probenahme		10.2.17	10.2.17	Elimina-	12.12.16	12.12.16	Elimina-	4.5.16	5.5.16	Elimina-
Messstelle		Zul. Bio	Abl. KA	tion	Zul. Bio	Abl. KA	tion	Zul. Bio	Abl. KA	tion
Parameter	Einheit									
Acesulfam K	mg/l	0,81	0,0028	100%	0,048	0,002	96%	0,069	0,0071	90%
Cyclamat	mg/l	0,3	0,00007	100%				0,22	0,00008	100%
Saccharin	mg/l	0,082	0,00034	100%				0,059	0,00051	99%
Sucralose	mg/l	0,012	0,0063	48%				0,01	0,0095	5%
Leitfähigkeit	µS/cm	1590	1100	31%	1500	1100	27%		1100	
pH-Wert	-	7,2	7,4	-3%	7,7	7,5	3%		7,8	
Iopamidol	mg/l	0,063	0,25	-297%	0,083	0,065	22%	0,097	0,084	13%
Iohexol	mg/l	0,025	0,0032	87%	0,025	0,0014	94%	0,039	0,0042	89%
Iomeprol	mg/l	0,00033	0,00086	-161%	0,015	0,00088	94%	0,00064	<0,00025	61%
Ioxithalaminsäure	mg/l	0,00007	<0,00002	64%	0,00056	0,00003	95%	0,00072	0,0004	44%
Amidotrizoesäure	mg/l	0,021	0,023	-10%	0,016	0,022	-38%	0,044	0,029	34%
Iopromid	mg/l	0,0002	0,00009	55%	0,003	0,00021	93%	0,029	0,002	93%
DHH	mg/l							0,0016	0,002	-25%
TCPP	µg/l							0,049	1,3	-2553%
TCEP	µg/l							0,27	0,074	73%
Cadmium	mg/l							0,00053	<0,0005	6%
Bor	mg/l	0,13	0,13	0%	0,16	0,14	13%			
EDTA	µg/l							14,5	20	-38%
NTA	µg/l							36,5	0,9	98%
DTPA	µg/l							1,6	1	38%

Mecoprop	µg/l	0,1	<0,025	75%	<0,1	<0,025		<0,1	<0,025	
Terbutryn	µg/l	<0,1	<0,1		<0,25	<0,25		0,066	<0,05	24%
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l							0,074	0,14	-89%
NH4	mg/l	63	2,1	97%	72	3	96%		2,5	
NH4-N	mg/l	49	1,6	97%	56	2,3	96%		1,9	
NO3	mg/l	<1,0	9,4	-840%	<1	<1			4,6	
NO3-N	mg/l	<0,23	2,1	-813%	<0,23	<0,23			1	
Bromid	mg/l	0,19	0,12	37%	0,3	<0,1	67%			
ortho-P	mg/l	5,3	<0,01	100%	6,2	<0,01	98%		0,02	
Gesamt-P	mg/l	8,7	0,1	99%	8,7	0,1	99%		0,03	
Stickstoff ges. geb. (TNb)	mg/l	46	3,5	92%	65	3,4	95%		3,6	
BSB5	mg/l	230	<4,00	98%	300	<5	98%		<3	
DOC	mg/l	69	9,4	86%	76	9,2	88%		9,6	
TOC	mg/l	170	10	94%	290	11	96%		8,6	
Benzotriazol	µg/l	16	6,4	60%	19	6,6	65%	14	5,4	61%
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l							0,82	0,8	2%
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l							1,1	1	9%
Chlorid	mg/l	150	180	-20%	140	150	-7%	120	140	-17%
Sulfat	mg/l	89	110	-24%	83	99	-19%	82	96	-17%
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	8,7	4,3	51%	8,8	4,4	50%		4,7	
Carbamazepin	µg/l	0,46	0,59	-28%	0,54	0,46	15%	0,67	0,77	-15%
Diclofenac	µg/l	3,6	3,3	8%	5,3	4,1	23%	3,6	2,8	22%
Sulfamethoxazol	µg/l	1,9	1,3	32%	1,7	1,1	35%	0,74	0,39	47%
Ibuprofen	µg/l							21	0,26	99%
Metoprolol	µg/l	9,4	9,5	-1%	5,9	5,3	10%	5,6	5,3	5%
Sotalol	µg/l	0,46	0,44	4%	0,83	0,76	8%	0,4	0,4	0%
Clarithromycin	µg/l	2	1,1	45%	0,85	0,35	59%	0,49	0,19	61%
Ciprofloxacin	µg/l	2,2	0,15	93%	<0,5	<0,5		1,2	0,1	92%
Gabapentin	mg/l				0,084	0,011	87%			
Guanylharnstoff	mg/l				<0,00002	0,013	-51900%			
Candesartan	µg/l	2,2	2,4	-9%	2,4	2,9	-21%			
Irbesartan	µg/l	0,65	0,62	5%	0,94	0,87	7%			
17-beta-Estradiol	µg/l	0,07	<0,01	86%	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Estron (E1)	µg/l	0,16	<0,01	94%	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	
Östrogene Wirksamkeit EEQ	ng/l	0,62	<BG	100%	<BG	0,87				
Galaxolid (HHCB)	µg/l	2,8	1,1	61%	3	0,99	67%	2,1	0,58	72%
Tonalide (AHTN)	µg/l							0,28	0,06	79%

In Tabelle 4-9 sind einige wichtige Ergebnisse der Messungen im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup sowie Referenzwerte (Mittelwerte vergleichbarer Anlagen sowie Jahresmittelwerte aus UQN/OGewV bzw. Orientierungswerte) zusammengefasst. Orange markiert sind Ergebnisse, die den angegebenen Referenzwert überschreiten. Zusätzlich finden sich die gemessenen Bromidkonzentrationen, da diese für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind.

Tabelle 4-9: Ergebnisse der Analysen, bei denen erhöhte Werte gefunden wurden

		Mittelwert	MW Abl	Max Abl	Orientierungs- wert (OW) oder Jahres- Mittelwert (JMW)**
		Ablauf NKB	Referenz*		
Parameter	Einheit				
Saccharin	mg/l	0,00043	0,0003	0,00074	
Sucralose	mg/l	0,0079	0,0022	0,0051	
Iopamidol	mg/l	0,13	0,0021	0,0077	0,0001
Iomeprol	mg/l	0,00066	0,0054	0,028	0,0001
Amidotrizoesäure	mg/l	0,025	0,0015	0,0049	0,0001
Iopromid	mg/l	0,00077	0,0051	0,028	0,0001
Benzotriazol	µg/l	6,1	5,11	10	10
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	0,80	0,69	1	10
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	1,0	0,73	1,4	10
Carbamazepin	µg/l	0,61	0,68	1,229	0,5
Diclofenac	µg/l	3,4	2,22	4,4	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,93	0,42	1,1	0,15
Ibuprofen	µg/l	0,26			0,01
Metoprolol	µg/l	6,7	2,02	5,1	7,3
Sotalol	µg/l	0,53	0,40	0,75	0,1
Clarithromycin	µg/l	0,55	0,26	1,2	0,02
Bromid	mg/l	0,11			

* Referenzwerte vergleichbarer Anlagen
(Literatur und Erfahrungswerte ATEMIS)

< MW Referenz	< OW
> MW, < Max. Referenz	>= OW
> Max. Referenz	

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

Die Ergebnisse zeigen für einige Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Iopamidol, Amidotrizoesäure). Relevant sind auch die Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) wichtig sind. Nach der Auslegungsempfehlung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (30) ist bei einer Bromidkonzentration von 0,1-0,15 mg/l eine Dosierate von max. 0,5 mg Ozon/mg DOC einzusetzen. Soll eine hö-

here Dosierate gewählt werden, so müssen vorher Untersuchungen durchgeführt werden. Um ein regelmäßiges Überschreiten einer Konzentration von 0,15 mg/l auszuschließen, sollte im Rahmen einer weiteren Betrachtung der Ozonung ein Messprogramm durchgeführt werden. In Anbetracht des umfangreichen Messprogramms wurde jedoch insgesamt nur eine geringe Anzahl an Spurenstoffen nachgewiesen, die die vorliegenden Vergleichswerte überschreiten. Auf Basis der Ergebnisse wurde ein Monitoring durchgeführt, dessen Ergebnisse in der folgenden Tabelle 4-10 zusammengefasst sind. Die gesamten Ergebnisse finden sich im Anhang 7.3.

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

Datum Bericht		Mittelwert		Elimination	MW Abl	Max Abl	
Datum Probenahme		Zulauf	Ablauf				
Messstelle					Referenz*		OW **
Parameter	Einheit						
Acesulfam K	mg/l		0,00073		0,0052	0,045	
Amidotrizesäure	mg/l		0,046		0,0015	0,0049	0,0001
Iopromid	mg/l		0,0008		0,0051	0,028	0,0001
Bor	mg/l		0,184				
Bromid	mg/l		0,12				
Benzotriazol	µg/l		7,76		5,11	10	10
Carbamazepin	µg/l	0,62	0,71	-14%	0,68	1,229	0,5
Diclofenac	µg/l	4,4	3,5	20%	2,22	4,4	0,1
Sulfamethoxazol	µg/l	1,27	0,90	29%	0,42	1,1	0,15
Metoprolol	µg/l	6,44	5,62	13%	2,02	5,1	7,3
Sotalol	µg/l	0,39	0,35	11%	0,40	0,75	0,1
Clarithromycin	µg/l	<0,25	<0,25	-	0,26	1,2	0,02
Galaxolid (HHCB)	µg/l		0,498				7

< MW Referenz	< OW
> MW, < Max. Ref.	> / = OW
> Max. Ref.	

* Referenzwerte vergleichbarer Anlagen (Literatur und Erfahrungswerte ATEMIS)

** (Anlage D4 zur WRRL NRW, www.flussgebiete.nrw.de, Stand 04/2014);

angepasst nach OGewV 2016 (soweit relevant)

Wie bereits zum Screening erläutert, sollte im Rahmen einer weiteren Betrachtung der Ozonung ein Bromid-Messprogramm über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden, um eine erhöhte Bromatbildung zu verhindern. Clarithromycin konnte, im Gegensatz zum Screening, im Monitoring nicht nachgewiesen werden. Die restlichen Ergebnisse weichen nicht wesentlich von den Messwerten des Screenings ab.

4.10 Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Münster-Hiltrup

In Tabelle 4-11 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup nachgewiesenen Spurenstoffe zusammengefasst.

Tabelle 4-11: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup gefundenen Spurenstoffe

Bewertung der Eliminationsleistung						
	Ozon-Behandlung	PAK 4. RS, ohne Rezirkulation in Biol.	PAK 4. RS, mit Rezirkulation in Biol.	PAK Dosierung in Belebung	GAK	Kläranlage ohne vierte Reinigungsstufe
Antibiotika						
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
Betablocker						
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
weitere Humanpharmaka						
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig
Zuckerersatzstoffe						
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
Cyclamat	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
weitere Spurenstoffe						
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht

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

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen ausgewertet (Quellen: (39), (40), (41), (42), (43), (44), (45), (46), (47), Erfahrungswerte Ingenieurbüro ATEMIS)

Eine Ozonbehandlung zeigt bei Clarithromycin, Sulfamethoxazol, Sotalol, Diclofenac und Carbamazepin ein gutes Eliminationsergebnis. Mit Aktivkohle sind auch Clarithromycin, Diclofenac und Carbamazepin gut eliminierbar, während die Adsorption von Sulfamethoxazol mäßig ist. Metoprolol und Benzotriazol sind beide durch Ozonierung nur mäßig, mit Aktivkohle gut zu entfernen. Süßstoffe wie Saccharin und Sucralose lassen sich durch Ozon nur mäßig bis schlecht eliminieren. Während für Saccharin und Cyclamat keine Werte zum Adsorptionsverhalten an Aktivkohle vorliegen, zeigt diese für Sucralose und Ace-

sulfam K ein mäßiges Ergebnis. Die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol, Iomeprol und Iopromid sind schlecht durch Ozonisierung zu zersetzen, während für Iopamidol ein mäßiges Ergebnis zu erwarten ist. Amidotrizoesäure ist jedoch auch durch Adsorption nur schlecht zu entfernen. Die anderen Röntgenkontrastmittel zeigen ein mäßiges bis schlechtes Eliminationsergebnis bei Verwendung von Aktivkohle.

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 wäre allerdings zu erwarten, dass ein großer Anteil des Mikroplastiks in einer Flockungsfiltration zurückgehalten würde. (12) Sollte eine Mikroplastikelimination für den Standort von besonderer Relevanz sein, so müsste auch bei den Varianten, für die bisher keine Flockungsfiltration vorgesehen ist, der Einsatz einer (Tuch-)Filtrationsanlage geprüft werden.

Zusammenfassend ist die Aktivkohle der Ozonung hinsichtlich der Mischung der gefundenen Stoffe leicht überlegen. Insgesamt zeigt sich auch, 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 Münster-Hiltrup

5.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Münster-Hiltrup haben gezeigt, dass anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein eindeutiges Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Es wurden Bromidkonzentrationen von bis zu 200 µg/l gemessen. Diese können eine Ozonbehandlung am Standort ggf. in Frage stellen, jedoch liegt bisher keine ausreichende Datenbasis vor, so dass die Ozonbehandlung im Rahmen dieser Studie mitbetrachtet wird.

Da auf der Kläranlage Münster-Hiltrup 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 keine Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft 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 Eliminationsleistung						
	Ozon- Behandlung	PAK 4. RS, ohne Rezirkulation in Biol.	PAK 4. RS, mit Rezirkulation in Biol.	PAK Dosierung in Belebung	GAK	Kläranlage ohne vierte Reinigungsstufe
Antibiotika						
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
Betablocker						
Atenolol	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht
Hormone						
17 beta-Estradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
17 alpha -Ethinylestradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
weitere Humanpharmaka						
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht
Naproxen	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	k.A.	mäßig	mäßig
Oxazepam	Gut	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Phenazon	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	k.A.
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig
Zuckerersatzstoffe						
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
Cyclamat	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
weitere Spurenstoffe						
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht

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

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen ausgewertet (Quellen: (39), (40), (41), (42), (43), (44), (45), (46), (47), 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 Münster-Hiltrup untersucht, weil diese Variante 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 Vo-

lumen von $V = 9.380 \text{ m}^3$. Die Nachklärung, die zur Abscheidung der Aktivkohle genutzt werden soll, hat ein Volumen von $V = 2 \times 1.980 \text{ m}^3$.

Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken, dabei kann die Aktivkohle zusätzlich auch rezirkuliert werden (siehe Kap. 3.1.3.2), um eine möglichst vollständige Beladung der Aktivkohle zu erreichen (Variante 2). Bei dieser Variante wird 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 werden auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3), der Einsatz granulierter Aktivkohle (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 Münster-Hiltrup 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

Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 4 wird auf $500 \text{ m}^3/\text{h}$ bemessen. Für die beiden PAK-Verfahren wird vorgesehen, dass sich an die 4. Reinigungsstufe eine Flockungsfiltration anschließt (Kap.5.4.7). Diese wird nach dem behandelten Abwasserstrom von entweder $500 \text{ m}^3/\text{h}$ (PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken) oder $850 \text{ m}^3/\text{h}$ (PAK-Dosierung in die Belebung) ausgelegt. Als biologische Nachbehandlung für die Ozonungsanlage wird der Nachreinigungsteich genutzt. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von $350 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 5 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 5-1).

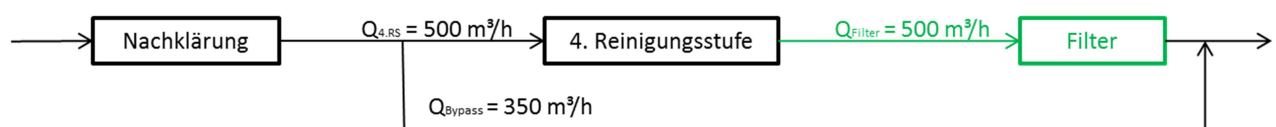


Abbildung 5-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration. Grün: Optional; nur bei PAK-Dosierung vorzusehen

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“ (30) 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, zu berücksichtigen. Beim Vorfluter Emmerbach handelt es sich um einen schwachen Vorfluter, der unterhalb der Kläranlage Münster-Hiltrup mehrere Landschaftsschutzgebiete und geschützte Biotope durchfließt.

Desweiteren ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das am Standort Münster-Hiltrup durchgeführte Screening auf ausgewählte Spurenstoffe zeigt einige Überschreitungen der Mittel- und Maximalwerte der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen anderer Kläranlagen. Es sind momentan, aber auch in der absehbaren Zukunft, keine nennenswerten 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 der Kläranlage Münster-Hiltrup wird zum größten Teil im Trennsystem entwässert. Dies zeigt sich auch am Anteil der Jahresschmutzwassermenge an der gesamten Jahresabwassermenge, der bei etwa 90 % liegt. Daher wird eine Auslegung auf das 99 %-Perzentil empfohlen.

In Abbildung 5-2 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist der 99 %-Perzentilwert (entspricht 453 m³/h). Bei einer Auslegung auf den 99 %-Perzentilwert der Ablaufmenge können 99,6 % der jährlichen Abwassermenge der Kläranlage Münster-Hiltrup behandelt werden. Dies entspricht einer Wassermenge von rund 1.733.390 m³/a (Tabelle 5-1).

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

<i>Parameter</i>	<i>Einheit</i>	<i>Wert</i>
Gesamtmenge	m³/a	1.740.159
Summe behandelt	m³/a	1.733.390
Anteil behandelt	%	99,6
Summe unbehandelt	m³/a	6.769
Anteil unbehandelt	%	0,4

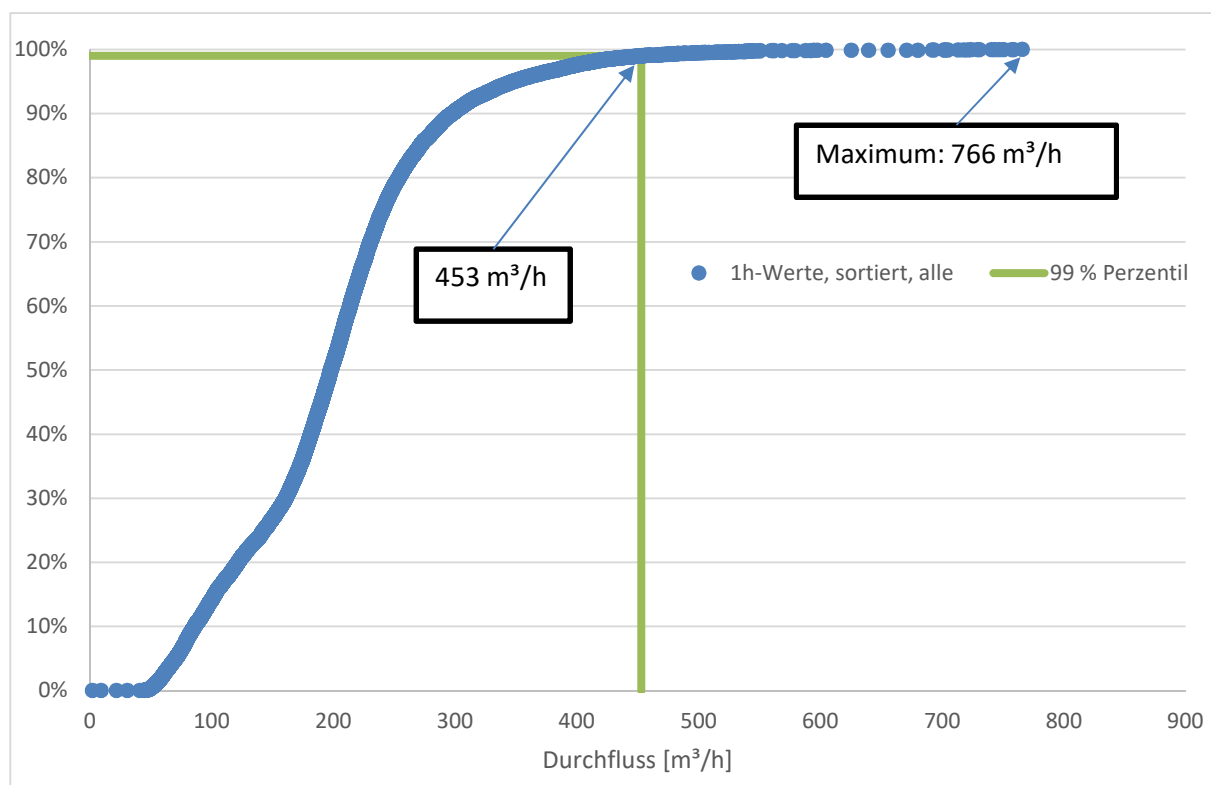


Abbildung 5-2: Stundenwerte Ablaufmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter

Die ermittelte Wassermenge von 453 m³/h bei der aktuellen Auslastung von 27.330 EW wird auf die Ausbaugröße von 30.000 EW umgerechnet, um sicher zu stellen, dass die Auslegung auch bei maximaler

Auslastung der Kläranlage Münster-Hiltrup ausreichend ist. Damit ergibt sich eine Auslegungswassermenge von rund 500 m³/h.

