

Tiefbauamt



Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

ABSCHLUSSBERICHT

Mai 2017

Verfasser:



Gefördert durch:

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



Auftraggeber:

Stadt Münster - Tiefbauamt

Zum Heidehof 72, 48157 Münster

Unterschrift

Aufgestellt durch:

INGENIEURBÜRO FRILLING+ROLFS GMBH

Beratende Ingenieure VBI

Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik

Rombergstraße 46 – 49377 Vechta

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Schütte

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH

Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung

Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen

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

Bearbeiter: Dipl.-Biol. Doris Schäpers

Dipl.-Ing. (FH) Anna Schusser

Vechta, im Mai 2017

Aachen, im Mai 2017



ppa. M. Schütte

ppa. M. Merten

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Veranlassung	11
1.1	Allgemeines	11
1.2	Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzliche Rahmenbedingungen	14
1.2.1	Umweltqualitätsnormen (UQN).....	15
1.2.2	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)	16
1.2.3	PNEC (predicted no-effect concentration)	16
2	Ermittlung der Grundlagendaten	18
2.1	Beschreibung der Hauptkläranlage Münster	18
2.2	Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik	19
2.3	Beschreibung des Einzugsgebietes der Hauptkläranlage Münster.....	21
2.3.1	Einzugsgebiet der Hauptkläranlage Münster.....	21
2.3.2	Qualität der Vorfluter.....	22
2.3.3	Zustand der Grundwasserkörper.....	26
2.3.4	Landwirtschaft.....	26
2.3.5	Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet.....	28
3	Verfahren zur Spurenstoffelimination	30
3.1	Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle.....	31
3.1.1	Grundlagen der Adsorption	31
3.1.2	Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen	34
3.1.3	Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	36
3.1.4	Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen	40
3.2	Oxidative Verfahren	41
3.2.1	Grundlagen der Oxidation.....	41
3.2.2	Einsatz von Ozon auf Kläranlagen	43
3.3	Membranverfahren	44
3.3.1	Grundlagen der Membrantechnik.....	44
3.3.2	Einsatz von Membranen zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen.....	48
3.4	Sonstige Verfahren	49
3.4.1	AOP Advanced Oxidation Processes	49
3.4.2	Weitere Verfahren.....	49
3.5	Photolyse	50
3.6	Ultraschall	51
3.7	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	51
3.7.1	Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	52
4	Auswertung der Betriebsdaten der Hauptkläranlage Münster	54
4.1	Zulauf der Kläranlage	54
4.2	Belebung.....	56
4.3	Ablauf der Nachklärung	57
4.4	Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe	62
4.5	Untersuchungen der Vorfluter	62

4.5.1	Bisherige Untersuchungen der Vorfluter durch den Betreiber.....	64
4.5.2	Untersuchungen der Vorfluter im Rahmen dieser Studie.....	64
4.6	Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs.....	69
4.6.1	Bisherige Untersuchungen des Kläranlagenablaufs durch den Betreiber.....	69
4.6.2	Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie	70
4.7	Einfluss des Kläranlagenablaufs auf die Vorfluter.....	77
4.8	Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf dem HKW Münster.....	77
5	Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die HKA Münster	79
5.1	Vorauswahl der Behandlungsverfahren	79
5.2	Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe.....	82
5.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	84
5.4	Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte.....	84
5.4.1	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	85
5.4.2	Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	85
5.4.3	Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken.....	87
5.4.4	Variante 3: Ozonbehandlung.....	91
5.4.5	Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration).....	95
5.4.6	Variante 5: Ozonbehandlung mit anschließender GAK-Filtration	97
5.4.7	Auslegung der Flockungsfiltration	98
6	Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	101
6.1	Investitionen.....	101
6.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten.....	103
6.3	Jahreskosten	104
6.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation.....	105
6.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster.....	106
6.6	Finanzierungsmöglichkeiten	110
6.7	Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen	111
7	Anhang A - Untersuchungsergebnisse	112
7.1	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, Juli 2012	112
7.2	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2013	116
7.3	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, August 2013	120
7.4	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2014	124
7.5	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, September 2014.....	126
7.6	Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2015	129
7.7	PERLODES-Untersuchung 2014	132
7.8	Untersuchungsergebnisse Gewässer im Rahmen der Studie.....	134
7.9	Untersuchung des Kläranlagenablaufs auf prioritäre Stoffe, 2011.....	152
7.10	Untersuchung des Kläranlagenablaufs auf prioritäre Stoffe, 2014.....	155
7.11	Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 1. Probenahme.....	161
7.12	Ergebnisse der Analysen im Rahmen der Studie, 2. Probenahme.....	167
8	Anhang B – Investitionen.....	185
8.1	Investitionen Variante 1	185
8.2	Investitionen Variante 2	186