Für den Vollstrom wird die maximal erfasste Wassermenge von 766 m³/h auf 30.000 EW hochgerechnet und dementsprechend 850 m³/h angesetzt.

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

Auf der Kläranlage Münster-Hiltrup stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind nicht vorhanden, so dass eine (teilweise) Stilllegung des Nachreinigungsteiches notwendig wäre. Die sich ergebende Fläche ist in Abbildung 5-3 gezeigt.

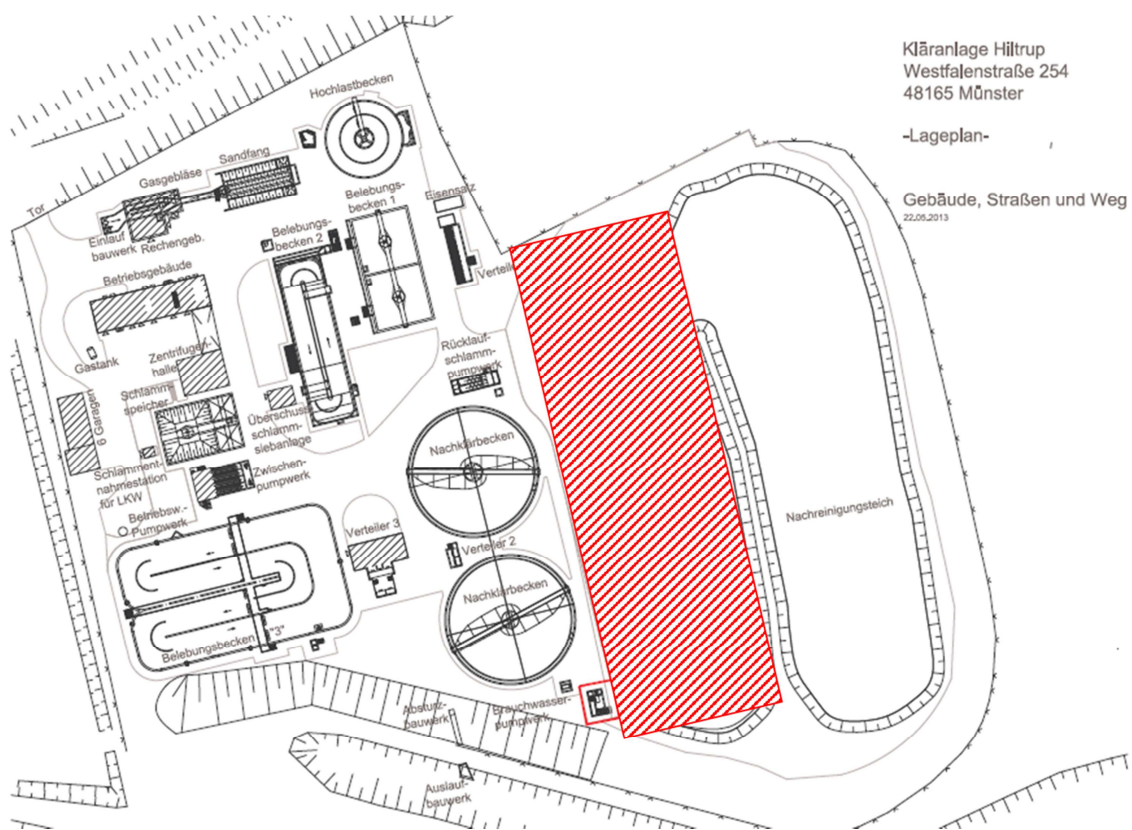


Abbildung 5-3: Erweiterungsgebiet (schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

Da der Nachreinigungsteich nach Angaben des Betreibers zur Einhaltung der geforderten Überwachungswerte nicht erforderlich ist, kann dieser auch ganz stillgelegt werden, sofern er nicht für die 4. Reinigungsstufe benötigt wird.

5.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte

Für den Standort Münster-Hiltrup werden wie in Kap. 5.1 vorgeschlagen 5 verschiedene Verfahrensvarianten genauer untersucht. Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebungsstufe, erfolgt

automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Bei den Varianten 2 - 5 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms.

Für die Varianten 2 - 5 wird über die gewählte Bemessungswassermenge von 500 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, Dosieraten, etc.) so, dass nach jetzigem Kenntnisstand eine ausreichende Eliminationsleistung der in „Mikroschadstoffentfernung machbar? – Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination“ (38) 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 die Varianten 3 (Ozonung), 4 (GAK-Filtration) und 5 (Ozonung und GAK-Filtration) ist ein Zwischenpumpwerk erforderlich. Der Nachreinigungsteich wird lediglich für die Ozonung benötigt und könnte nach Angaben des Betreibers auch vollständig stillgelegt werden. Unter dieser Voraussetzung können die Varianten 1 und 2 im Freigefälle durchflossen werden.

5.4.2 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung

Bei einer Dosierung von Pulveraktivkohle direkt in die Belebung wird die vorhandene Belebung als Kontaktbecken für die PAK und die Nachklärung als Sedimentationsstufe für die PAK genutzt. Der biologische Teil der KA Münster-Hiltrup besteht aus mehreren Belebungsbecken unterschiedlicher Größe, er besitzt ein Gesamtvolumen von 9.380 m³. Hier kann eine PAK-Dosierung erfolgen, wie die schematische Zeichnung der Verfahrensvariante in Abbildung 5-4 zeigt. Eine Vollstromfiltration zur Abtrennung der PAK ist notwendig.

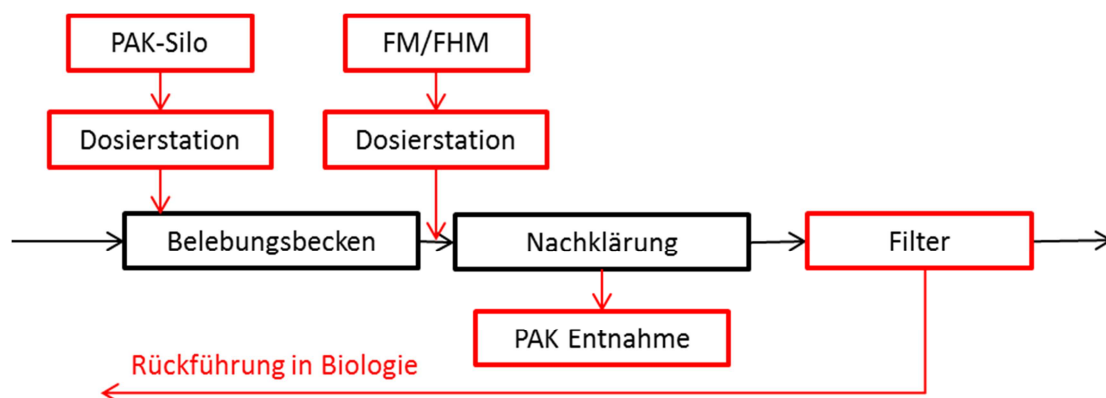


Abbildung 5-4: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

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 (48).

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 Q_a	1.740.159	m ³ /a
PAK Dosierung		
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,02	kg/m ³
Jahresbedarf PAK	34.803	kg/a
Tagesbedarf PAK	95,4	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/m ³
Gewählte Silogröße PAK	80	m ³
Nachfüllung PAK alle	13,8	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/m ³
Jahresbedarf Fe / Al	12.181	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	87.008	kg/a
Dichte FM (FeCl ₃)	1.440	kg/m ³
Gewählte Silogröße FM	25	m ³
Nachfüllung FM-Silo alle	5,0	Monate
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,3	mg/l
	0,0003	kg/m ³
Jahresbedarf FHM	522,0	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m ³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m ³
Wechsel des Gebindes	19,5	Monate

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

Anordnung der Flockungsfiltration

Es wird eine Flockungsfiltration (Tuchfilter) für den Vollstrom vorgesehen, die hinter der Nachklärung platziert wird.

5.4.3 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit den Abwasserstrom der Kläranlage Münster-Hiltrup 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 dem folgenden Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene PAK vom behandelten Abwasser getrennt. Eine Teilstromfiltration ist zur Abtrennung von Rest-PAK aus dem Ablauf der Sedimentationsstufe notwendig (siehe auch Kap. 5.1).

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

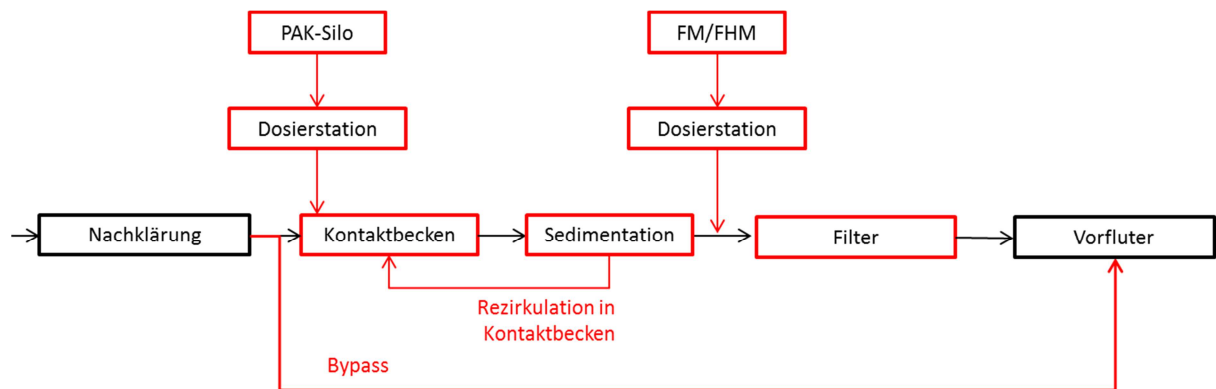


Abbildung 5-5: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

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

Auslegung Kontaktbecken:

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

Tabelle 5-6: Auslegung Kontaktbecken, Variante 2

Auslegung Kontaktbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	500	m ³ /h
Kontaktzeit	30	min
	0,5	h
Erf. Volumen Kontaktbecken	250,0	m ³
Wasserspiegelhöhe	4	m
Fläche Kontaktbecken (innen)	62,5	m ²

Auslegung Sedimentationsbecken:

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

Tabelle 5-7: Auslegung Sedimentationsbecken, Variante 2

Auslegung Sedimentationsbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	500	m ³ /h
Absetzzeit	120	min
	2	h
Volumen Sedimentationsbecken	1000	m ³
Oberflächenbeschickung	2	m/h
Oberfläche Sedimentationsbecken	250,0	m ²

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

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

Rezirkulationsverhältnis	0,7	-
Pumpleistung Rezirkulation	350,0	m ³ /h

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK:

Die erforderliche Dosiermenge an Pulveraktivkohle ist wie in Kap. 3.1.3 erläutert von verschiedenen Faktoren wie der organischen Hintergrundbelastung, der erforderlichen Eliminationsleistung etc. abhängig. Sie ist in Tabelle 5-9 dargestellt. Für die Abschätzung der jährlichen Menge an PAK (M_{PAK}) wird, wie für die Varianten 3, 4 und 5, ein Bemessungsvolumenstrom von 500 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	1.733.390	m ³
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,01	kg/m ³
Jahresbedarf PAK	17.334	kg/a
Tagesbedarf PAK	47,5	kg/d
Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m ³
Gewählte Silogröße PAK	40	m ³
Nachfüllung PAK alle	13,8	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	1.733.390	m ³
Dosiermenge Fe / Al aus FM	3	mg/l
	0,003	kg/m ³
Jahresbedarf Fe / Al	5.200	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	37.144	kg/a
Dichte FM (FeCl ₃)	1.440	kg/m ³
Gewählte Silogröße FM	25	m ³
Nachfüllung FM-Silo alle	11,6	Monate
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,2	mg/l
	0,0002	kg/m ³
Jahresbedarf FHM	346,7	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m ³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m ³
Wechsel des Gebindes	29,4	Monate

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

Der Durchfluss durch die 4. Reinigungsstufe erfolgt im Freigefälle, da der Nachreinigungsteich vollständig stillgelegt wird. Die Kontaktbecken werden als drei rechteckige Becken mit einem Volumen von jeweils ca. 83 m³ ausgeführt und als Kaskade betrieben.

Nachgeschaltet befindet sich das Sedimentationsbecken, das als Rechteckbecken mit einem Volumen von 1.000 m³ ausgeführt wird. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehen (Q = 350 m³/h + Reserve). Im Anschluss wird die Flockungsfiltration (Teilstrom) durchströmt.

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

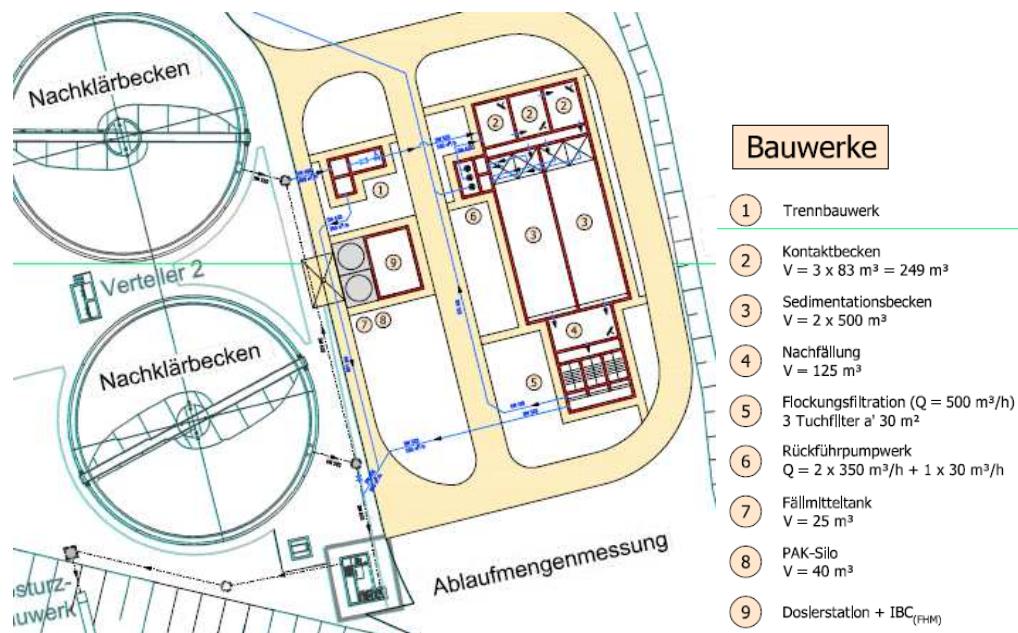


Abbildung 5-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

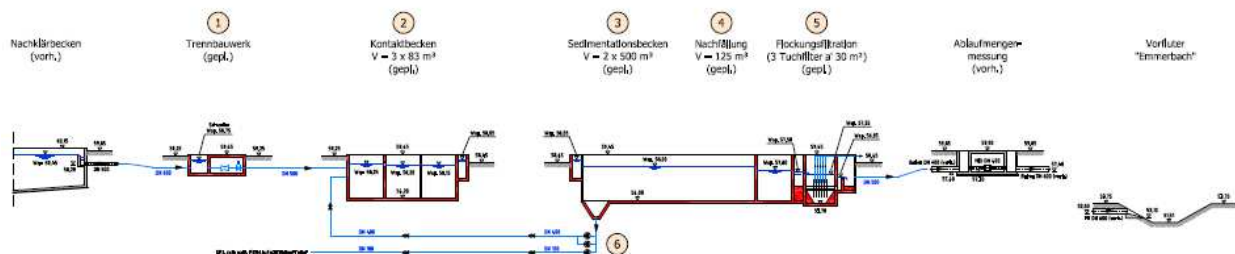


Abbildung 5-7: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

5.4.4 Variante 3: Ozonbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. Um eine effektive Ausnutzung des Ozons für die Mikroschadstoffelimination sicher zu stellen, ist eine niedrige organische Hintergrundbelastung Voraussetzung. Eine effektive Nachklärung ist deshalb für die nachfolgende Ozonbehandlung von elementarer Bedeutung. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignen sich z.B. biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration (34). Am Standort Hiltrup ist derzeit geplant, die verbliebene Hälfte des Nachreinigungsteiches zu nutzen. Voraussetzung hierfür ist, dass eine hinreichende Elimination der bei der Ozonung gebildeten Transformationsprodukte gewährleistet werden kann. Dies müsste im Zuge einer weiteren Planung geprüft werden.

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 5-8 gezeigt.

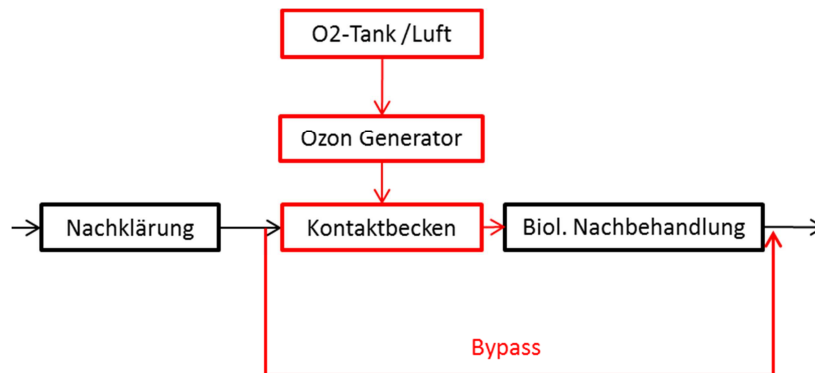


Abbildung 5-8: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Für die Auslegung der Ozonungsanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (30). Die erforderliche Dosierate kann zwischen 0,6-0,9 mg O₃/mg DOC angesetzt werden. (29), (30). 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 Er-tüchtigung 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 Nitr-toxidation 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 29 mg/l. Als Faktor zur Berechnung des DOC aus dem CBS wurde ein DOC:CSB- Verhältnis von 1:3,3 angesetzt.