8.3	Investitionen Variante 3	188
8.4	Investitionen Variante 4	190
8.5	Energiebedarf	192
8.6	Betriebskosten	194
8.7	Jahreskosten Variante 1 und 2	195
8.8	Jahreskosten Variante 3 und 4	198
9	Anhang C – Pläne	201
9.1	Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)	201
9.2	Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung).....	201
9.3	Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration)	201

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 V erbundsystem 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. **Christian Götz, Sabine Bergmann, Christoph Ort, Heinz Singer, Robert Kase.** *Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser- Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein- Westfalen.* s.l. : Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), D, 2012.
9. **BIO Intelligence Service.** *Study on the environmental risks of medicinal products, Final report prepared for Executive Agency for Health and Consumers.* 2013.
10. **Umweltbundesamt.** REACH - Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals. *Informationsportal.* [Online] [Zitat vom: 18. September 2015.] <http://www.reach-info.de/>.
11. **Wikipedia.** [Online] [Zitat vom: 30. 11 2015.] https://de.wikipedia.org/wiki/M%C3%BCnster_%28Westfalen%29.
12. **Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** ELWAS-WEB. [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
13. **Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW.** *Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen.* Düsseldorf : s.n., 2016.

14. **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.
15. **Schleswig-Holstein - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume.** *Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein*.
16. **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/>.
17. **Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).** *Obere Ems Ergebnisbericht - Wasserrahmenrichtlinie - Bestandsaufnahme*. 2005.
18. **Rüb, Bernhard (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pressestelle).** Bodennutzung Schöppingen [E-Mail]. 07. Oktober 2015.
19. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Reaktiver Stickstoff in Deutschland - Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen*. 2014.
20. **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.
21. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen*. Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
22. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination*. 2015.
23. **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.
24. **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.

25. **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.
26. **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.
27. **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.
28. **Fraunhofer UMSICHT.** *Vierte Reinigungsstufe: Stand und Ausblick.* [Online] [Zitat vom: 06. Februar 2017.] [http://initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/4-reinigungsstufe.](http://initiative-mikroplastik.de/index.php/themen/4-reinigungsstufe)
29. **Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer.** *Studie - Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp.* 2013.
30. **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.
31. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** *Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen.* 2012.
32. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon.* Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
33. **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.
34. **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.
35. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch.* [Vortrag] Wetzikon : s.n., 2013.
36. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** *Schlussbericht - Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen.* Dresden/Oppin : s.n., 2012.

37. **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.
38. **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.
39. **K. Gantner, H. Lyko.** Ein Filter mit variabler Porengröße: der FuzzyFilter. *Filtrieren und Separieren.* 2012, Bd. 26.4.
40. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.
41. **Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.

1 Einleitung und Veranlassung

1.1 Allgemeines

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

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

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

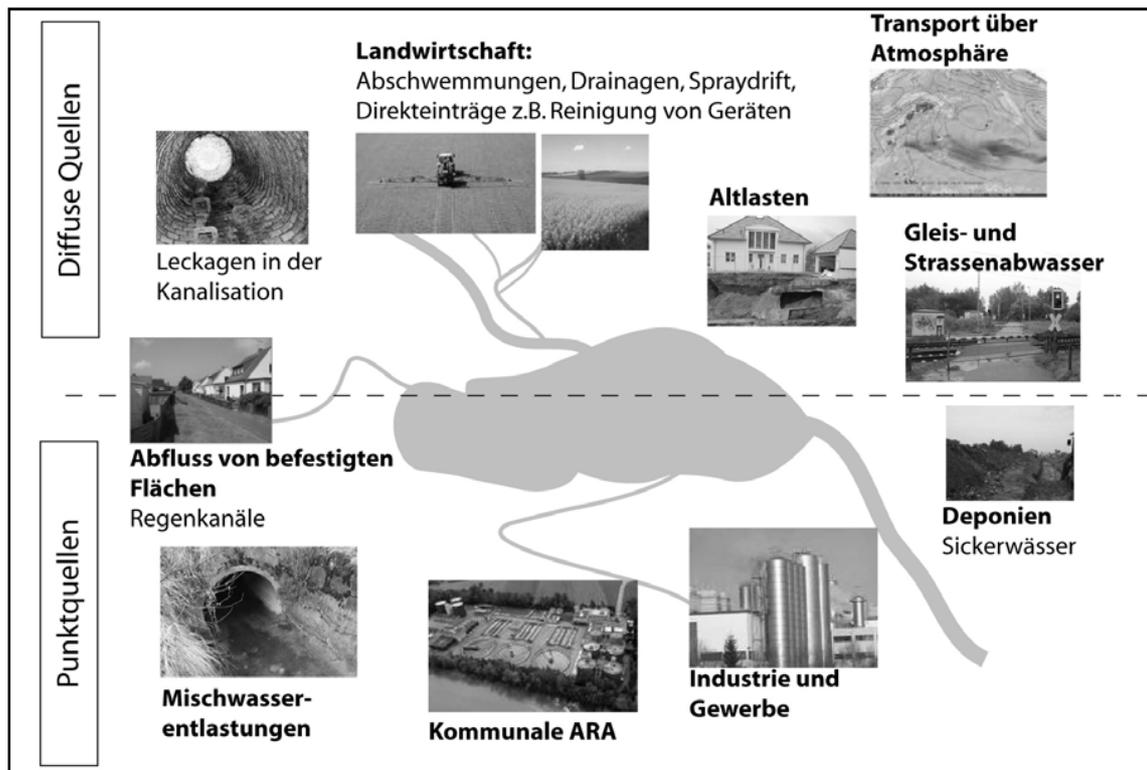


Abbildung 1-1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern (3)

Es zeigt sich, dass es diverse Eintragsquellen für Mikroverunreinigungen gibt. Dabei handelt es sich sowohl um diffuse Eintragsquellen, wie Leckagen in der Kanalisation oder die Landwirtschaft, wo z.B. durch Abschwemmungen von Düngemitteln und Pestiziden Substanzen in die Gewässer gelangen. Kommunale Kläranlagen gehören neben der Industrie zu den nennenswerten punktuellen Eintragsquellen.