Tabelle 5-11: Auslegung Ozongenerator, Variante 3

Auslegung Ozongenerator		
Ozondosierrate für DOC	0,6	g O ₃ /g DOC
Ozondosierrate für NO ₂ -N	3,4	mg O ₃ /mg NO ₂ -N
Bemessungsvolumenstrom	500	m ³ /h
maßgebl. CSB-Konz. Abwasser	29	mg/l
DOC-Konzentration Abwasser (berechnet)	8,8	mg/l
	8,8	g/m ³
Erf. Zielkonzentration Ozon (bezogen auf DOC)	5,3	g O ₃ /m ³
Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,08	mg/l
	0,08	g/m ³
Zielkonzentration Ozon (bezogen auf Nitrit)	0,272	g O ₃ /m ³
Zielkonzentration Ozon (für DOC und Nitrit)	5,5	g O ₃ /m ³
Benötigte Kapazität Ozonerzeuger	2,77	kg O ₃ /h

Abschätzen des Sauerstoffbedarfs und Ermittlung der Größe des Sauerstofftanks

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

Tabelle 5-12: Ermittlung des Sauerstoffbedarfs, Variante 3

Ermittlung des Sauerstoffbedarfs		
Ozondosierrate für DOC	0,6	g O ₃ /g DOC
Ozondosierrate für NO ₂ -N	3,4	mg O ₃ /mg NO ₂ -N
Jahresabwassermenge	1.740.159	m ³ /a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.733.390	m ³ /a
mittlere CSB-Konz. Abwasser	22,9	mg/l
DOC-Konzentration Abwasser	6,9	mg/l
	6,9	g/m ³
erf. Jahresmenge Ozon (für DOC)	7217	kg O ₃ /a
mittlere Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,05	mg/l
	0,05	g/m ³
erf. Jahresmenge Ozon (für Nitrit)	295	kg O ₃ /a
erf. Jahresmenge Ozon (gesamt)	7512	kg O ₃ /a
f(O ₂ /O ₃)	10	kg O ₂ /kg O ₃
Erf. Jahresmenge Sauerstoff	75119	kg O ₂ /a
Dichte Flüssigsauerstoff	1,1	g/cm ³
	1100	kg/m ³
Gewählte Größe Sauerstofftank	25	m ³
Sauerstofflieferung alle	19	Wochen

Auslegung des Ozonreaktors:

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

Tabelle 5-13: Auslegung Ozonreaktor, Variante 3

Auslegung Ozonreaktor		
Bemessungsvolumenstrom	500	m ³ /h
Reaktionszeit	15	min
Ausgasungszeit	10	min
Aufenthaltszeit (gesamt)	25	min
	0,42	h
Erf. Volumen Ozonreaktor	208,3	m ³
Einblastiefe	5	m
Fläche Ozonreaktor (innen)	41,7	m ²

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 Münster-Hiltrup wird die Nutzung des Nachreinigungsteiches vorgesehen. Da die Referenzlage zu dieser Anordnung bisher sehr dünn ist, ist die Eignung des Teiches zur Elimination der Transformationsprodukte vor Umsetzung dieser Variante noch zu prüfen.

Anordnung der Ozonanlage:

Es wird ein Zulaufpumpwerk benötigt. Das Abwasser durchläuft anschließend den Ozonreaktor. Nach der Ozonung wird das gereinigte Abwasser zwecks biologischer Nachreinigung in die verbliebene Hälfte des Nachreinigungsteiches geleitet.

Die Pläne sind in Abbildung 5-9 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 5-10 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist als Anhang C – Pläne (Kapitel 9.2) beigelegt.

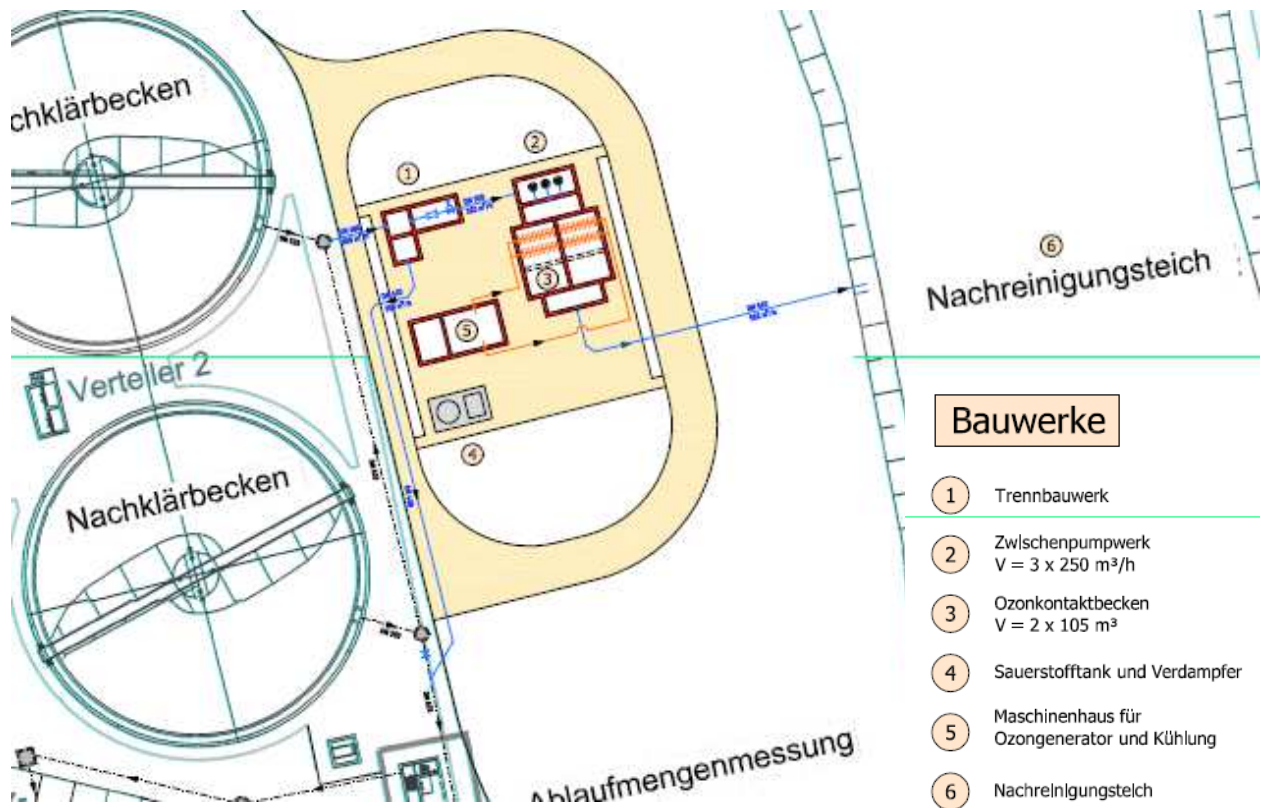


Abbildung 5-9: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

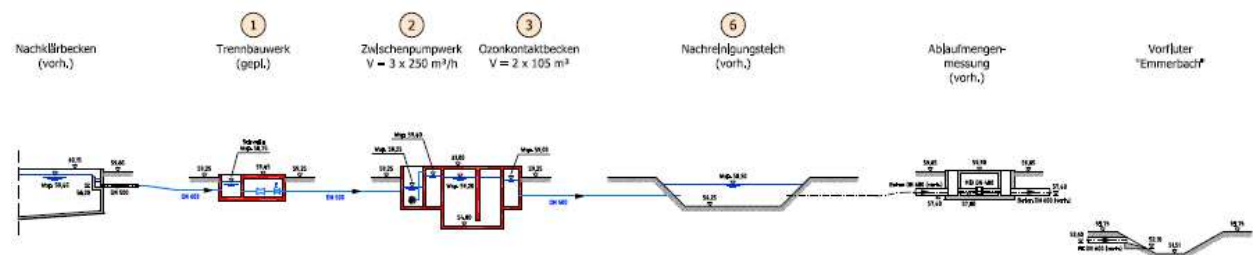


Abbildung 5-10: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

5.4.5 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

Zur Spurenstoffelimination auf der KA Münster-Hiltrup kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden (siehe auch Kap. 3.1.4). Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung müsste 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. Dies ist bei der Kläranlage Münster-Hiltrup nach aktuellem Stand nicht notwendig, da der Gehalt abfiltrierbarer Stoffe im Ablauf der Nachklärung sehr gering ist. Das gereinigte Abwasser aus der Nachklärung wird deshalb direkt den

GAK-Filtern zugeführt. Um die angesetzten Bettvolumina zu erreichen, sollte eine optimierte Filterbewirtschaftung angestrebt werden. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden.

Prinzipiell ist eine Ausführung der GAK-Filtration als Betonbauwerk oder auch in kommerziell verfügbaren, vorgefertigten Stahlbehältern möglich. Es werden im Rahmen dieser Studie Druckfilterbehälter als Filterzellen vorgesehen, da hier geringere Kosten zu erwarten sind. Ob dies tatsächlich zutrifft, sollte im Rahmen einer weiteren Planung 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 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 5-11 dargestellt.

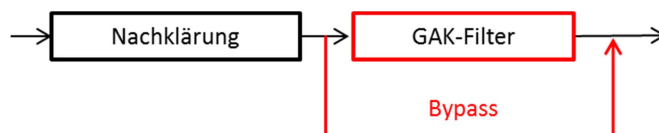


Abbildung 5-11: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

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

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	1.740.159	m ³ /a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.733.390	m ³ /a
Bemessungsvolumenstrom	500	m ³ /h
Rückspülwasser (10 % von JAM 4. RS)	19,8	m ³ /h
Auslegungsvolumenstrom	519,8	m ³ /h
Leerbettkontaktzeit	15	min
	0,250	h
Erforderliches Filtrervolumen	129,9	m ³
Maximale Filterbettgeschwindigkeit	10	m/h
Filterbetthöhe GAK	2,25	m
Erforderliche Filterfläche	57,8	m ²
Resultierende Filtergeschwindigkeit	9	m/h
Filterbetthöhe GAK	2,25	m
Anzahl paralleler Filter	6	
erf. Fläche je Filter	9,6	m ²
Gewählte Fläche je Filter (manuell wählen)	9,6	m ²
Gewählte Anzahl Filter	6,0	
Resultierendes Gesamtfiltrervolumen	129,9	m ³
Erreichbare Bettvolumina	10.000	BVT
Durchsetzbares Abwasservolumen	1.298.852	m ³
Nutzungsdauer GAK	8,2	Monate
Schüttdichte GAK	350	kg/m ³
erf. GAK Menge Erstbefüllung je Filter	7.577	kg GAK/Filter
Rückspülgeschwindigkeit GAK-Filter	30	m/h
Volumenstrom Spülung	288,6	m ³ /h
Spüldauer	10	min
Spülwasserspeicher	48,1	m ³

Da keine Vorfiltration geplant ist, wurden die durchsetzbaren Bettvolumina mit 10.000 BVT vergleichsweise gering abgeschätzt.

Es werden 6 Filter mit einer Fläche von je 9,6 m² benötigt. Da die tatsächliche Wassermenge die Auslegungswassermenge nur sehr selten erreicht, wurde im Rahmen dieser Planung davon ausgegangen, dass eine Rückspülung der Filterzellen in Zeiten mit geringem Wasseraufkommen durchgeführt werden kann. Sollte sich im Rahmen einer weiteren Planung herausstellen, dass dies nicht möglich ist, müssten weitere Filterzellen vorgesehen werden.

Anordnung der GAK-Filtration:

Für die Variante 4 (GAK-Filtration) wird für das Anheben des Abwassers auf die GAK-Filter ein neues Zwischenpumpwerk benötigt. Das Abwasser wird auf die 6 parallel betriebenen Filter verteilt. Da der Nachreinigungsteich für diese Variante nicht benötigt wird, wird er vollständig stillgelegt und das gereinigte Abwasser in den Vorfluter geleitet.

Ein Ausschnitt des Lageplans für Variante 4 ist in Abbildung 5-12 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 5-13. Der komplette Lageplan ist als Anhang C- Pläne (Kapitel 9.3) beigelegt.

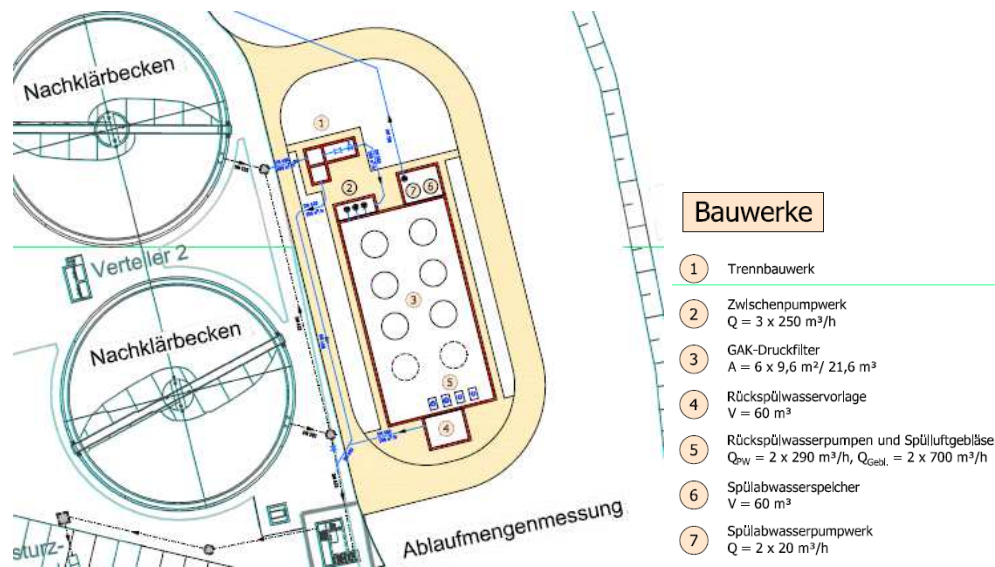


Abbildung 5-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

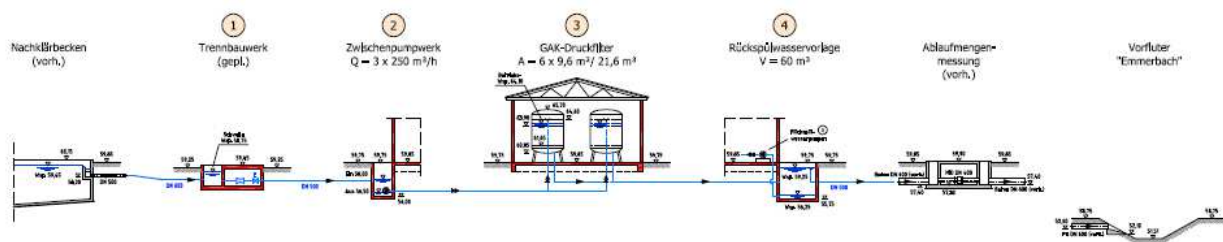


Abbildung 5-13: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

5.4.6 Variante 5: Ozonung und GAK-Filtration

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

5.4.7 Auslegung der Flockungsfiltration

Bei den PAK-Varianten ist für die 4. Reinigungsstufe eine nachgeschaltete Filtration erforderlich, um Restfraktionen der Pulveraktivkohle abzuscheiden. Da momentan weder von einer besonderen Relevanz der Mikroplastikelimination noch von einer baldigen Absenkung der P-Überwachungswerte aufgegangen wird, kann die Behandlung bei der Variante 2 im Teilstrom erfolgen. Für Variante 1 wird in jedem Fall eine Vollstromfiltration benötigt.

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

Der Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem.Filt.}}$) für die Auslegung der Flockungsfiltration beträgt 500 m³/h (Teilstrom) bzw. 850 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 angesetzt. 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

<i>Tuch- / Gewebefilter Vollstrombehandlung</i>		
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	850	m ³ /h
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Benötigte Filterfläche	141,7	m ²
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	45	m ²
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück
Gewählte Filterfläche	135	m ²
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	6	m/h

Im Rahmen der Planung wurden für die Vollstromfiltration insgesamt drei Tuch-/Gewebefilter mit einer Filterfläche von jeweils 45 m² vorgesehen. Eine Auslegung für den Teilstrom findet sich in Tabelle 5-16.

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

<i>Tuch- / Gewebefilter Teilstrombehandlung</i>		
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	500	m ³ /h
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Benötigte Filterfläche	83,3	m ²
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	30	m ²
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück
Gewählte Filterfläche	90	m ²
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	6	m/h

Auch für die Teilstromvariante wurden drei Filterelemente angesetzt, deren Fläche jedoch nur je 30 m² beträgt.

6 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken und die wirtschaftliche Bewertung werden für die Kläranlage Münster-Hiltrup folgende Verfahrenskonzepte berücksichtigt:

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

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

6.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen werden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen PAK-Varianten ist eine Tuchfiltration für den behandelten Abwasserstrom enthalten.
- Für Varianten 1+2 wird neuer Fällmitteltank an der 4. Reinigungsstufe berücksichtigt.
- Für Variante 3 wird eine Hälfte des Nachreinigungsteiches stillgelegt, für die restlichen Varianten erfolgt eine vollständige Stilllegung.
- Die Nachreinigung nach der Ozonung erfolgt im verbliebenen Teil des Nachreinigungsteichs.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem Container.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei Variante 3, 4 und 5 (Ozonung, GAK-Filtration, Ozonung + GAK-Filtration) muss ein neues Hebwerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe zu beschicken.
- 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 PAK-Dosierung in die Belebung	Variante 2 PAK-Dosierung in	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	862.400 €	1.510.800 €	753.850 €	1.270.450 €
Maschinentechnik- Kosten	820.000 €	910.000 €	445.000 €	698.750 €
EMSR-Technik-Kosten	246.000 €	273.000 €	133.500 €	209.600 €
Baunebenkosten	433.900 €	606.100 €	299.800 €	490.300 €
Investitionskosten netto	2.362.300 €	3.299.900 €	1.632.150 €	2.669.100 €
Investitionskosten brutto	2.811.137 €	3.926.881 €	1.942.259 €	3.176.229 €

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 die Variante 3 (Ozonung) mit 1.942.259 € am niedrigsten. Die Kostenschätzung geht davon aus, dass der Nachreinigungsteich zur Nachbehandlung genutzt werden kann. Sollte dieser nicht geeignet sein, so würden die Kosten durch eine zusätzliche Nachbehandlung deutlich ansteigen. Die Varianten 1 (PAK in die Belebung) und 4 (GAK-Filtration) liegen mit 2.811.137 € und 3.176.229 € dicht beieinander. Die höchsten Kosten wurden mit 3.926.881 € für die Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) abgeschätzt.

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 Schlamm Entsorgungskosten zusammen. Bei der Berechnung der Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten wurden die folgenden spezifischen Kosten (netto) angesetzt:

Energiekosten:	0,185 Euro/kWh
Personalkosten für Facharbeiter:	40.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.500 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)
Schlamm Entsorgung:	320 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 1.740.159 m³/a. Für die Varianten 2-4 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 1.733.390 m³/a angesetzt.

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

Bei den Varianten mit PAK Dosierung (Varianten 1 und 2) wurde 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 10.000 BVT angesetzt. Damit ergibt sich für die Kläranlage Münster-Hiltrup eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von ca. 8,2 Monaten.