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

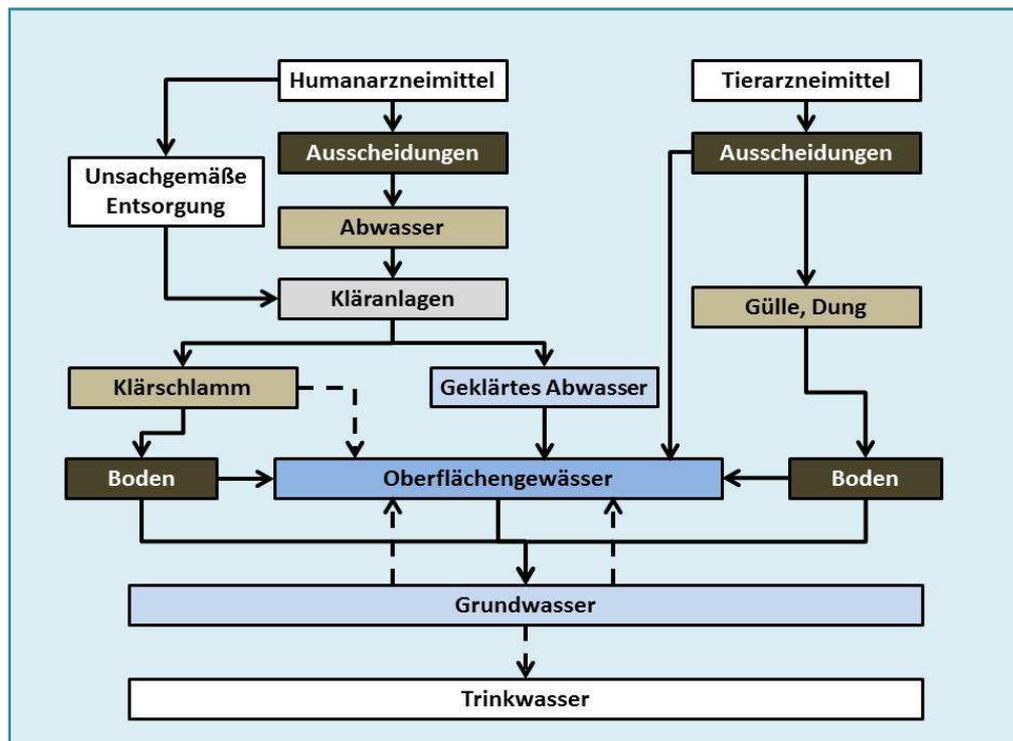


Abbildung 1-2: Haupteintragswege für Human- und Tierarzneimittel (nach (5))

Für viele in Oberflächengewässern nachgewiesene Spurenstoffe konnten Kläranlagenabläufe als Eintragsquelle identifiziert werden. (6) Auch das Positionspapier des Umwelt-Bundesamtes von März 2015 fasst zusammen, dass kommunales Abwasser für eine Reihe von Stoffen einen wichtigen Eintragspfad in die Umwelt darstellt. Zu diesen Stoffen gehören u.a. Diuron und Isoproturon, Nonylphenol, PAK, DEHP sowie die Schwermetalle Nickel, Blei, Quecksilber und Cadmium. (7)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2.1 Umweltqualitätsnormen (UQN)

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

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

Neben den europaweit geregelten Stoffen zur Festlegung des „guten chemischen Zustands“ sind von den EU-Mitgliedstaaten für weitere sogenannte 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 Grundwasserkörpern, aus denen direkt oder indirekt Trinkwasser gewonnen wird oder werden soll, abgeleitet werden“ (2).

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

1.2.3 PNEC (predicted no-effect concentration)

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

Im Rahmen der Registrierung von Stoffen gemäß REACH-Verordnung (Europäische Chemikalienverordnung REACH „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“), für die ein Stoffsi-cherheitsbericht erstellt wird, muss der PNEC bestimmt werden. Im UBA-Informationportal wird die Vor-

gehensweise wie folgt beschrieben: „Gemäß REACH müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender ihre Chemikalien registrieren und sind für deren sichere Verwendung selbst verantwortlich. Die Registrierungsunterlagen werden von den Behörden allerdings nur stichprobenartig inhaltlich überprüft. Ausgewählte Stoffe werden von den Behörden bewertet und ggf. einer Regelung zugeführt. Besonders besorgniserregende Stoffe kommen in das Zulassungsverfahren. Als weitere Regulierungsmöglichkeit sieht REACH das Instrument der Beschränkung vor. Schließlich enthält REACH Bestimmungen zur Informationsweitergabe in der Lieferkette und Auskunftsrechte für Verbraucher“ (10).

2 Ermittlung der Grundlagendaten

Die folgenden Angaben stammen aus dem Genehmigungsentwurf „Prozesswasserbehandlung mit Membrankontraktoren zur Erhöhung der Anschlusskapazität und Stabilisierung der Stickstoffelimination“ des Ingenieurbüros Frilling GmbH vom 20. Juni 2014.

2.1 Beschreibung der Hauptkläranlage Münster

Bei der Hauptkläranlage Münster handelt es sich um eine mechanisch-biologische Anlage. Das Einzugsgebiet der Kläranlage wird im Wesentlichen im Mischsystem entwässert.

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt:

- Ausbaugröße 300.000 EW₆₀
- Tagesabwassermenge ($Q_{T,d}$) 72.600 m³/d
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,h}$) 4.340 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 8.680 m³/h

Zurzeit ist die Anlage mit 280.000 EW belastet. Zukünftig soll die Hauptkläranlage Münster durch den Einsatz von Membrankontraktoren auf eine Ausbaugröße von 335.000 EW ausgebaut werden. Der Ausbau dient dabei zum einen der Stabilisierung der Stickstoffelimination durch eine verbesserte Prozesswasserbehandlung und soll zum anderen auch zukünftig ausreichende Kapazitäten zur Abwasserbehandlung auf der Hauptkläranlage Münster sicherstellen.

Die Zuflussmengen wurden auf der Basis der IST-Belastung von 280.000 EW durch Umrechnung auf 335.000 EW berechnet. Daher sind sie teilweise kleiner als die ursprünglichen Planungsdaten. Sie stellen sich nach dem Ausbau wie folgt dar:

- Tagesabwassermenge ($Q_{T,d}$) 71.083 m³/d
- Trockenwetterzufluss ($Q_{T,h}$) 4.008 m³/h
- Mischwasserzufluss (Q_M) 8.927 m³/h

Die Hauptkläranlage Münster besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe und einer schwachbelasteten Belebungs-kaskade mit simultaner Nitrifikation / Denitrifikation und erhöhter Phosphorelimination im Hauptstromverfahren einschließlich vorgeschaltetem Selektorbecken. Der Belebtschlamm wird im Nachklärbecken vom gereinigten Abwasser abgetrennt und danach in einer anaerob-mesophilen Schlammfäulung mit anschließender maschineller Schlammentwässerung behandelt. Der entwässerte Schlamm wird landwirtschaftlich entsorgt.

Ein vereinfachtes Fließbild der Hauptkläranlage Münster zeigt Abbildung 2-1.

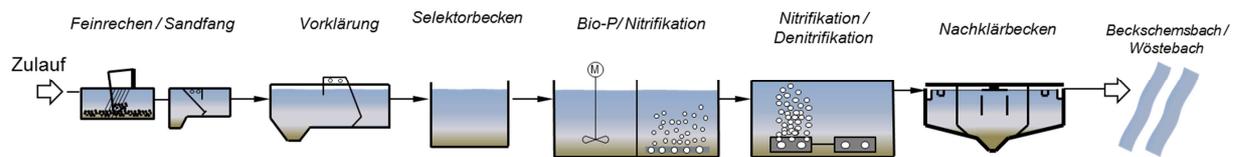


Abbildung 2-1: Vereinfachtes Fließbild der HKA Münster

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

Tabelle 2-1: Überwachungswerte im Ablauf der Hauptkläranlage Münster

Parameter	Einheit	Überwachungswert
CSB	mg/l	60
BSB ₅	mg/l	15
NH ₄ -N*	mg/l	5
N _{anorg.} *	mg/l	13
P _{ges.}	mg/l	1

* gelten ab einer Abwassertemperatur ≥ 12 °C im Ablauf des Bioreaktors

2.2 Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik

Die Hauptkläranlage Münster verfügt in ihrem gegenwärtigen Ausbauzustand über folgende Bauwerke:

- Mechanische Vorreinigung
 - Einlaufbauwerk mit Tosbecken
 - 4 Flach-Feinsiebrechen (Spaltweite 3 mm) mit Rechengutwaschpressen
 - 2 belüftete Sandfänge ($V = 2 \cdot 748 \text{ m}^3$, $A = 240 \text{ m}^2$)
 - 8 Vorklärbecken mit Längsräumer ($V = 8 \cdot 970 \text{ m}^3$; $A = 8 \cdot 421 \text{ m}^2$)
- Biologische Reinigungsstufe
 - 2 Selektorbecken ($V = 2 \cdot 640 \text{ m}^3$)
 - 2 Bio-P-/Anaerobbecken ($V = 2 \cdot 3.110 \text{ m}^3$)
 - 2 Nitrifikationsbecken ($V = 2 \cdot 3.830 \text{ m}^3$)
 - Zwischenpumpwerk mit 5 Förderschnecken ($Q = 5 \cdot 4.340 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - 2 Nitrifikations- und Denitrifikationsbecken ($V = 2 \cdot 22.500 \text{ m}^3$)
 - 5 Nachklärbecken mit Doppel-Rundräumer ($V = 5 \cdot 7.800 \text{ m}^3$)
 - Rücklaufschlammumpwerk mit 4 Förderschnecken ($Q = 4 \cdot 2.650 \text{ m}^3$)
 - Ablaufmengenmessanlage (MID DN 800)

- Schlammbehandlungsanlagen
 - Schlammumpwerk ($Q_{PS} = 2 * 100 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_{ÜS} = 3 * 125 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - Bandeindicker ($Q = 130 \text{ m}^3/\text{h}$)
 - 2 Faulbehälter ($V = 2 * 6.330 \text{ m}^3$)
 - Trockengasbehälter ($V = 500 \text{ m}^3$)
 - 2 Nacheindicker ($V = 2 * 850 \text{ m}^3$)
 - 2 Reaktionsbehälter ($V = 2 * 225 \text{ m}^3$)
 - Maschinelle Schlammwässerung (3 Kammerfilterpressen mit 900 m^2 Filterfläche)
 - Schlammwasserspeicher ($V = 650 \text{ m}^3$)
- Sonstiges
 - 2 Eisensalzanlagen ($V = 2 * 20 \text{ m}^3$)
 - Öllager
 - Rechengebäude
 - Maschinenhaus I und II
 - Schlammwässerungsgebäude
 - Betriebsgebäude
 - AlCl_3 -Dosieranlage ($V = 25 \text{ m}^3$)

Ein Übersichtsplan der Hauptkläranlage Münster ist in Abbildung 2-2 gezeigt.