Bei der Ozonungsanlage werden 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]	10.887	23.083	74.903	21.489
Personal	[€/a]	15.684	19.605	15.684	15.684
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	54.076	68.154	33.549	53.954
Sauerstoff	[€/a]	0	0	15.881	0
PAK/GAK	[€/a]	50.167	24.986	0	83.371
FHM, FM	[€/a]	12.408	5.464	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	25.418	14.679	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	168.641	155.971	140.018	174.498

Aus Tabelle 6-2 geht hervor, dass bei Variante 3 (Ozonung) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von ca. 140.000 Euro brutto/a zu rechnen ist. Die zweitniedrigsten Betriebskosten weist die Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) mit ca. 156.000 € 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
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Kapitalkosten	[€/a]	162.689	214.777	105.952	171.680
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	69.760	87.759	49.233	69.638
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	98.881	68.213	90.785	104.860
Jahreskosten	[€/a]	331.331	370.748	245.970	346.178

Es zeigt sich, dass die Variante 3 (Ozonung) mit ca. 246.000 Euro mit Abstand die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die restlichen Varianten liegen hinsichtlich der Jahreskosten relativ dicht beieinander.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser liegen für die Varianten 1, 2 und 4 eng zusammen mit 0,19 Euro netto bis 0,21 Euro netto. Die günstigsten Kosten werden bei Variante 3 mit 0,14 €/m³ erreicht.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen unter 14 Euro netto pro Jahr (9,11 Euro netto (Variante 3) bis 13,73 Euro netto (Variante 2)).

6.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für die Kläranlage Münster-Hiltrup einige Annahmen getroffen, die die Kosten wesentlich beeinflussen. So wurde z.B. davon ausgegangen, dass Teile des bestehenden Nachreinigungsteichs als biologische Nachbehandlung für die Ozonung verwendet werden. Darüber hinaus wurde für alle Varianten die ganze oder teilweise Stilllegung des Nachreinigungsteiches vorgesehen. Sollte sich im Laufe einer weiteren Planung herausstellen, dass eine oder mehrere dieser Annahmen nicht zutreffen, könnten sich die Kosten für eine 4. Reinigungsstufe deutlich erhöhen.

Der P_{ges}-Überwachungswert wurde mit Bescheid vom 28.11.2017 von 2 mg/l auf 1 mg/l abgesenkt. Dieser Wert kann aller Voraussicht nach auch ohne eine Flockungsfiltration sicher eingehalten werden. Im Rahmen dieser Studie wurde davon ausgegangen, dass in absehbarer Zeit keine weitere Verschärfung des P-Überwachungswertes zu erwarten ist. Auf eine weitere Nachbehandlung, wie z.B. eine Flockungsfiltration, wurde daher verzichtet. Auch eine Vorfiltration vor der GAK-Filtration wurde nicht berücksichtigt. Sollten sich die Bedingungen ändern, z.B. durch reduzierte Überwachungswerte, so wäre bei einer weiteren Planung ggf. eine Vollstrom-Flockungsfiltration vor der GAK-Filtration bzw. nach der Ozonung vorzusehen. Die Investitionskosten würden so um jeweils ca. 1.600.000 € (brutto) steigen. Für die PAK-Behandlung im Kontaktbecken sollte im Falle von weiter gesenkten Überwachungswerten eine Vollstrom- an Stelle der momentan geplanten Teilstromfiltration vorgesehen werden. Hierdurch würden sich zusätzliche Investitionskosten in Höhe von ca. 300.000 € (brutto) ergeben. Der verhältnismäßig kleine Unterschied der Investitionskosten von Teil- und Vollstrombehandlung kommt durch die geringe Differenz zwischen Teil- und Vollstrom zustande (s. Kap. 5.2).

Einen besonders hohen Anteil an den Betriebsmittelkosten verursachen die Verbräuche an Chemikalien und Hilfsmitteln. Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle wurden über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Für die granulierten Aktivkohle wurde eine Annahme für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BVT = 10.000). Hierbei wurde berücksichtigt, dass keine Vorfiltration stattfindet – eine solche könnte die BVT deutlich erhöhen. Mit den angesetzten 10.000 BVT ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von ca. 8,2 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen. Ebenso haben die angesetzten

Nutzungszeiten bzw. Bettvolumina einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten, so dass diese in Abhängigkeit einer längeren oder kürzeren Standzeit deutlich anders ausfallen können. Eine Verminderung der Kosten kann evtl. durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) erreicht werden (34).

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 Münster-Hiltrup

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

Bei der Verfahrensbewertung muss – wie schon in Kap. 5.1 erläutert – berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten Spurenstoffe ausreichende Informationen zur Eliminationsleistung und zur optimalen Verfahrensführung vorliegen. Bei den hier in der Studie untersuchten Verfahrensvarianten handelt es sich jedoch durchweg um Verfahren, die eine Breitbandwirkung hinsichtlich der Spurenstoffelimination aufweisen.

Eliminationsleistungen

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

zikon (Schweiz) ermittelt (48). 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 auch der Einsatz von GAK denkbar (35).

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 (33). 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 (34), 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. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern wieder abgebaut werden. Hierfür wurde in dieser Studie der bestehende Nachreinigungsteich vorgesehen. Ob dieser zur diesem Zweck geeignet ist, muss im Zuge einer weiteren Planung detailliert geprüft werden. Auch der Einsatz eines GAK-Filters ist denkbar (35); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Es wird jedoch vor einer Umsetzung der Ozon- Variante empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen, insbesondere da die bei den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen gefundenen Bromidgehalte im Kläranlagenablauf mit bis zu 0,2 mg/l in einem Bereich lagen, ab dem das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW in seiner Auslegungsempfehlung eine Einzelfallbetrachtung empfiehlt, ob eine Ozonung am Stand-

ort umgesetzt werden kann. 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 notwendig, 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.

Bewertung der Eignung der Verfahren für den Standort Münster-Hiltrup

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

Die Kläranlage Münster-Hiltrup hat derzeit eine Ausbaugröße von 30.000 EW und wird zurzeit, bezogen auf den CSB, mit ca. 27.000 EW belastet. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der Kläranlage Münster-Hiltrup 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 maximalen, bei anderen Kläranlagen gemessenen Werten. Große Industrie-einleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Aufgrund des angeschlossenen Krankenhauses ist mit einem erhöhten Eintrag von Medikamentenrückständen zu rechnen, wobei die gefundenen Konzentrationen an Medikamenten nach heutigem Kenntnisstand in den meisten Fällen nur gering erhöht waren. Die Kläranlage Münster-Hiltrup befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen, das Trinkwasserschutzgebiet Hohe Ward wird jedoch tangiert. Beim Vorfluter Emmerbach handelt es sich um einen schwachen Vorfluter. Er durchfließt unterhalb der Kläranlage mehrere Landschaftsschutzgebiete und geschützte Biotope.

Die in den vorherigen Abschnitten dieses Kapitel erläuterten Punkte wurden zur besseren Quantifizierbarkeit in einer Bewertungsmatrix dargestellt. Für jedes der 16 Kriterien wurden -2 bis +2 Punkte vergeben. Diese Punkte wurden mit einem Gewichtungsfaktor zwischen 1 und 2 berücksichtigt.

Erläuterung zu den Kriterien:

- Breitbandwirkung in Bezug auf die Eliminationsleistung und Eliminationsleistung spezifisch für die Kläranlage Münster-Hiltrup: Die Hauptargumente für die Umsetzung der Maßnahme wurden mit dem Faktor 2 gewertet.
- P-Elimination: Der Einsatz einer Flockungsfiltration erhöht die P-Eliminationsleistung der Kläranlage.
- Flexibilität hinsichtlich neuer Anforderungen an Mikroschadstoffelimination: Es werden regelmäßig neue Stoffe synthetisiert, die ins Abwasser gelangen können; ebenso können neue Qualitätsanforderungen an die Mikroschadstoffelimination gestellt werden.
- Eliminationseffizienz: Die Eliminationseffizienz beschreibt das Verhältnis der Einsatzstoffmenge zur Eliminationseffektivität.
- Vorhandene Betriebserfahrung: Je mehr Pilotanlagen und/oder großtechnische Anlagen gebaut und betrieben wurden, desto sicherer lässt sich sagen, ob das angestrebte Reinigungsziel mit einer bestimmten Technologie erreicht werden kann. Auch die Kostenschätzung für gut erprobte Verfahren ist genauer.
- Platzbedarf: Die Bewertung dieses Kriteriums erfolgt, weil der Ressourcenverbrauch generell so gering wie möglich gehalten werden soll.
- Einfluss auf die Schlammmentsorgung: Bei einigen Verfahrensvarianten ist eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes nicht mehr möglich. Die landwirtschaftliche Verwertung wird allerdings zukünftig voraussichtlich von untergeordneter Bedeutung sein.
- Wartungsaufwand: Maß für den spezifischen Wartungsaufwand der 4.RS.
- Transformationsprodukte: Die Bildung von Transformationsprodukten bei der Ozonung ist zu erwarten. Eine Gefährdung durch entstehende Nebenprodukte konnte noch nicht sicher ausgeschlossen werden. Eine abgesicherte Einschätzung dazu steht allerdings bisher noch aus.
- Bromatbildung: Erste Messungen zeigten eine verhältnismäßig hohe Bromidkonzentration im Ablauf der Kläranlage Münster-Hiltrup, so dass eine verstärkte Bromatbildung bei der Ozonung zu befürchten ist. Aufgrund dieser Relevanz wurde die Bromatbildung in die Bewertung aufgenommen.
- CO₂-Footprint: Der Parameter wurde als Maß für die Umweltverträglichkeit der Verfahren berücksichtigt. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus einer Bewertung des ökologischen Einflusses verschiedener Verfahren der Spurenstoffelimination (36), siehe Kap. 3.7.
- Gefahrenstoffe auf der KA: Gefahrenstoffe erhöhen das Unfallrisiko und den Schulungsaufwand.
- Flexibilität Änderung Ausbaugröße: Sollte die Kläranlage zukünftig ausgebaut werden, bzw. sollten sich die bemessungsrelevanten Zulaufmengen/-frachten erhöhen, müsste auch die Ausbaugröße der 4. Reinigungsstufe angepasst werden.

- Mikroplastikelimination: Ob es einen Grenzwert für Mikroplastik geben wird, ist noch unklar.

Für die Kläranlage Münster-Hiltrup ergab sich die folgende Verteilung (Abbildung 6-1):

Verfahren Kriterium	PAK in Belebungs- becken	PAK in Kontakt- becken	Ozonung	GAK	Ozonung + GAK	Faktor
Eliminationsleistung / Breitbandwirkung	0,5	1	1	1	2	2,0
Eliminationsleistung spezifisch KA Münster-Hiltrup	1	1	1	1	2	2,0
Eliminationseffizienz	-1	1	1	1,5	1	1,0
Platzbedarf	2	-1	1	1	0,5	1,0
Einfluss auf Anlage z.B. Schlammentsorgung	-1	-1	0	0	0	1,0
Betriebs/Wartungsaufwand	-1	-1	-0,5	-0,5	-1	1,0
Transformationsprodukte	0	0	-0,5	0	0	1,0
Bromatbildung	1	1	-1	1	-1	1,0
CO ₂ -Footprint	-1,5	-1	-0,5	-0,5	-1	1,0
Gefahrenstoffe auf KA	0	0	-0,5	0	-0,5	1,0
Reaktivierung AK	-1	-1		1	1	1,0
Flexibilität Änderung Ausbaugröße	1	-1	-1	-1	-1	1,0
Flexibilität neue Anforderungen	0,5	1	-1	-1	0	1,0
Mikroschadstoffe						
P-Elimination in FF	1	1	0	0	0	1,0
Mikroplastik-elimination in FF	1	1	0	0	0	1,0
vorhandene Betriebserfahrung	-0,5	1	1	1	-0,5	1,0
Gesamtpunkte	3,50	3,50	2,00	6,50	5,50	

Abbildung 6-1: Bewertungsmatrix Verfahrensvarianten

Hinsichtlich der nicht-monetären Faktoren geht die GAK-Filtration mit 6,5 Punkten als bestgeeignetste Variante aus dem Ranking hervor.

Voraussichtliche Kosten

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die Ozonung mit rund 246.000 Euro. Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten liegen alle wesentlich höher. Es ist jedoch vor der weiteren Planung zu prüfen, ob die Bromidkonzentrationen im Ablauf auch über den Jahresgang konstant unter 0,15 mg/l liegen. Werden zwischenzeitlich (wesentlich) höhere Konzentrationen erreicht, könnte dies die Eignung des Verfahrens in Frage stellen.

Notwendigkeit der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster-Hiltrup

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 allerdings 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 Kläranlage Münster-Hiltrup trifft von den oben genannten Punkten lediglich zu, dass sie in einen schwachen Vorfluter einleitet.

6.6 Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe

Für die Finanzierung einer 4. Reinigungsstufe auf der KA Münster-Hiltrup können 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 Pges-Konzentration im Ablauf der Kläranlage reduziert werden. Bei der Ozonung 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 (49).

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

6.7 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

Sollte sich die Annahme, dass die Hälfte des bisherigen Nachreinigungsteiches zur biologischen Nachbehandlung ausreicht, bestätigen, so ist die Ozonung als günstigstes Verfahren anzusehen. Verfahrenstechnisch ist hier die drohende Bildung (persistenter) Transformationsprodukte zu beachten. Sollten diese im Nachreinigungsteich nicht ausreichend eliminiert werden können, so ist ggf. eine andere Art der Nachbehandlung (biologisch aktiver Filter, Wirbelbett) notwendig. Dies würde die Investitions- und Betriebskosten wesentlich erhöhen, so dass diese im Bereich der für die anderen Varianten abgeschätzten Kosten lägen. Die Bromidkonzentration muss vor einer weiteren Planung im Rahmen eines Messprogrammes über einen längeren Zeitraum beobachtet werden. Ggf. sind Laborversuche zur Bromatbildung notwendig.

Die Betrachtung relevanter, nicht-monetärer Faktoren weist die GAK-Filtration als geeignetstes Verfahren aus. Diese Bewertung kann jedoch stark variieren, wenn die aufgeführten Kriterien durch Änderungen der äußeren Umstände anders gewichtet werden.

Hinsichtlich der Reinigungsleistung kann 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.

6.8 Fazit

Eine Schwierigkeit für Planer und Betreiber besteht immer 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.

Als Vorzugsverfahren für die Kläranlage Münster-Hiltrup kommt aufgrund der berechneten Jahreskosten die Variante 3 (Ozonung) infrage, wenn der Nachreinigungsteich zur Entfernung der entstehenden Transformationsprodukte ausreicht. Die Bromidkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung sind jedoch vor einer etwaigen Umsetzung vorab zu überprüfen. Zusätzlich muss sichergestellt werden, dass eine (teilweise) Stilllegung des Nachreinigungsteiches nicht zu einer Verschlechterung des Reinigungsergebnisses führt. Die vorliegenden Daten deuten jedoch darauf hin, dass bei allen Betriebszuständen bereits im Ablauf der Nachklärung die relevanten Überwachungswerte eingehalten werden. Desweiteren ist im Hinblick auf andere, nicht monetäre Faktoren, auch die Variante 4 zu empfehlen. Hier wäre jedoch mit deutlichen Mehrkosten zu rechnen. Die Wichtung der Wirtschaftlichkeit gegenüber den anderen Faktoren ist noch festzulegen.

Da der Nutzen der 4. Reinigungsstufe auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden muss – der Betrieb der 4. Reinigungsstufe verursacht einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz – wäre es für den Betreiber der Kläranlage sinnvoll, wenn Betriebserfahrungen der schon bestehenden Anlagen und bald in Betrieb gehender Anlagen sowie Ergebnisse von Forschungsprojekten der kommenden Jahre abgewartet werden können, um dann ggf. in Zukunft in Abstimmung mit den Behörden eine effektive und zuverlässige Verfahrenstechnik am Standort auszuwählen und umzusetzen.

Da bisher keine gesetzlichen Vorgaben zur Reinigungsleistung existieren, ist die Auswahl eines Vorzugsverfahrens mit Unsicherheiten behaftet. Nach bisherigem Stand sind für die Varianten 2-4 vergleichbare Eliminationsraten zu erwarten. Es ist in den kommenden Jahren mit Entscheidungen bezüglich gesetzlicher Vorgaben zur Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe zu rechnen. Dies wird die Planungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber erheblich erhöhen, da dann auch mit den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erfahrungen die standortspezifisch effektivste Verfahrenstechnik zum Einsatz kommen kann.

Vor dem Hintergrund der unklaren gesetzlichen Entwicklung wird empfohlen, mit dem Bau einer 4. Reinigungsstufe abzuwarten, bis entsprechende Regelungen existieren.

7 Anhang A - Untersuchungsergebnisse

7.1 Vorherige Spurenstoffuntersuchungen

Dezember 2015

Name Probenahmestelle	JD UQN	ZHK UQN	Präventivwert		We2	Ablauf KA Hi	We1a	-;L
	µg/l	µg/l			Emmerbach oberhalb KA		Emmerbach unterhalb KA	
Datum					07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	-;L
Leitfähigkeit bei 25°C				µS/cm	755	1110	752	DIN EN 27888;L
pH-Wert				-	7,83	7,37	7,79	DIN 38404 C5;L
Wassertemperatur				°C	7,4	10,8	7,5	DIN 38404 C4;L
Pflanzenschutzmittel								
Benzotriazol	-	-	10,00	µg/l	< < 0,025	< 0,025	< 0,025	DIN 38407/F35;FV
Arzneimittelrückstände								
Carbamazepin	-	-	0,50	µg/l	0,027	0,653	0,044	DIN 38407/F35;FV
Clarithromycin	-	-	0,025	µg/l	< 0,025	0,119	< 0,025	DIN 38407/F35;FV
Diclofenac	-	-	0,10	µg/l	0,098	3,560	0,196	DIN 38407/F35;FV
Metoprolol	-	-	7,30	µg/l	0,167	4,300	0,291	DIN 38407/F35;FV
Sotalol	-	-	0,10	µg/l	< 0,025	0,327	< 0,025	DIN 38407/F35;FV
Sulfamethoxazol	-	-	0,15	µg/l	< < 0,025	0,092	0,031	DIN 38407/F35;FV

Oktober 2015

Name Probenahmestelle	JD UQN	ZHK UQN	Präventivwert		We2	Ablauf KA Hi	We1a	-;L
	µg/l	µg/l			Emmerbach oberhalb KA		Emmerbach unterhalb KA	
Datum					07.09.2015	07.09.2015	07.09.2015	-;L
Pflanzenschutzmittel								
Benzotriazol	-	-	10,00	µg/l	< < 0,025	< 0,025	< 0,025	DIN 38407/F35;FV
Arzneimittelrückstände								
Carbamazepin	-	-	0,50	µg/l	0,180	0,880	0,280	DIN 38407/F35;FV
Clarithromycin	-	-	0,025	µg/l	< 0,025	0,083	0,025	DIN 38407/F35;FV
Diclofenac	-	-	0,10	µg/l	0,420	2,710	0,440	DIN 38407/F35;FV
Metoprolol	-	-	7,30	µg/l	0,420	3,850	0,680	DIN 38407/F35;FV
Sotalol	-	-	0,10	µg/l	0,037	0,360	0,066	DIN 38407/F35;FV
Sulfamethoxazol	-	-	0,15	µg/l	0,051	0,530	0,057	DIN 38407/F35;FV

Juni 2015

Name Probenahmestelle	JD UQN	ZHK UQN	Präventivwert		We2	Ablauf KA Hi	We1a	-;L
	µg/l	µg/l			Emmerbach oberhalb KA		Emmerbach unterhalb KA	
Datum					10.06.2015	10.06.2015	10.06.2015	-;L
Pflanzenschutzmittel								
Benzotriazol	-	-	10,00	µg/l	1,750	7,040	2,860	
Arzneimittelrückstände								
Carbamazepin	-	-	0,50	µg/l	0,365	0,997	0,451	
Clarithromycin	-	-	0,025	µg/l	0,105	0,054	0,068	
Diclofenac	-	-	0,10	µg/l	0,223	1,83	0,74	
Metoprolol	-	-	7,30	µg/l	0,37	4,37	1,39	
Sotalol	-	-	0,10	µg/l	0,074	0,272	0,101	
Sulfamethoxazol	-	-	0,15	µg/l	0,079	0,789	0,326	

April 2015

Name Probenahmestelle	JD UQN	ZHK UQN	Präventivwert		We2	Ablauf KA Hi	We1a	-;L
	µg/l	µg/l			Emmerbach oberhalb KA		Emmerbach unterhalb KA	
Datum					19.03.2015	19.03.2015	19.03.2015	-;L
Leitfähigkeit bei 25°C				µS/cm	909	1200	928	DIN EN 27888;L
pH-Wert				-	8,03	7,57	7,97	DIN 38404 C5;L
Wassertemperatur				°C	8,5	10,7	8,8	DIN 38404 C4;L
Pflanzenschutzmittel								
Benzotriazol	-	-	10	µg/l	1,24	9,94	2,11	DIN 38407/F35;FV
Arzneimittelrückstände								
Carbamazepin	-	-	0,0005	mg/l	0,00010	0,000934	0,00016	DIN 38407/F35;FV
Clarithromycin	-	-	0,00006	mg/l	0,000116	0,000393	0,000142	DIN 38407/F35;FV
Diclofenac	-	-	0,0001	mg/l	0,000209	0,00198	0,00045	DIN 38407/F35;FV
Metoprolol	-	-	0,0073	mg/l	0,000455	0,00756	0,00146	DIN 38407/F35;FV
Sotalol	-	-	0,0001	mg/l	0,00005	0,000392	0,000081	DIN 38407/F35;FV
Sulfamethoxazol	-	-	0,00015	mg/l	0,000065	0,000851	0,000158	DIN 38407/F35;FV
Hinweise zur Probenvorbereitung								
Säureaufschluss								AbwasserV Nr. 506;L

März 2015

Name Probenahmestelle	JD UQN	ZHK UQN	Präventivwert		We2	Ablauf KA Hi	We1a	-;L
	µg/l	µg/l			Emmerbach oberhalb KA		Emmerbach unterhalb KA	
Datum					09.03.2016	09.03.2016	09.03.2016	-;L
Leitfähigkeit bei 25°C				µS/cm	753	1050	758	DIN EN 27888;L
pH-Wert				-	7,73	7,47	7,96	DIN 38404 C5;L
Wassertemperatur				°C	4,6	8,3	5,4	DIN 38404 C4;L
Analyse der Originalprobe								
Pflanzenschutzmittel								
Benzotriazol	-	-	10,00	µg/l	< 0,100	< 0,100	< 0,100	DIN 38407/F35;FV
Arzneimittelrückstände								
Carbamazepin	-	-	0,50	µg/l	< 0,100	0,640	< 0,100	DIN 38407/F35;FV
Clarithromycin	-	-	0,025	µg/l	< 0,100	0,280	< 0,100	DIN 38407/F35;FV
Diclofenac	-	-	0,10	µg/l	0,190	3,900	0,320	DIN 38407/F35;FV
Metoprolol	-	-	7,30	µg/l	0,220	3,600	0,200	DIN 38407/F35;FV
Sotalol	-	-	0,10	µg/l	< 0,100	0,250	< 0,100	DIN 38407/F35;FV
Sulfamethoxazol	-	-	0,15	µg/l	< 0,100	0,320	< 0,100	DIN 38407/F35;FV

7.2 PERLODES-Untersuchung 2014



01.07.14

Untersuchung des Makrozoobenthos an Fließgewässern im Stadtgebiet Münster oberhalb und unterhalb von Ableitern aus Kläranlagen 2014

An 12 Probestellen an Fließgewässern im Stadtgebiet Münster wurde auftragsgemäß eine Untersuchung des Makrozoobenthos nach PERLODES durchgeführt.

Die Beprobung erfolgte in der 15./16.KW bei ausreichender mittlerer Wasserführung und jahreszeitlich warmem und trockenem Wetter.

In der Ems konnte auch mit Wathose nur eine Beprobung in Ufernähe vorgenommen werden.

Im Bekschembach erreicht die Besiedlung nicht die für die statistische Absicherung angegebene Abundanzsumme von 20.

Zu beachten ist, dass einerseits das PERLODES-System eine 5-stufige Skala aufweist und daher nicht direkt mit älteren Daten mit der Beurteilung nach DIN 38410 zu vergleichen ist. Weiterhin wird die Gesamtbeurteilung immer von dem schlechteren der 2 (bzw. 3) Teilmodule „Saprobie“ und „allgemeine Degradation“ (bei bestimmten Mittelgebirgsbachtypen zusätzlich Teilmodul „Versauerung“) bestimmt wird („worst case-Beurteilung“). Weitere Informationen finden sich im Methodik-anhang.

Die 5 Zustandsklassen nach PERLODES [Sehr gut – gut – mäßig – befriedigend – schlecht] werden zudem abhängig vom Gewässertypus vergeben

Typ 15g = großer, sandiger Tieflandfluss,

Typ 15 = sandiger Tieflandfluss,

Typ 14 = kleines bis mittelgroßes Sandgewässer,

Typ 19 = Niedrigungsgewässer.

2014 wurde die Einstufung in die Typenklassen der ELWAS-Datenbank (Stand Mai 2014) des LANUV NRW übernommen. An einigen Stellen unterscheidet sich diese Einstufung von der früher verwendeten Klassifizierung nach dem Gewässertypenatlas NRW.

HKA Münster:

Der Wöstebach (Typ 14 nach ELWAS) als direkter KA-Ableiter mit hoher Fließgeschwindigkeit im verbauten Gerinne wies bei Probestelle Ma1 auch 2014 eine stark beeinträchtigte Besiedlung mit Makroorganismen auf. Wie früher reichte dies im Teilmodul Saprobie nach PERLODES für eine „mäßige“ Beurteilung (3 von 5), im Teilmodul allgemeine Degradation (agD) und somit in der Gesamtbewertung für die „schlechte“ (5 von 5) Bewertung.

Bei einer Klassifizierung als Typ 19 (nach Gewässertypenatlas) wäre die agD und somit auch die ökologische Zustandsklasse als „mäßig“ zu bewerten gewesen.

An der Probestelle EBe1 im Beckschembach (Typ 19 nach ELWAS und Gewässertypenatlas), dem zweiten direkten Ableiter der Hauptkläranlage Münster, lagen vergleichbare Verhältnisse vor. Auch dort bestimmt das Teilmodul allgemeine Degradation mit einer „schlechten“ Beurteilung die Gesamtbewertung des ökologischen Zustands, während das Teilmodul Saprobie ebenfalls „mäßig“ ausfällt.

Für beide direkten Ableiter der HKA Münster ist aufgrund der nicht spezifizierbaren Vorbelastungen durch die alten Rieselfelder und die ehemalige Mülldeponie der Einfluss der Einleitungen nicht bestimmbar.

Die Münstersche Aa (Typ 15 nach ELWAS und Gewässertypenatlas) wies oberhalb 2,23 und unterhalb des Ableiter-Zulaufs (2,20) an beiden Probestellen ähnliche Saprobienindices auf, die im Teilmodul Saprobie zu einer „guten“ Beurteilung führten (2 von 5).

In dem schlechter bewerteten, und somit für die ökologische Zustandsklasse entscheidenden Modul allgemeinen Degradation fiel der Wert von 0,50 oberhalb des Zuflusses an Probestelle M2a auf 0,35 unterhalb an Probestelle M2 und somit von „mäßig“ (3 von 5) auf „unbefriedigend“ (4 von 5).

Die gegenüber früheren Untersuchungen verbesserte Beurteilung bei Probestelle M2a könnte auch in der im Untersuchungsjahr 2014 deutlich besseren und gleichmäßigeren Wasserführung der Münsterschen Gewässer begründet sein, die insgesamt eine bessere Makrozoobenthosbesiedlung zur Folge hatte.

Während in der für die stoffliche Belastung zuständigen Messgröße Saprobie kein Einfluss des HKA-Abflusses auf die Münstersche Aa zu sehen ist, könnten Veränderungen des Lebensraumes (Substrate, Ausbau, Sedimente, Abflussverhalten u.a.) durch die Einleitung zumindest teilweise für die erkennbare Verschlechterung des Parameters Allgemeine Degradation und somit der ökologischen Zustandsklasse verantwortlich sein.

2014 wurde an dem beiden Probestellen der Ems (Typ 15g nach ELWAS) E11a (2,22) oberhalb und E11 (2,24) unterhalb des Ableiter-Zulaufs wie bei früheren Untersuchungen ein ähnlicher Saprobienindex mit gleicher Einstufung für das Modul Saprobie mit „gut“ festgestellt (2 von 5).

Bei der Beurteilung der allgemeinen Degradation werden für den Typus 15g eines „großen Tieflandflusses“ Werte von 0,64 und 0,62 erreicht, die auch eine Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklasse mit „gut“ (2 von 5) zur Folge haben.

Bei einer Klassifizierung als Typ 15 (nach Gewässertypenatlas) wäre die agD (0,44 und 0,42) und somit auch die ökologische Zustandsklasse für beide Probestellen als „mäßig“ zu bewerten gewesen.

In der Ems ist kein Einfluss des HKA-Abflusses auf Saprobie und Allgemeine Degradation ersichtlich.

KA Loddenbach:

In der Bewertung der Probestellen des Loddenbachs (Typ 19 nach ELWAS) war das Saprobie-Modul oberhalb (WLo2) mit 2,57 sogar etwas schlechter, als unterhalb (WLo1) der Einleitung (2,40). Auch die allgemeine Degradation verbesserte sich von 0,41 auf 0,59. Alle Werte der Teilmodule und somit auch die Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklasse lagen im Bereich der „mäßigen“ Einstufung (3 von 5).

Bei einer Klassifizierung als Typ 14 (nach Gewässertypenatlas) würde die agD (0,09 und 0,22) deutlich schlechter ausfallen, und ebenso wie die ökologische Zustandsklasse sich von „schlecht“ an der Probestelle oberhalb der Einleitung auf „unbefriedigend“ unterhalb verbessern.

Ein negativer Einfluss der KA-Einleitung auf den Loddenbach ist im Bewertungssystem PERLODES nicht zu erkennen.

KA Hiltrup:

Die beiden Probestellen WE2 oberhalb und WE1a unterhalb der Einleitung in den Emmerbach (Typ 15 nach ELWAS und Gewässertypenatlas) wiesen auch 2014 in beiden Teilmodulen keine relevanten Unterschiede auf. Allerdings war wieder eine große Diskrepanz zwischen „guter Saprobie“ 2,25 und nur „unbefriedigender“ allgemeinen Degradation“ (0,39 und 0,33) festzustellen. Die Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklasse erreichte demnach für beide Probestellen ebenfalls nur eine „unbefriedigende“ Beurteilung.

Es ist keine Verschlechterung der Parameter Saprobie und Allgemeine Degradation durch die Einleitung der KA-Hiltrup im Emmerbach erkennbar. Allerdings ist die agD schon vor der Einleitung in einem „unbefriedigenden“ Zustand.

KA Getterbach:

Mit einer ähnlichen Diskrepanz zwischen den Teilmodulen aber noch eine Stufe schlechter fiel 2014 die Bewertung der Probestellen WEG3 oberhalb und WEG2 unterhalb der Einleitung in den Getterbach aus (Typ 14 nach ELWAS und Gewässertypenatlas). Auch hier war zwischen den Probestellen höchstens ein geringer Unterschied vorhanden. In der Saprobie reichten die Werte (2,29 und 2,38) noch für eine „mäßige“ Einstufung, die „allgemeine Degradation“ (0,05) und damit die Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklasse fiel nur noch „schlecht“ aus.

Es ist keine signifikante Verschlechterung der Parameter Saprobie und Allgemeine Degradation durch die Einleitung der KA-Getterbach im Getterbach erkennbar. Allerdings ist die agD schon vor der Einleitung in einem „schlechten“ Zustand.



Dipl.-Biologe A. Boenert

7.3 Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gorthel
Durchwahl: +49 2505 89 164
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthel@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-075583-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-098916-01				
Eingangsdatum	23.06.2017				
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup				
Probenart	Oberflächenwasser				
Probenahme	23.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probenmenge	2,4l				
Probengefäß	2x 1L BG 250ml BG 100ml PE				
Anzahl Gefäße	4				
Untersuchungsbeginn	23.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Probe Nr.	17-098916-01				
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup				
Galaxolid (HHCB)	µg/l	WE	0,09		

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-098916-01				
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup				
HNO ₃ -Aufschluss	WE	26.06.2017			



Prüfbericht Nr. **CAL17-075583-1** Auftrag Nr. **CAL-15752-16** Datum **13.07.2017**

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-098916-01		
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup		
Bor (B)	mg/l	WE	0,21

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-098916-01		
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup		
Carbamazepin	µg/l	WE	0,38
Diclofenac	µg/l	WE	0,52
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,25
Metoprolol	µg/l	WE	1,2
Sotalol	µg/l	WE	0,053
Clarithromycin	µg/l	WE	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-098916-01		
Bezeichnung	Vor Einlauf KA Hiltrup		
Benzotriazol	µg/l	WE	2,1

Prüfbericht Nr. CAL17-075583-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 13.07.2017

Probe Nr.	17-098916-02
Eingangsdatum	23.06.2017
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup
Probenart	Oberflächenwasser
Probenahme	23.06.2017
Probenahme durch	WESSLING GmbH
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann
Probenmenge	2,4l
Probengefäß	2x 1L BG 250ml BG 100ml PE
Anzahl Gefäße	4
Untersuchungsbeginn	23.06.2017
Untersuchungsende	13.07.2017

Probe Nr.	17-098916-02
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup
Galaxolid (HHCb)	µg/l W/E 0,15

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-098916-02
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup
HNO ₃ -Aufschluss	W/E 26.06.2017

Gesamtgehalt Elemente

Probe Nr.	17-098916-02
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup
Bor (B)	mg/l W/E 0,22

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-098916-02
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup
Carbamazepin	µg/l W/E 0,54
Diclofenac	µg/l W/E 0,61
Sulfamethoxazol	µg/l W/E 0,39
Metoprolol	µg/l W/E 1,7
Sotalol	µg/l W/E 0,091
Clarithromycin	µg/l W/E <0,25

Seite 3 von 6



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

Prüfbericht Nr. CAL17-075583-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 13.07.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-098916-02		
Bezeichnung	nach Einlauf KA Hiltrup		
Benzotriazol	µg/l	W/E	2,6

Prüfbericht Nr. CAL17-075583-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 13.07.2017

Probe Nr.	17-098916-03
Eingangsdatum	23.06.2017
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup
Probenart	Oberflächenwasser
Probenahme	23.06.2017
Probenahme durch	WESSLING GmbH
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann
Probenmenge	1,3l
Probengefäß	1L BG 250ml BG
Anzahl Gefäße	2
Untersuchungsbeginn	23.06.2017
Untersuchungsende	13.07.2017

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.			17-098916-03
Bezeichnung			Zulauf Biologie KA Hiltrup
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,66
Diclofenac	µg/l	W/E	4,5
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	1,5
Metoprolol	µg/l	W/E	7,2
Sotalol	µg/l	W/E	0,41
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Prüfbericht Nr.	CAL17-075583-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser

WES 532

Spezielle org. Stoffe mit LC-MS

WES 778^A

Aromatische Nitroverbindungen in Wasser

WES 822

Salpetersäure-Auflösung A32

DIN EN ISO 15587-2^A

Metalle/Elemente in Wasser/Eluat

DIN EN ISO 11885^A

WE

Wasser/Eluat

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Rhein-Main

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge



Nadine Aversch

Dipl.-Ing. Chemie

Abteilungsleiterin Wasser

Seite 6 von 6



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: S. Gorthell
Durchwahl: +49 2505 89 184
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthell@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-075584-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-099733-01				
Eingangsdatum	26.06.2017				
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	26.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas				
Anzahl Gefäße	2				
Untersuchungsbeginn	26.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-099733-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,64
Diclofenac	µg/l	W/E	4,4
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	2,2
Metoprolol	µg/l	W/E	7
Sotalol	µg/l	W/E	0,45
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Prüfbericht Nr.	CAL17-075584-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-099733-02				
Eingangsdatum	26.06.2017				
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	26.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas 100 ml PE				
Anzahl Gefäße	6				
Untersuchungsbeginn	26.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,66

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
HNO ₃ -Aufschluss	W/E	30.06.17	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,2

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Bor (B)	mg/l	W/E	0,22

Prüfbericht Nr. **CAL17-075584-1** Auftrag Nr. **CAL-15752-16** Datum **13.07.2017**

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,74
Diclofenac	µg/l	W/E	4,1
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	1,3
Metoprolol	µg/l	W/E	6,4
Sotalol	µg/l	W/E	0,44
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Benzotriazol	µg/l	W/E	7

Süßstoffe

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00069

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	17-099733-02		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,049
Iopromid	mg/l	W/E	0,0004

Prüfbericht Nr.	CAL17-075584-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	-----------------------	-------------	---------------------	-------	-------------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Salpetersäure-Auflösung A32
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 532
WES 778^A
WES 622
DIN EN ISO 15587-2^A
DIN EN ISO 11885^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

WE

Wasser/Eluat

ausführender Standort

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

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 4 von 4



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: S. Gorthell
Durchwahl: +49 2505 89 184
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthell@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-075582-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-097963-01				
Eingangsdatum	22.06.2017				
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	22.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probenmenge	3,4l				
Probengefäß	3x 1L BG 250ml BG 100ml PE				
Anzahl Gefäße	5				
Untersuchungsbeginn	22.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,58

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
HNO3-Auflösung	W/E	26,062017	

Prüfbericht Nr.	CAL17-075582-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Bor (B)	mg/l	W/E	0,17

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,68
Diclofenac	µg/l	W/E	3,3
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,52
Metoprolol	µg/l	W/E	5,3
Sotalol	µg/l	W/E	0,35
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Benzotriazol	µg/l	W/E	7,7

Süßstoffe

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00055

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	17-097963-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,065
Iopromid	mg/l	W/E	0,00038

Prüfbericht Nr. **CAL17-075582-1** Auftrag Nr. **CAL-15752-16** Datum **13.07.2017**

Probe Nr.	17-097963-02
Eingangsdatum	22.06.2017
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup
Probenart	Abwasser
Probenahme	22.06.2017
Probenahme durch	WESSLING GmbH
Probennehmer	Herr Maximilian Dartmann
Probenmenge	1,3l
Probengefäß	1L BG 250ml BG
Anzahl Gefäße	2
Untersuchungsbeginn	22.06.2017
Untersuchungsende	13.07.2017

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.			17-097963-02
Bezeichnung			Zulauf Biologie KA Hiltrup
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,63
Diclofenac	µg/l	W/E	4,8
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,91
Metoprolol	µg/l	W/E	6,1
Sotalol	µg/l	W/E	0,36
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Prüfbericht Nr.	CAL17-075582-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	-----------------------	-------------	---------------------	-------	-------------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Salpetratsäure-Auflösung: A32
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 532
WES 778^A
WES 622
DIN EN ISO 15587-2^A
DIN EN ISO 11885^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

WE

Wasser/Eluat

ausführender Standort

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

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 4 von 4



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

Geschäftsführer:
Julia Welling, Florian Welling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: S. Gorthel
Durchwahl: +49 2505 89 184
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthel@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-075581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-097104-01				
Eingangsdatum	21.06.2017				
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	21.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probenmenge	3,5l				
Probengefäß	3x 1000 ml Schlifflglas 250 ml Schlifflglas 2x 100 ml PE				
Anzahl Gefäße	6				
Untersuchungsbeginn	21.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Probe Nr.	17-097104-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,59