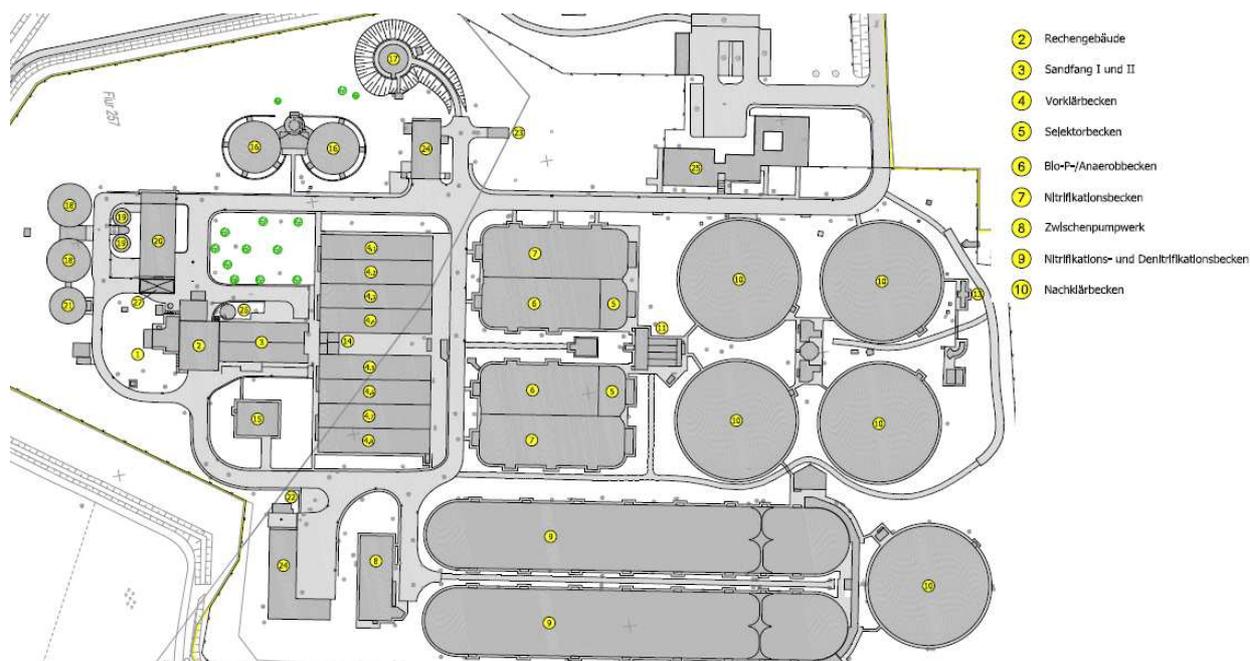


Abbildung 2-2: Übersichtsplan der KA Münster

Das Abwasser passiert die 4-straßige Rechenanlage und gelangt dann in die 2-straßigen Sandfänge, wo die mineralischen Bestandteile durch Sedimentation abgetrennt werden. Nach der mechanischen Vorreinigung gelangt das Abwasser in die aus 8 parallelen Rechteckbecken bestehende Vorklärung. Hier erfolgt eine Teilelimination von CSB, BSB₅, absetzbaren Stoffen sowie Stickstoff- und Phosphorverbindungen.

Der anfallende Bodenschlamm wird mit Hilfe der Schildräumer in die Schlammtrichter an der Stirnseite der Becken geschoben und diskontinuierlich abgezogen. Er wird direkt in die Faulbehälter gefördert.

Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird der 2-straßigen biologischen Stufe – bestehend aus den Selektorbecken, den Bio-P-Becken und Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken – zugeleitet. In den Selektorbecken findet eine Denitrifikation des über den Rücklaufschlamm eingetragenen Nitrats statt. In den anschließenden Bio-P-Becken erfolgt die Rücklösung der Phosphationen, so dass eine erhöhte biologische Phosphorelimination in den Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken möglich ist. Zum Erreichen des angestrebten Betriebsmittelwertes von 0,6 mg P_{ges} / l ist auch eine Simultanfällungsanlage vorhanden.

Die Bio-P-Becken werden nur im Sommer genutzt; im Winter wird das Beckenvolumen zeitweise belüftet und so zur simultanen Nitri- bzw. Denitrifikation verwendet.

Von den Bio-P-Becken fließt das Abwasser über die alten Nitrifikationsbecken zum Zwischenpumpwerk, wo es angehoben und auf die beiden Belebungsbecken aufgeteilt wird. Hier erfolgt die biologische Abwasserreinigung (hochgradiger Kohlenstoffabbau, weitestgehende Stickstoffelimination) nach dem Verfahren der simultanen Nitrifikation/Denitrifikation.

Nach der biologischen Reinigung gelangt das Abwasser zu den 5 Nachklärbecken und wird über die Ablaufmengenmessanlage im freien Gefälle über den Emsableiter in den Beckschembach und den Wöstebach eingeleitet. Der anfallende Primär- und Überschussschlamm wird in zwei Faulbehältern anaerob-mesophil stabilisiert und anschließend mittels Kammerfilterpressen entwässert. Der Schlamm wird derzeit landwirtschaftlich verwertet, soll aber spätestens nach erfolgtem Ausbau (2017) thermisch verwertet werden.

2.3 Beschreibung des Einzugsgebietes der Hauptkläranlage Münster

Die kreisfreie Stadt Münster liegt im Norden von Nordrhein-Westfalen. In Münster leben etwa 302.000 Einwohner auf einer Fläche von ca. 303 km² (11). Die Umgebung um die Stadt Münster ist eher landwirtschaftlich geprägt.