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-097104-01		
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup		
HNO ₃ -Aufschluss	W/E	26.06.2017	

Prüfbericht Nr.	CAL17-075581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1	

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Bor (B)	mg/l	W/E	0,19	

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,69	
Diclofenac	µg/l	W/E	3,2	
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,62	
Metoprolol	µg/l	W/E	5,1	
Sotalol	µg/l	W/E	0,33	
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25	

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Benzotriazol	µg/l	W/E	7,5	

Süßstoffe

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,001	

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	17-097104-01			
Bezeichnung	Ablauf NKB KA Hiltrup			
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,04	
Iopromid	mg/l	W/E	0,00072	

Prüfbericht Nr.	CAL17-075581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
Probe Nr.	17-097104-02				
Eingangsdatum	21.06.2017				
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	21.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probenmenge	1,3l				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas				
Anzahl Gefäße	2				
Untersuchungsbeginn	21.06.2017				
Untersuchungsende	13.07.2017				

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-097104-02				
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup				
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,53		
Diclofenac	µg/l	W/E	3,7		
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,76		
Metoprolol	µg/l	W/E	5,6		
Sotalol	µg/l	W/E	0,37		
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25		

Prüfbericht Nr.	CAL17-075581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	13.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Salpetersäure Aufschluss A32
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 532
WES 778^A
WES 822
DIN EN ISO 15587-2^A
DIN EN ISO 11885^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

W/E

Wasser/Eluat

ausführender Standort

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

*

*

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 4 von 4



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: S. Gorthel
Durchwahl: +49 2505 89 164
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthel@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-071694-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	05.07.2017
Probe Nr.	17-096375-01				
Eingangsdatum	20.06.2017				
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	20.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas 100 ml PE				
Anzahl Gefäße	6				
Untersuchungsbeginn	20.06.2017				
Untersuchungsende	05.07.2017				

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Galaxolid (HHCb)	µg/l	W/E	0,33

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
HNO ₃ -Aufschluss	W/E	22.06.17	

Seite 1 von 4



DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-14162-01-00

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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

Prüfbericht Nr.	CAL17-071694-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	05.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Bor (B)	mg/l	W/E	0,12

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,73
Diclofenac	µg/l	W/E	3,4
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,84
Metoprolol	µg/l	W/E	5,7
Sotalol	µg/l	W/E	0,31
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Benzotriazol	µg/l	W/E	7,8

Süßstoffe

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,001

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	17-096375-01		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung KA Hiltrup		
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,035
Iopromid	mg/l	W/E	0,0007

Prüfbericht Nr.	CAL17-071694-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	05.07.2017
Probe Nr.	17-096375-02				
Eingangsdatum	20.06.2017				
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	20.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Maximilian Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas				
Anzahl Gefäße	2				
Untersuchungsbeginn	20.06.2017				
Untersuchungsende	05.07.2017				

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-096375-02				
Bezeichnung	Zulauf Biologie KA Hiltrup				
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,66		
Diclofenac	µg/l	W/E	4,6		
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,97		
Metoprolol	µg/l	W/E	6,3		
Sotalol	µg/l	W/E	0,37		
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25		

Prüfbericht Nr.	CAL17-071694-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	05.07.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Salpetersäure Aufschluss A32
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 532
WES 778^A
WES 822
DIN EN ISO 15587-2^A
DIN EN ISO 11885^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

W/E

Wasser/Eluat

ausführender Standort

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

*
*

* Durchführung in Kooperationslabor



Simon Gorthel
Staatl. gepr. Chemietechniker
Sachverständiger Wasser

Seite 4 von 4



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

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

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: S. Gorthel
Durchwahl: +49 2505 89 164
Fax: +49 2505 89 185
E-Mail: Simon.Gorthel@wessling.de

Prüfbericht

Analytik zur Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen hier: Kläranlage Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-069581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	29.06.2017
Probe Nr.	17-095441-01				
Eingangsdatum	19.06.2017				
Bezeichnung	Nach Einlauf KA				
Probenart	Oberflächenwasser				
Probenahme	19.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas 100 ml PE				
Anzahl Gefäße	4				
Untersuchungsbeginn	19.06.2017				
Untersuchungsende	29.06.2017				

Probe Nr.	17-095441-01		
Bezeichnung	Nach Einlauf KA		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	<0,05

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-095441-01		
Bezeichnung	Nach Einlauf KA		
HNO ₃ -Aufschluss	W/E	22.06.17	

Prüfbericht Nr. CAL17-069581-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 29.06.2017

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-095441-01		
Bezeichnung	Nach Einlauf KA		
Bor (B)	mg/l	W/E	0,25

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-01		
Bezeichnung	Nach Einlauf KA		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,44
Diclofenac	µg/l	W/E	0,31
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,2
Metoprolol	µg/l	W/E	0,84
Sotalol	µg/l	W/E	0,043
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-01		
Bezeichnung	Nach Einlauf KA		
Benzotriazol	µg/l	W/E	2,1

Prüfbericht Nr. CAL17-069581-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 29.06.2017

Probe Nr.	17-095441-02
Eingangsdatum	19.06.2017
Bezeichnung	Vor Einlauf KA
Probenart	Oberflächenwasser
Probenahme	19.06.2017
Probenahme durch	WESSLING GmbH
Probennehmer	Herr Dartmann
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas 100 ml PE
Anzahl Gefäße	4
Untersuchungsbeginn	19.06.2017
Untersuchungsende	29.06.2017

Probe Nr.	17-095441-02
Bezeichnung	Vor Einlauf KA
Galaxolid (HHCB)	µg/l W/E 0,09

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-095441-02
Bezeichnung	Vor Einlauf KA
HNO ₃ -Aufschluss	W/E 22.06.17

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-095441-02
Bezeichnung	Vor Einlauf KA
Bor (B)	mg/l W/E 0,24

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-02
Bezeichnung	Vor Einlauf KA
Carbamazepin	µg/l W/E 0,42
Diclofenac	µg/l W/E 0,47
Sulfamethoxazol	µg/l W/E 0,31
Metoprolol	µg/l W/E 1,4
Sotalol	µg/l W/E 0,072
Clarithromycin	µg/l W/E <0,25

Prüfbericht Nr. CAL17-069581-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 29.06.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-02		
Bezeichnung	Vor Einlauf KA		
Benzotriazol	µg/l	W/E	3

Prüfbericht Nr.	CAL17-069581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	29.06.2017
Probe Nr.	17-095441-03				
Eingangsdatum	19.06.2017				
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung				
Probenart	Oberflächenwasser				
Probenahme	19.06.2017				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Dartmann				
Probengefäß	1000 ml Schliffglas 250 ml Schliffglas 100 ml PE				
Anzahl Gefäße	6				
Untersuchungsbeginn	19.06.2017				
Untersuchungsende	29.06.2017				

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,33

Probenvorbereitung

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
HNO ₃ -Aufschluss	W/E	22.06.17	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,1

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Bor (B)	mg/l	W/E	0,22

Prüfbericht Nr. CAL17-069581-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 29.06.2017

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,73
Diclofenac	µg/l	W/E	3,5
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	1,2
Metoprolol	µg/l	W/E	5,6
Sotalol	µg/l	W/E	0,32
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Benzotriazol	µg/l	W/E	8,8

Süßstoffe

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,00042

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	17-095441-03		
Bezeichnung	Ablauf Nachklärung		
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,041
Iopromid	mg/l	W/E	0,0018

Prüfbericht Nr.	CAL17-069581-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	29.06.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Salpetersäure Aufschluss A32
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 532
WES 778^A
WES 822
DIN EN ISO 11885^A
DIN EN ISO 15587-2^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

W/E

Wasser/Eluat

ausführender Standort

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

*
*

* Durchführung in Kooperationslabor

S. Gorthel

Simon Gorthel
Staatl. gepr. Chemietechniker
Sachverständiger Wasser

Seite 7 von 7



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling 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 Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL16-060591-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.	16-069307-01				
Eingangsdatum	06.05.2016				
Bezeichnung	Zulauf				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	04.05.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Funke				
Probenmenge	9,9 Liter				
Probengefäß	8x1 L BG 4x250 ml BG 2x250 ml PE 2x100 ml PE 2xHS				
Anzahl Gefäße	18				
Untersuchungsbeginn	06.05.2016				
Untersuchungsende	15.06.2016				

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,069
Cyclamat	mg/l	W/E	0,22
Saccharin	mg/l	W/E	0,059
Sucralose	mg/l	W/E	0,01
Mischprobenerstellung	-/-		
Röntgenkontrastmittel			
Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Iopamidol	mg/l	W/E	0,097
Iohexol	mg/l	W/E	0,039

Prüfbericht Nr.	CAL16-060591-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.				16-069307-01	
Iomeprol	mg/l	W/E	0,00064		
Ioxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00072		
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,044		
Iotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,00025		
Iopromid	mg/l	W/E	0,029		
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,00025		
Iodipamid	mg/l	W/E	<0,00025		
10, 11-Dihydro-10,11-Dihydroxy-carbamazepin (DHH)	mg/l	W/E	0,0016		
Organo-Phosphate					
Probe Nr.				16-069307-01	
Bezeichnung				Zulauf	
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	µg/l	W/E	0,049		
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	µg/l	W/E	0,27		
Elemente					
Probe Nr.				16-069307-01	
Bezeichnung				Zulauf	
Quecksilber (Hg)	mg/l	W/E	<0,0002		
Cadmium (Cd)	mg/l	W/E	0,00053		
Komplexbildner					
Probe Nr.				16-069307-01	
Bezeichnung				Zulauf	
EDTA	µg/l	W/E	14,5		
NTA	µg/l	W/E	36,5		
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	µg/l	W/E	1,6		
Pflanzenschutzmittel-Rückstände					
Probe Nr.				16-069307-01	
Bezeichnung				Zulauf	
Mecoprop	µg/l	W/E	<0,1		
Terbutryn	µg/l	W/E	0,066		
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l	W/E	0,074		
Carbendazim	µg/l	W/E	<0,1		
Korrosionsschutzmittel					
Probe Nr.				16-069307-01	
Bezeichnung				Zulauf	
Benzotriazol	µg/l	W/E	14		
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	0,82		
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	1,1		

Prüfbericht Nr. CAL16-060591-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	W/E	<0,05

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E	120
Sulfat (SO ₄)	mg/l	W/E	82

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,67
Diclofenac	µg/l	W/E	3,6
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,74
Ibuprofen	µg/l	W/E	21
Metoprolol	µg/l	W/E	5,6
Sotalol	µg/l	W/E	0,4
Clarithromycin	µg/l	W/E	0,49
Ciprofloxacin	µg/l	W/E	1,2

Hormone

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,01
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,01

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.	16-069307-01		
Bezeichnung	Zulauf		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	2,1
Tonalide (AHTN)	µg/l	W/E	0,28

Prüfbericht Nr.	CAL16-060591-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

16-069307-01

Kommentare der Ergebnisse:

Spurenstoffe LC-MS (basisch), Carbendazim: Aufgrund von Matrixstörungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

Abkürzungen und Methoden

Ciprofloxacin Wasser
Steroidhormone
Arzneimittelrückstände in Wasser
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS
Pestizide und Metabolite mit GC-MS
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS
EDTA / NTA / DTPA in Wasser/Eluat
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser
Organo-Phosphate in Wasser/Eluat
-
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat
Quecksilber in Wasser/Eluat (AAS)
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser

WES 819
WES 689^A
WES 532
WES 778^A
DIN 38407-36^A
DIN EN ISO 10695 F6^A
DIN 38407-35^A
EN 16588^A
DIN 38407-42^A
WES 794^A
DIN EN ISO 17294-2^A
DIN EN 1483^A
DIN EN ISO 10304-1^A
DIN EN ISO 10304-1^A
WES 822
DIN 38407-36
DIN 38407-36 (F36)

ausführender Standort

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

W/E

Wasser/Eluat

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 4 von 4



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

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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling 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 Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.	16-069330-01				
Eingangsdatum	06.05.2016				
Bezeichnung	Ablauf				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	05.05.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Funke				
Probenmenge	9,9 Liter				
Probengefäß	8x1 L BG 4x250 ml BG 2x250 ml PE 2x100 ml PE 2xHS				
Anzahl Gefäße	18				
Untersuchungsbeginn	06.05.2016				
Untersuchungsende	15.06.2016				

Probe Nr.	16-069330-01		
Bezeichnung	Ablauf		
Farbe	OS	schwach gelblich	
Aussehen	OS	keine Schwebstoffe	
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,0071
Cyclamat	mg/l	W/E	0,00008
Saccharin	mg/l	W/E	0,00051
Sucralose	mg/l	W/E	0,0095
Mischprobenerstellung	-/-		

Prüfbericht Nr. CAL16-060592-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm W/E 1100
pH-Wert	W/E 7,8

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
Iopamidol	mg/l W/E 0,084
Iohexol	mg/l W/E 0,0042
Iomeprol	mg/l W/E <0,00025
Ioxithalaminsäure	mg/l W/E 0,0004
Amidotrizoesäure	mg/l W/E 0,029
Iotalaminsäure	mg/l W/E <0,00025
Iopromid	mg/l W/E 0,002
Ioxaglinsäure	mg/l W/E <0,00025
Iodipamid	mg/l W/E <0,00025
10,11-Dihydro-10,11-Dihydroxy-carbamazepin (DHH)	mg/l W/E 0,002

Organo-Phosphate

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	µg/l W/E 1,3
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	µg/l W/E 0,074

Elemente

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
Quecksilber (Hg)	mg/l W/E <0,0002
Cadmium (Cd)	mg/l W/E <0,0005

Komplexbildner

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
EDTA	µg/l W/E 20
NTA	µg/l W/E 0,9
Diethylenetriaminpentaessigsäure (DTPA)	µg/l W/E 1

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	16-069330-01
Bezeichnung	Ablauf
Mecoprop	µg/l W/E <0,025
Terbutryn	µg/l W/E <0,05
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l W/E 0,14

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.				16-069330-01	
Carbendazim	µg/l	W/E	<0,025		
Kationen, Anionen und Nichtmetalle					
Probe Nr.				16-069330-01	
Bezeichnung				Ablauf	
Ammonium (NH4)	mg/l	W/E	2,5		
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/l	W/E	1,9		
Nitrat (NO3)	mg/l	W/E	4,6		
Nitrat-Stickstoff (NO3-N)	mg/l	W/E	1,0		
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E	0,02		
Gesamtphosphor (P)	mg/l	W/E	0,03		
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E	3,6		
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E	140		
Sulfat (SO4)	mg/l	W/E	96		
Summenparameter					
Probe Nr.				16-069330-01	
Bezeichnung				Ablauf	
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	W/E	<3		
DOC	mg/l	W/E	9,6		
TOC	mg/l	W/E	8,6		
Korrosionsschutzmittel					
Probe Nr.				16-069330-01	
Bezeichnung				Ablauf	
Benzotriazol	µg/l	W/E	5,4		
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	0,8		
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	1		
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren					
Probe Nr.				16-069330-01	
Bezeichnung				Ablauf	
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	W/E	<0,05		
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	W/E	<0,05		
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l	W/E	<0,05		
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	W/E	<0,05		
Sonstiges					
Probe Nr.				16-069330-01	
Bezeichnung				Ablauf	
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	4,7		

Prüfbericht Nr. CAL16-060592-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	16-069330-01		
Bezeichnung	Ablauf		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,77
Diclofenac	µg/l	W/E	2,8
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,39
Ibuprofen	µg/l	W/E	0,26
Metoprolol	µg/l	W/E	5,3
Sotalol	µg/l	W/E	0,4
Clarithromycin	µg/l	W/E	0,19
Ciprofloxacin	µg/l	W/E	0,1

Hormone

Probe Nr.	16-069330-01		
Bezeichnung	Ablauf		
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,01
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,01

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.	16-069330-01		
Bezeichnung	Ablauf		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,58
Tonalide (AHTN)	µg/l	W/E	0,06

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.	16-069330-02				
Eingangsdatum	06.05.2016				
Bezeichnung	Oberhalb				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	05.05.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Funke				
Probenmenge	9,9 Liter				
Probengefäß	8x1 L BG 4x250 ml BG 2x250 ml PE 2x100 ml PE 2xHS				
Anzahl Gefäße	18				
Untersuchungsbeginn	06.05.2016				
Untersuchungsende	15.06.2016				

Probe Nr.	16-069330-02	
Bezeichnung	Oberhalb	
Farbe	OS	gelblich
Aussehen	OS	keine Schwebstoffe
Acesulfam K	mg/l W/E	0,0011
Cyclamat	mg/l W/E	0,00013
Saccharin	mg/l W/E	0,00011
Sucralose	mg/l W/E	0,0005
Mischprobenerstellung	-/-	

Physikalische Untersuchung		
Probe Nr.	16-069330-02	
Bezeichnung	Oberhalb	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm W/E	720
pH-Wert	W/E	8,2

Röntgenkontrastmittel		
Probe Nr.	16-069330-02	
Bezeichnung	Oberhalb	
Iopamidol	mg/l W/E	0,00065
Iohexol	mg/l W/E	<0,00025
Iomeprol	mg/l W/E	<0,00025
Ioxithalaminsäure	mg/l W/E	<0,00025
Amidotrizoesäure	mg/l W/E	<0,00025
Iotalaminsäure	mg/l W/E	<0,00025
Iopromid	mg/l W/E	0,0011

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.					16-069330-02
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E			<0,00025
Iodipamid	mg/l	W/E			<0,00025
10, 11-Dihydro-10, 11-Dihydroxy-carbamazepin (DHH)	mg/l	W/E			0,00012
Organo-Phosphate					
Probe Nr.					16-069330-02
Bezeichnung					Oberhalb
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	µg/l	W/E			<0,025
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	µg/l	W/E			0,12
Elemente					
Probe Nr.					16-069330-02
Bezeichnung					Oberhalb
Quecksilber (Hg)	mg/l	W/E			<0,0002
Cadmium (Cd)	mg/l	W/E			<0,0005
Komplexbildner					
Probe Nr.					16-069330-02
Bezeichnung					Oberhalb
EDTA	µg/l	W/E			2,2
NTA	µg/l	W/E			0,6
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	µg/l	W/E			<0,5
Pflanzenschutzmittel-Rückstände					
Probe Nr.					16-069330-02
Bezeichnung					Oberhalb
Mecoprop	µg/l	W/E			<0,025
Terbutryn	µg/l	W/E			<0,05
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l	W/E			<0,025
Carbendazim	µg/l	W/E			<0,025
Kationen, Anionen und Nichtmetalle					
Probe Nr.					16-069330-02
Bezeichnung					Oberhalb
Ammonium (NH4)	mg/l	W/E			0,05
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/l	W/E			0,039
Nitrat (NO3)	mg/l	W/E			8,2
Nitrat-Stickstoff (NO3-N)	mg/l	W/E			1,9
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E			0,02
Gesamtposphor (P)	mg/l	W/E			0,01
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E			4,9
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E			43
Sulfat (SO4)	mg/l	W/E			65

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Summenparameter

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	W/E	<3
DOC	mg/l	W/E	11
TOC	mg/l	W/E	11

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
Benzotriazol	µg/l	W/E	0,54
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	0,075
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l	W/E	0,076

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	W/E	<0,05

Sonstiges

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	5

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,071
Diclofenac	µg/l	W/E	0,12
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,051
Ibuprofen	µg/l	W/E	<0,05
Metoprolol	µg/l	W/E	0,23
Sotalol	µg/l	W/E	<0,025
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,05
Ciprofloxacin	µg/l	W/E	<0,05

Hormone

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,01
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,01

Prüfbericht Nr. CAL16-060592-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.	16-069330-02		
Bezeichnung	Oberhalb		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	<0,05
Tonalide (AHTN)	µg/l	W/E	<0,05

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.	16-069330-03				
Eingangsdatum	06.05.2016				
Bezeichnung	Unterhalb				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	05.05.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Funke				
Probenmenge	9,9 Liter				
Probengefäß	8x1 L BG 4x250 ml BG 2x250 ml PE 2x100 ml PE 2xHS				
Anzahl Gefäße	18				
Untersuchungsbeginn	06.05.2016				
Untersuchungsende	15.06.2016				

Probe Nr.	16-069330-03		
Bezeichnung	Unterhalb		
Farbe	OS	gelblich	
Aussehen	OS	Schwebstoffe	
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,0018
Cyclamat	mg/l	W/E	0,00023
Saccharin	mg/l	W/E	0,00024
Sucralose	mg/l	W/E	0,0013
Mischprobenerstellung	-/-		

Physikalische Untersuchung			
Probe Nr.	16-069330-03		
Bezeichnung	Unterhalb		
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm	W/E	750
pH-Wert		W/E	8,2

Röntgenkontrastmittel			
Probe Nr.	16-069330-03		
Bezeichnung	Unterhalb		
Iopamidol	mg/l	W/E	0,007
Iohexol	mg/l	W/E	0,001
Iomeprol	mg/l	W/E	<0,00025
Ioxithalaminsäure	mg/l	W/E	<0,00025
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,0031
Iotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,00025
Iopromid	mg/l	W/E	0,0015

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
Probe Nr.				16-069330-03	
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,00025		
Iodipamid	mg/l	W/E	<0,00025		
10, 11-Dihydro-10, 11-Dihydroxy-carbamazepin (DHH)	mg/l	W/E	0,00027		
Organo-Phosphate					
Probe Nr.				16-069330-03	
Bezeichnung				Unterhalb	
Tris-(2-chlorisopropyl)-phosphat (TCPP)	µg/l	W/E	0,83		
Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)	µg/l	W/E	0,25		
Elemente					
Probe Nr.				16-069330-03	
Bezeichnung				Unterhalb	
Quecksilber (Hg)	mg/l	W/E	<0,0002		
Cadmium (Cd)	mg/l	W/E	<0,0005		
Komplexbildner					
Probe Nr.				16-069330-03	
Bezeichnung				Unterhalb	
EDTA	µg/l	W/E	4,4		
NTA	µg/l	W/E	0,6		
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	µg/l	W/E	<0,5		
Pflanzenschutzmittel-Rückstände					
Probe Nr.				16-069330-03	
Bezeichnung				Unterhalb	
Mecoprop	µg/l	W/E	<0,025		
Terbutryn	µg/l	W/E	<0,05		
(DEET) Diethyltoluamid	µg/l	W/E	0,05		
Carbendazim	µg/l	W/E	<0,025		
Kationen, Anionen und Nichtmetalle					
Probe Nr.				16-069330-03	
Bezeichnung				Unterhalb	
Ammonium (NH4)	mg/l	W/E	0,27		
Ammonium-Stickstoff (NH4-N)	mg/l	W/E	0,21		
Nitrat (NO3)	mg/l	W/E	6,7		
Nitrat-Stickstoff (NO3-N)	mg/l	W/E	1,5		
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E	0,01		
Gesamtposphor (P)	mg/l	W/E	0,02		
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E	2,5		
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E	52		
Sulfat (SO4)	mg/l	W/E	67		

Prüfbericht Nr. CAL16-060592-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Summenparameter

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l W/E	<3
DOC	mg/l W/E	11
TOC	mg/l W/E	11

Korrosionsschutzmittel

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
Benzotriazol	µg/l W/E	1,2
4-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l W/E	0,16
5-Methyl-1H-benzotriazol	µg/l W/E	0,17

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l W/E	<0,05
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l W/E	<0,05
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l W/E	<0,05
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l W/E	<0,05

Sonstiges

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l W/E	4,9

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
Carbamazepin	µg/l W/E	0,16
Diclofenac	µg/l W/E	0,41
Sulfamethoxazol	µg/l W/E	0,092
Ibuprofen	µg/l W/E	<0,05
Metoprolol	µg/l W/E	0,84
Sotalol	µg/l W/E	0,062
Clarithromycin	µg/l W/E	<0,05
Ciprofloxacin	µg/l W/E	<0,05

Hormone

Probe Nr.		16-069330-03
Bezeichnung		Unterhalb
17 beta-Estradiol	µg/l W/E	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l W/E	<0,01
Estron (E1)	µg/l W/E	<0,01

Prüfbericht Nr. CAL16-060592-1 Auftrag Nr. CAL-05666-16 Datum 15.06.2016

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.	16-069330-03		
Bezeichnung	Unterhalb		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,12
Tonalide (AHTN)	µg/l	W/E	<0,05

Prüfbericht Nr.	CAL16-060592-1	Auftrag Nr.	CAL-05666-16	Datum	15.06.2016
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

Ciprofloxacin Wasser	WES 819	Umweltanalytik Altenberge
Steroidhormone	WES 689 ^A	Umweltanalytik Rhein-Main
Arzneimittelrückstände in Wasser	WES 532	Umweltanalytik Altenberge
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS	WES 778 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-36 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide und Metabolite mit GC-MS	DIN EN ISO 10695 F6 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-35 ^A	Umweltanalytik Altenberge
EDTA / NTA / DTPA in Wasser/Eluat	EN 16588 ^A	Umweltanalytik München
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser	DIN 38407-42 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Organo-Phosphate in Wasser/Eluat	WES 794 ^A	Umweltanalytik Altenberge
-		Umweltanalytik Altenberge
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 17294-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Quecksilber in Wasser/Eluat (AAS)	DIN EN 1483 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat	DIN EN 1899-1 H51 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Aussehen, Farbe, Geruch (F)	WES 088	Umweltanalytik Altenberge
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat	DIN EN 27888 ^A	Umweltanalytik Altenberge
pH-Wert in Wasser/Eluat	DIN 38404-5 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ammonium	DIN 38406 E5-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamtphosphor in Wasser	DIN EN ISO 6878 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff, gesamt, gebunden, TNb	DIN EN 12260 H34 ^A	Umweltanalytik Oppin
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phosphat in Wasser/Eluat	DIN EN 1189 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat	DIN 38409 H7 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	DIN EN 1484 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3) ^A	Umweltanalytik Altenberge
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser	WES 822	Umweltanalytik Rhein-Main
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)	DIN 38407-36	*
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser	DIN 38407-36 (F36)	*
OS	Originalsubstanz	
W/E	Wasser/Eluat	

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 14 von 14



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

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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling GmbH
Abwasserbehandlung / Wasseraufbereitung
Herr Dipl.-Ing. Schütte
Romburgstraße 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 Hiltrup

Prüfbericht Nr.	CAL17-022924-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	01.03.2017
Probe Nr.	16-198816-01				
Eingangsdatum	08.12.2016				
Bezeichnung	Zulauf Biologie				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	12.12.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Christian Winter				
Untersuchungsbeginn	13.12.2016				
Untersuchungsende	23.02.2017				

Probe Nr.	16-198816-01			
Bezeichnung	Zulauf Biologie			
Ciprofloxacin	µg/l	W/E	<0,5	
Östrogene Wirksamkeit		W/E	s. Anlage	
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	3	
Mecoprop	µg/l	W/E	<0,1	

Probenvorbereitung

Probe Nr.	16-198816-01			
Bezeichnung	Zulauf Biologie			
HNO3-Auflösung		W/E	16.12.2016	

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	16-198816-01			
Bezeichnung	Zulauf Biologie			
pH-Wert		W/E	7,7	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm	W/E	1.500	

Prüfbericht Nr. CAL17-022924-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 01.03.2017

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Ammonium (NH ₄)	mg/l	W/E	72
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	W/E	56
Bromid (Br)	mg/l	W/E	0,3
Nitrat (NO ₃)	mg/l	W/E	<1
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	W/E	<0,23
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E	6,2
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E	65
Gesamtphosphor (P)	mg/l	W/E	8,70
Sulfat (SO ₄)	mg/l	W/E	83
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E	140

Summenparameter

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	W/E	300
DOC	mg/l	W/E	76
TOC	mg/l	W/E	290

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	W/E	<0,05

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	8,8

Gesamtgehalt**Elemente**

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Arsen (As)	mg/l	W/E	<0,005
Bor (B)	mg/l	W/E	0,16

Arzneimittel-Rückstände

Prüfbericht Nr. CAL17-022924-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 01.03.2017

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Clarithromycin	µg/l	W/E	0,85
Gabapentin	mg/l	W/E	0,084
Guanylharnstoff	mg/l	W/E	<0,000025
Candesartan	µg/l	W/E	2,4
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,54
Diclofenac	µg/l	W/E	5,3
Irbesartan	µg/l	W/E	0,94
Metoprolol	µg/l	W/E	5,9
Sotalol	µg/l	W/E	0,83
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	1,7
Terbutryn	µg/l	W/E	<0,25

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Benzotriazol	µg/l	W/E	19

Süßstoffe

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Acesulfam K	mg/l	W/E	0,048

Steroid-Hormone

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,01
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,01
Estriol	µg/l	W/E	<0,05

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	16-198816-01		
Bezeichnung	Zulauf Biologie		
Iopamidol	mg/l	W/E	0,083
Iohexol	mg/l	W/E	0,025
Iomeprol	mg/l	W/E	0,015
Ioxithalaminsäure	mg/l	W/E	0,00056
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E	0,016
Iotalaminsäure	mg/l	W/E	<0,000025
Iopromid	mg/l	W/E	0,003
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E	<0,000025

Seite 3 von 9



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

Prüfbericht Nr.	CAL17-022924-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	01.03.2017
Probe Nr.	16-198816-01				
Iodipamid		mg/l	W/E	<0,000025	

Prüfbericht Nr.	CAL17-022924-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	01.03.2017
Probe Nr.	16-198816-02				
Eingangsdatum	08.12.2016				
Bezeichnung	Ablauf KA				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	12.12.2016				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Christian Winter				
Untersuchungsbeginn	13.12.2016				
Untersuchungsende	23.02.2017				

Probe Nr.	16-198816-02				
Bezeichnung	Ablauf KA				
Ciprofloxacin	µg/l	W/E	<0,5		
Östrogene Wirksamkeit		W/E	s. Anlage		
Galaxolid (HHCB)	µg/l	W/E	0,99		
Mecoprop	µg/l	W/E	<0,025		

Probenvorbereitung					
Probe Nr.	16-198816-02				
Bezeichnung	Ablauf KA				
HNO ₃ -Aufschluss		W/E	16.12.2016		

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	16-198816-02				
Bezeichnung	Ablauf KA				
pH-Wert		W/E	7,5		
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm	W/E	1.100		

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	16-198816-02				
Bezeichnung	Ablauf KA				
Ammonium (NH ₄)	mg/l	W/E	3		
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	W/E	2,3		
Bromid (Br)	mg/l	W/E	<0,1		
Nitrat (NO ₃)	mg/l	W/E	<1		
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	W/E	<0,23		
ortho-Phosphat (P)	mg/l	W/E	<0,01		
Stickstoff, ges. geb. (TNb)	mg/l	W/E	3,4		
Gesamtphosphor (P)	mg/l	W/E	0,10		
Sulfat (SO ₄)	mg/l	W/E	99,0		
Chlorid (Cl)	mg/l	W/E	150		

Prüfbericht Nr. CAL17-022924-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 01.03.2017

Summenparameter

Probe Nr.	16-198816-02		
Bezeichnung	Ablauf KA		
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	W/E	<5
DOC	mg/l	W/E	9,2
TOC	mg/l	W/E	11

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.	16-198816-02		
Bezeichnung	Ablauf KA		
Perfluorooctansäure (PFOA)	µg/l	W/E	<0,05
Perfluorooctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	W/E	<0,05

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	16-198816-02		
Bezeichnung	Ablauf KA		
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	4,4

Gesamtgehalt**Elemente**

Probe Nr.	16-198816-02		
Bezeichnung	Ablauf KA		
Arsen (As)	mg/l	W/E	<0,005
Bor (B)	mg/l	W/E	0,14

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	16-198816-02		
Bezeichnung	Ablauf KA		
Clarithromycin	µg/l	W/E	0,35
Gabapentin	mg/l	W/E	0,011
Guanylharnstoff	mg/l	W/E	0,013
Candesartan	µg/l	W/E	2,9
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,46
Diclofenac	µg/l	W/E	4,1
Irbesartan	µg/l	W/E	0,87
Metoprolol	µg/l	W/E	5,3
Sotalol	µg/l	W/E	0,76
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	1,1
Terbutryn	µg/l	W/E	<0,25

Prüfbericht Nr. CAL17-022924-1 Auftrag Nr. CAL-15752-16 Datum 01.03.2017

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	16-198816-02	
Bezeichnung	Ablauf KA	
Benzotriazol	µg/l	W/E
		6,6

Süßstoffe

Probe Nr.	16-198816-02	
Bezeichnung	Ablauf KA	
Acesulfam K	mg/l	W/E
		0,002

Steroid-Hormone

Probe Nr.	16-198816-02	
Bezeichnung	Ablauf KA	
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E
		<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E
		<0,01
Estron (E1)	µg/l	W/E
		<0,01
Estriol	µg/l	W/E
		<0,05

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	16-198816-02	
Bezeichnung	Ablauf KA	
Iopamidol	mg/l	W/E
		0,065
Iohexol	mg/l	W/E
		0,0014
Iomeprol	mg/l	W/E
		0,00088
Ioxithalaminsäure	mg/l	W/E
		0,00003
Amidotrizoesäure	mg/l	W/E
		0,022
Iotalaminsäure	mg/l	W/E
		<0,000025
Iopromid	mg/l	W/E
		0,00021
Ioxaglinsäure	mg/l	W/E
		<0,000025
Iodipamid	mg/l	W/E
		<0,000025

Prüfbericht Nr.	CAL17-022924-1	Auftrag Nr.	CAL-15752-16	Datum	01.03.2017
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

16-198816-01

Kommentare der Ergebnisse:

Ciprofloxacin: Aufgrund von notwendigen Verdünnungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

Mecoprop: Aufgrund von Matrixstörungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

16-198816-02

Kommentare der Ergebnisse:

Ciprofloxacin: Aufgrund von notwendigen Verdünnungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

Abkürzungen und Methoden

ausführender Standort

Ciprofloxacin Wasser	WES 819	Umweltanalytik Altenberge
Arzneimittelrückstände in Wasser	WES 532	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-36	Umweltanalytik Altenberge
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS	WES 778 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS	DIN 38407-35 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser	DIN 38407-42 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Aromatische Nitroverbindungen in Wasser	WES 822	Umweltanalytik Rhein-Main
Steroidhormone	WES 689 ^A	Umweltanalytik Rhein-Main
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 17294-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat	DIN EN 1899-1 H51 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat	DIN EN 27889 ^A	Umweltanalytik Altenberge
pH-Wert in Wasser/Eluat	DIN 38404-5 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ammonium	DIN 38406 E5-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamtphosphor in Wasser	DIN EN ISO 6878 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff, gesamt, gebunden, TNb	DIN EN 12260 H34 ^A	Umweltanalytik Oppin
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phosphat in Wasser/Eluat	DIN EN 1189 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat	DIN 38409 H7 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	DIN EN 1484 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484 (H3) ^A	Umweltanalytik Altenberge
Salpetersäure Aufschluss A32	DIN EN ISO 15587-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Benzotriazole und Süßstoffe in Wasser	DIN 38407-36 (F36)	*
Organische Stoffe in Wasser (z.B.: RKM und Süßstoffe)	DIN 38407-36	*
Ostrogenitätsuntersuchung von Rohwasser (ER CALAUX)	WEX 1219	*
Gabapentin	DIN 38407-47 (F 47)	*
W/E	Wasser/Eluat	

* Durchführung in Kooperationslabor



Nadine Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Abteilungsleiterin Wasser

Seite 9 von 9



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

Geschäftsführer:
Julia Weßling, Florian Weßling
AG Steinfurt HRB 1953

8 Anhang B – Investitionen

8.1 Investitionen Variante 1

PAK-Dosierung in die Belebung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	48.800,00 €	48.800,00 €
Vorbereitende Arbeiten:				
Entleerung Teich I	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Schlammentsorgung Teich I	1.000	m³	150,00 €	150.000,00 €
Geländeauffüllung Teich I	10.000	m³	10,00 €	100.000,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Nachklärbecken bzw. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Nachfällung Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	350	m³	400,00 €	140.000,00 €
Flockungsfiltration/Tuchfilter: Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufinnen, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	420	m³	400,00 €	168.000,00 €
Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel inkl. Erdarbeiten und Ausbauewerke	160	m³	450,00 €	72.000,00 €
Erdarbeiten	1	Psch	50.000,00 €	50.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	45	m	580,00 €	26.100,00 €
DN 100	80	m	125,00 €	10.000,00 €
Leerrohre DN 100	20	m	125,00 €	2.500,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	500	m²	120,00 €	60.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				862.400,00 €
Maschinen- und Anlagentechnik				
PAK-Silo (V = 80 m³) inkl. Dosiereinheiten	1	Stk	270.000,00 €	270.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerk	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Fällmitteltank (V = 25 m³) mit Dosieranlage	1	Stk	75.000,00 €	75.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 45 m² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher	3	Stk	125.000,00 €	375.000,00 €
Zulaufwehre (1.000/400) mit E-Antrieb	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Gewindeschieber DN 400	3	Stk	5.000,00 €	15.000,00 €
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00 €	25.000,00 €
Summe maschinell netto				820.000,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik			246.000,00 €	246.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				246.000,00 €
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			28.900,00 €	28.900,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			385.700,00 €	385.700,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			19.300,00 €	19.300,00 €
Summe Nebenkosten netto				433.900,00 €
Gesamtkosten netto				
				2.362.300,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				448.837,00 €
Zwischensumme brutto				2.811.137,00 €

8.2 Investitionen Variante 2

PAK-Dosierung in Kontaktbecken				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	85.500,00 €	85.500,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Entleerung Teich I	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Schlammentsorgung Teich I	1.000	m³	150,00 €	150.000,00 €
Geländeauffüllung Teich I	10.000	m³	10,00 €	100.000,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Nachklärbecken bzw. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Trennbauwerk Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	65	m³	500,00 €	32.500,00 €
Kontaktbecken, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	425	m³	400,00 €	170.000,00 €
Sedimentationsbecken, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.700	m³	200,00 €	340.000,00 €
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	210	m³	400,00 €	84.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	350	m³	400,00 €	140.000,00 €
Rezirkulationspumpwerk, Stahlbetonschachtbauwerk, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	105	m³	450,00 €	47.250,00 €
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	1	Psch	50.000,00 €	50.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	10	m	580,00 €	5.800,00 €
DN 500	38	m	450,00 €	17.100,00 €
DN 400	45	m	320,00 €	14.400,00 €
DN 100	120	m	125,00 €	15.000,00 €
Leerrohre DN 100	50	m	125,00 €	6.250,00 €
Rohrleitungsanschlüsse	1	Psch	20.000,00 €	20.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	1.050	m²	120,00 €	126.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				1.510.800,00 €
Maschinen- und Anlagentechnik				
Ausrüstung Trennbauwerk				
MID-Messanlage DN 300 mit Regelschieber	1	Stk	20.000,00 €	20.000,00 €
PAK-Silo (V = 40 m³) inkl. Dosiereinheiten	1	Stk	240.000,00 €	240.000,00 €
Ausrüstung Kontaktbecken:				
Rührwerke	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Ausrüstung Sedimentationsbecken:				
Doppelräumerbrücke mit Bodenräumschildern und Schienenanlage	1	Stk	80.000,00 €	80.000,00 €
Ablaufinnen aus Edelstahl (L = je 6 m)	2	Stk	5.000,00 €	10.000,00 €
Gewindeschieber DN 200 mit E-Antrieb für Schlammabzug	4	Stk	5.000,00 €	20.000,00 €
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)	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Gewindeschieber DN 400	3	Stk	5.000,00 €	15.000,00 €
Rezirkulationspumpwerk				
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 €
Summe maschinell netto				910.000,00 €

Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto			273.000,00 €	273.000,00 €
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			40.400,00 €	40.400,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			538.800,00 €	538.800,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			26.900,00 €	26.900,00 €
Zwischensumme netto				606.100,00 €
Gesamtkosten netto				3.299.900,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				626.981,00 €
Zwischensumme brutto				3.926.881,00 €

8.3 Investitionen Variante 3

Ozonung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	42.700,00 €	42.700,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Entleerung Teich I	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Schlammentsorgung Teich I	1.000	m³	150,00 €	150.000,00 €
Geländeauffüllung Teich I	10.000	m³	10,00 €	100.000,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Nachklärbecken bzw. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Trennbauwerk Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schloserarbeiten	65	m³	500,00 €	32.500,00 €
Zwischenpumpwerk, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schloserarbeiten	70	m³	500,00 €	35.000,00 €
Ozonkontaktbecken, Stahlbetonschacht einschl. Zu- und Ablaufschächte inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schloserarbeiten	430	m³	400,00 €	172.000,00 €
Stahlcontainer für Ozongenerator und Kühlung inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schloserarbeiten	100	m³	400,00 €	40.000,00 €
Fundamentplatte für Sauerstofftanks und Verdampferanlage	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	5	m	580,00 €	2.900,00 €
DN 500	35	m	450,00 €	15.750,00 €
DN 400	45	m	320,00 €	14.400,00 €
Rohrleitungsanschlüsse	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	780	m²	120,00 €	93.600,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				753.850,00 €
Maschinen- und Anlagentechnik				
Ausrüstung Trennbauwerk				
MID-Messanlage DN 300 mit Regelschieber	1	Stk	20.000,00 €	20.000,00 €
Zwischenpumpwerk				
Abwasserpumpe (Q = 250 m³/h) in Nassaufstellung mit Armaturen und Rohrleitungen	3	Stk	15.000,00 €	45.000,00 €
Ozonkontaktbecken:				
Absenkrinnschieber mit E-Antrieb	4	Stk	7.500,00 €	30.000,00 €
Ozonanlage bestehend aus Ozongenerator, Keramikdiffusoren, Kühlwassersystem und Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage	1	Stk	350.000,00 €	350.000,00 €
Summe maschinell netto				445.000,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik			133.500,00 €	133.500,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				133.500,00 €
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			20.000,00 €	20.000,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			266.500,00 €	266.500,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			13.300,00 €	13.300,00 €
Zwischensumme netto				299.800,00 €
Gesamtkosten netto				1.632.150,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				310.108,50 €
Zwischensumme brutto				1.942.258,50 €

8.4 Investitionen Variante 4

GAK-Filtration				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bautechnik				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	71.900,00 €	71.900,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Entleerung Teich I	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Schlammentsorgung Teich I	1.000	m³	150,00 €	150.000,00 €
Geländeauffüllung Teich I	10.000	m³	10,00 €	100.000,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Nachklärbecken bzw. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Trennbauwerk Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	65	m³	500,00 €	32.500,00 €
Zwischenpumpwerk, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	60	m³	500,00 €	30.000,00 €
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 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 600	10	m	580,00 €	5.800,00 €
DN 500	21	m	450,00 €	9.450,00 €
DN 400	40	m	320,00 €	12.800,00 €
DN 100	80	m	125,00 €	10.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	750	m²	120,00 €	90.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				1.270.450,00 €
Maschinen- und Anlagentechnik				
Ausrüstung Trennbauwerk				
MID-Messanlage DN 300 mit Regelschieber	1	Stk	20.000,00 €	20.000,00 €
Zwischenpumpwerk				
Abwasserpumpe (Q = 250 m³/h) in Nassaufstellung inkl. Armaturen und Rohrleitungen	3	Stk	16.000,00 €	48.000,00 €
GAK-Druckfilter				
Druckfilter aus Stahl (D = 3.500 mm) inkl. Montage	6	Stk	56.000,00 €	336.000,00 €
Aktivkohle, Erstbefüllung (130 m³ x 0,3 Mg/m³)	39	Mg	1.250,00 €	48.750,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Abwasser	1	Psch	36.000,00 €	36.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülwasser	1	Psch	42.000,00 €	42.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülluft	1	Psch	30.000,00 €	30.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülabwasser	1	Psch	42.000,00 €	42.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Filtrat	1	Psch	36.000,00 €	36.000,00 €
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 €
Summe maschinell netto				698.750,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinenteknik			209.600,00 €	209.600,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				209.600,00 €
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			32.700,00 €	32.700,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			435.800,00 €	435.800,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			21.800,00 €	21.800,00 €
Zwischensumme netto				490.300,00 €
Gesamtkosten netto				2.669.100,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				507.129,00 €
Zwischensumme brutto				3.176.229,00 €

8.5 Energiebedarf

		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK
Zwischenpumpwerk					
Anzahl	Stück	0	0	2	2
	kW	0,0	0,0	2,3	9,7
Laufzeit	h/d	0	0	16	16
Energiebedarf	kWh/a	0	0	25.459	109.473
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		
Rührwerke Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		3,0		
Anschlussleistung	kW		1,3		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		34.164		
Räumer Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		2		
Anschlussleistung	kW		0,5		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		8.760		
Spülwasserpumpen					
Anzahl	Stück				3
Anschlussleistung	kW				9,57
Laufzeit	h/d				1
Energiebedarf	kWh/a				10.479
Spülluftgebläse					
Anzahl	Stück				1
Anschlussleistung	kW				45
Laufzeit	h/d				0,2
Energiebedarf	kWh/a				3.285

Ozonanlage					
Energiebedarf	kWh/a			422.741	
Sonstiges (Messtechnik etc)					
Energiebedarf	kWh/a	7.500	7.500	7.500	7.500
Betrieb Tuchfiltration					
Energiebedarf je Filtrationseinheit	kWh/d	5,6	4,6		
Energiebedarf	kWh/a	6.176	5.037		
Rührwerke Nachfällung					
Anzahl	Stück	1	1		
Anschlussleistung	kW	2,0	2,0		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	17.520	17.520		
Summe Energiebedarf	kWh/a	66.236	140.433	455.700	130.737

8.6 Betriebskosten

Betriebskosten					
		PAK in Belebung	PAK in Kontaktbecken	Ozon	GAK
Energiekosten					
Menge/a	kWh/a	66.236	140.433	455.700	130.737
spezifische Kosten pro kWh	Euro/kWh	0,185	0,185	0,185	0,185
Summe Energiekosten	Euro/a	12.253,62	25.980,11	84.304,50	24.186,30
Personalkosten					
Mitarbeiter	MA/a	0,4	0,5	0,4	0,4
Jahreskosten MA	Euro/a	40.000,0	40.000,0	40.000,0	40.000,0
Summe Personalkosten	Euro/a	16.000,00	20.000,00	16.000,00	16.000,00
Wartung / Versicherungen					
Bautechnik (1,0 % vom Invest)	€/a	8.624,0	15.108,0	7.538,5	12.704,5
Maschinentechnik (3,0 % vom Invest)	€/a	24.600,0	27.300,0	13.350,0	20.962,5
Elektrotechnik (5,0 % vom Invest)	€/a	12.300,0	13.650,0	6.675,0	10.480,0
Versicherungen (0,5 % vom Invest)	€/a	9.642,0	13.469,0	6.661,8	10.894,0
Summe Wartung / Versicherungen	€/a	55.166,0	69.527,0	34.225,3	55.041,0
Kosten Sauerstoff (inkl. Miete Lagerbehälter)					
Menge/a	kg O2/a			75.119	
spezifische Kosten pro kg	Euro/kg			0,22	
Summe Kosten Sauerstoff	Euro/a			16.526	
Kosten Aktivkohle					
Menge/a	kg/a	34.803	17.334		66.736
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.500	1.500		1.300
Summe Kosten Aktivkohle	Euro/a	52.205	26.001		86.756
Kosten FHM					
FHM	kg/a	522	347		
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.400	1.400		
Summe Kosten FHM	Euro/a	731	485		
Kosten Fällmittel					
Fällmittel	t Fällmittel /a	87	37		
Menge/a	Euro/t	140	140		
Summe Kosten FHM	Euro/a	12.181	5.200		
Schlammehranfall					
Schlammanfall (TR) FM	t TR/a	30	13		
Schlammanfall (TR) PAK	t TR/a	35	17		
Schlammanfall (TR) AFS	t TR/a	17	17		
spezifische Kosten Entsorgung pro t TR	Euro/t TR	320	320		
Entsorgungskosten	Euro/a	26.450	15.276		
Summe Betriebskosten (netto)	Euro/a	174.986	162.469	151.056	181.983
Summe Betriebskosten (brutto)	Euro/a	208.234	193.338	179.757	216.560

8.7 Jahreskosten Variante 1 und 2

Datenerhebung und Kostenermittlung					
ALLGEMEINES					
Kläranlage				KA Münster-Hiltrup	KA Münster-Hiltrup
Variante				Variante 1	Variante 2
				PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber				Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer				IB Frilling+Röls GmbH, Hydro-Ingenieure GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts				2018	2018
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)				S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN					
Ausbaugröße EW	[E]			30.000	30.000
Anschlussgröße EW	[E]			27.000	27.000
Jahresabwassermenge (JAM)	[m³/a]			1.740.159	1.740.159
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m³/a]			1.740.159	1.733.390
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]			100	99
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m³/h]		Vollstrom		500
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					
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION					
Ozon					
Dosiermengen	mg O ₃ /l				
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					
Eintragungspunkt					
Reaktionsvolumen	m³				
Aufenthaltszeit bei Q _{TW}	min				
Maximale Ozonproduktion	kg O ₃ /h				
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃				
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)					
PAK Kontaktbecken					
Dosiermengen	mg/l				10
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					gravimetrisch
Eintragungspunkt					Kontaktbecken
Reaktionsvolumen	m³				250
Aufenthaltszeit bei Q _{TW}	min				30
Beckentiefe	m				4
Zulauf	l/s				138
PAK Absetzbecken					
Aufenthaltszeit bei Q _{TW}	h				2
Gesamtvolumen	m³				1.000
Oberflächenbeschickung	m/h				2
Polymerdosierung	mg/l				0,2
Fällmitteldosierung	mg Fe/l				3
Granulierte Aktivkohle (GAK)					
Aktivkohlesorte					
Reaktivierungszyklus					
Filtertyp					
Filteranzahl					
Filterfläche je Filter	m²				
Betthöhe	m				
Bettvolumen	m³				
Leerbettkontaktzeit	min				
Filtergeschwindigkeit	m/h				
Spülintervall					
Filterspülgeschwindigkeit	m/h				
Spülluftgeschwindigkeit	m/h				
Aufenthaltszeit	min				

STEUERUNG UND REGELUNG					
Zeitproportional					
Mengenproportional					ja
DOC-proportional					
SAK-proportional					
Gelöstozonkonzentration					
Offgasozonkonzentration					
Rezirkulation					
Druckmessung					
INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN					
Investitionskosten					
Bezugsjahr der Kosten			2017		2017
Bautechnik	[€]		862.400		1.510.800
Maschinentechnik	[€]		820.000		910.000
EMSR Technik	[€]		246.000		273.000
Nebenkosten	[€]		433.900		606.100
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		2.362.300		3.299.900
Betriebskosten					
Energie	[€/a]		12.254		25.980
Personal	[€/a]		16.000		20.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		55.166		69.527
Sauerstoff	[€/a]				
PAK/GAK	[€/a]		52.205		26.001
FHM, FM	[€/a]		12.912		5.686
Transport/ Logistik	[€/a]				
Schlamm Entsorgung	[€/a]		26.450		15.276
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]				
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		174.986		162.469
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)					
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten					
Bezugszeitpunkt			2013		2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-4		-4
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%	0,98025		0,98025
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,88849		0,88849
Preissteigerung PAK		1,0%	0,96098		0,96098
Preissteigerung O2		1,0%	0,96098		0,96098
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,98025		0,98025
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	0,99006		0,99006
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000		1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,96098		0,96098
Investitionskosten					
Bezugsjahr der Kosten			2013		2013
Bautechnik	[€]		845.365		1.480.958
Maschinentechnik	[€]		811.851		900.957
EMSR Technik	[€]		246.000		273.000
Nebenkosten	[€]		425.329		594.128
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		2.328.546		3.249.043
Betriebskosten					
Energie	[€/a]		10.887		23.083
Personal	[€/a]		15.684		19.605
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		54.076		68.154
Sauerstoff	[€/a]		0		0
PAK/GAK	[€/a]		50.167		24.986
FHM, FM	[€/a]		12.408		5.464
Transport/ Logistik	[€/a]				
Schlamm Entsorgung	[€/a]		25.418		14.679
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]				
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		168.641		155.971
Reinvestitionskosten in EURO					
Faktoren LAWA					
Bautechnik	0 [€]		0		0
Maschinentechnik (nach 15 a)	0,66636 [€]		540.983		606.385
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967 [€]		319.251		354.291
Nebenkosten	0 [€]		0		0
Gesamtkosten	[€]		860.234		960.677

Kapitalkosten	Faktoren LAWA			
Bautechnik	0,05102 [€/a]		43.130	75.557
Maschinentechnik	0,05102 [€/a]		69.021	76.903
Elektrotechnik	0,05102 [€/a]		28.839	32.004
Nebenkosten	0,05102 [€/a]		21.700	30.312
Gesamtkosten	[€/a]		162.689	214.777
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	Einheiten			
Jahreskosten gesamt	[€/a]		331.331	370.748
Spez. Jahreskosten je m³ behandeltes Abwasser	[€/ (m³·a)]		0,19	0,21
Spez. Jahreskosten je m³ Frischwasser	[€/ (m³·a)]		#DIV/0!	#DIV/0!
Spez. Jahreskosten je E	[€/ (E·a)]		12,27	13,73

8.8 Jahreskosten Variante 3 und 4

Datenerhebung und Kostenermittlung					
ALLGEMEINES					
Kläranlage				KA Münster-Hiltrup	KA Münster-Hiltrup
Variante				Variante 3	Variante 4
				Ozon	GAK
Auftraggeber				Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer				IB Frilling+Röls GmbH, Hydro-Ingenieure GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts				2018	2018
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)				S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN					
Ausbaugröße EW	[E]			30.000	30.000
Anschlussgröße EW	[E]			27.000	27.000
Jahresabwassermenge (JAM)	[m³/a]			1.740.159	1.740.159
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m³/a]			1.733.390	1.733.390
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]			99	99
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m³/h]			500	500
Frischwassermenge	[m³/a]				
Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[-]		Nein		Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der	[-]				
Bausubstanz	[-]				
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]		Nachreinigungsteich		Nein
Sonstige Anmerkungen					
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION					
Ozon					
Dosiermengen	mg O ₃ /l			5,5	
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung			Tellerdiffusoren		
Eintragungspunkt			Ozonreaktor		
Reaktionsvolumen	m³			2 x 105	
Aufenthaltszeit bei QTW	min			25	
Maximale Ozonproduktion	kg O ₃ /h			2,77	
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃			10	
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)					
PAK Kontaktbecken					
Dosiermengen	mg/l				
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					
Eintragungspunkt					
Reaktionsvolumen	m³				
Aufenthaltszeit bei QTW	min				
Beckentiefe	m				
Zulauf	l/s				
PAK Absetzbecken					
Aufenthaltszeit bei QTW	h				
Gesamtvolumen	m³				
Oberflächenbeschickung	m/h				
Polymerdosierung	mg/l				
Fällmitteldosierung	mg Fe/l				
Granulierte Aktivkohle (GAK)					
Aktivkohlesorte					
Reaktivierungszyklus					
Filtertyp					offene Filtration
Filteranzahl					6
Filterfläche je Filter	m²				9,6
Betthöhe	m				2,25
Bettvolumen	m³				21,6
Leerbettkontaktzeit	min				15
Filtergeschwindigkeit	m/h				9
Spülintervall					
Filterspülgeschwindigkeit	m/h				
Spülluftgeschwindigkeit	m/h				
Aufenthaltszeit	min				15

STEUERUNG UND REGELUNG					
Zeitproportional					
Mengenproportional			ja		
DOC-proportional					
SAK-proportional					
Gelöstozonkonzentration			ja		
Offgasozonkonzentration			ja		
Rezirkulation					
Druckmessung					
INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN					
Investitionskosten					
Bezugsjahr der Kosten			2017	2017	
Bautechnik	[€]		753.850		1.270.450
Maschinentechnik	[€]		445.000		698.750
EMSR Technik	[€]		133.500		209.600
Nebenkosten	[€]		299.800		490.300
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		1.632.150		2.669.100
Betriebskosten					
Energie	[€/a]		84.305		24.186
Personal	[€/a]		16.000		16.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		34.225		55.041
Sauerstoff	[€/a]		16.526		
PAK/GAK	[€/a]				86.756
FHM, FM	[€/a]				
Transport/ Logistik	[€/a]				
Schlamm Entsorgung	[€/a]				
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]				
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		151.056		181.983
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)					
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten					
Bezugszeitpunkt			2013	2013	
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-4		-4
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%	0,98025		0,98025
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,88849		0,88849
Preissteigerung PAK		1,0%	0,96098		0,96098
Preissteigerung O2		1,0%	0,96098		0,96098
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,98025		0,98025
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	0,99006		0,99006
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000		1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,96098		0,96098
Investitionskosten					
Bezugsjahr der Kosten			2013	2013	
Bautechnik	[€]		738.960		1.245.355
Maschinentechnik	[€]		440.578		691.806
EMSR Technik	[€]		133.500		209.600
Nebenkosten	[€]		293.878		480.615
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		1.606.915		2.627.377
Betriebskosten					
Energie	[€/a]		74.903		21.489
Personal	[€/a]		15.684		15.684
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		33.549		53.954
Sauerstoff	[€/a]		15.881		0
PAK/GAK	[€/a]		0		83.371
FHM, FM	[€/a]		0		0
Transport/ Logistik	[€/a]				
Schlamm Entsorgung	[€/a]		0		0
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]				
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		140.018		174.498
Reinvestitionskosten in EURO					
Faktoren LAWA					
Bautechnik	0 [€]		0		0
Maschinentechnik (nach 15 a)	0,66636 [€]		296.529		465.617
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967 [€]		173.252		272.013
Nebenkosten	0 [€]		0		0
Gesamtkosten	[€]		469.781		737.630

Kapitalkosten	Faktoren LAWA			
Bautechnik	0,05102 [€/a]		37.701	63.537
Maschinentechnik	0,05102 [€/a]		37.607	59.051
Elektrotechnik	0,05102 [€/a]		15.650	24.572
Nebenkosten	0,05102 [€/a]		14.993	24.521
Gesamtkosten	[€/a]		105.952	171.680
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	Einheiten			
Jahreskosten gesamt	[€/a]		245.970	346.178
Spez. Jahreskosten je m³ behandeltes Abwasser	[€/(m³·a)]		0,14	0,20
Spez. Jahreskosten je m³ Frischwasser	[€/(m³·a)]		#DIV/0!	#DIV/0!
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		9,11	12,82

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)