2.3.1 Einzugsgebiet der Hauptkläranlage Münster

Die Hauptkläranlage Münster liegt im Norden der Stadt Münster. Sie leitet zum einen in den Wöstebach ein, der in die Münstersche Aa mündet, und zum anderen in den Beckschembach, der in die Ems mündet. In der Hauptkläranlage Münster werden die Abwässer aus dem alten Stadtgebiet Münster einschließlich der Vororte Gievenbeck, Nienberge, Albachten, Roxel, Handorf, Mariendorf und Sprakel behandelt

(12). Relevante Industrieeinleiter sind nach Angaben des Betreibers u.a. eine Reststoff- und Abfallbehandlungsanlage, ein Pharmahersteller, chemische Labore und Tankstellen. Insgesamt leiten sechs Krankenhäuser, unter anderem das UKM – Zentralklinikum, die UKM – Hautklinik, das Franziskushospital, die Raphaelsklinik Münster GmbH und das Evangelische Krankenhaus Johannisstift Münster, in die Hauptkläranlage Münster ein. Die gesamte Bettenzahl liegt bei 2.870 (13).

2.3.2 Qualität der Vorfluter

Die Hauptkläranlage Münster leitet über den Wöstebach in die Münstersche Aa und über den Beckschembach in die Ems ein (Abbildung 2-3).

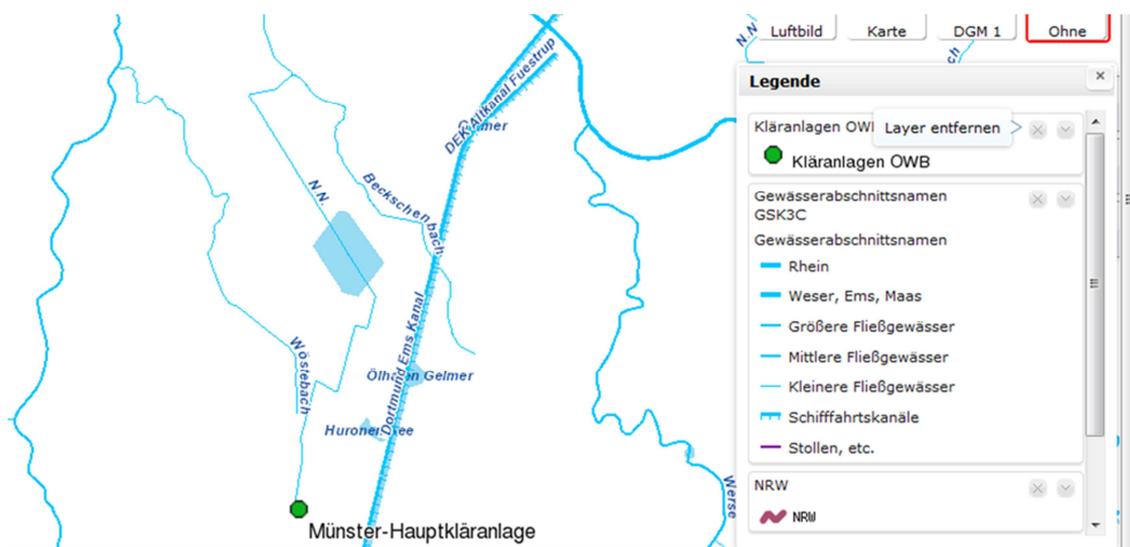


Abbildung 2-3: Einleitsituation Hauptkläranlage Münster (12)

Über die Wasserqualität in Wöstebach und Beckschembach gibt es in (12) keine Daten. Daher werden im folgenden die Münstersche Aa und die Ems betrachtet.

Einige Stoffe, die sogenannten ubiquitären Stoffe, sind in geringen Konzentrationen europaweit in der Umwelt vorhanden. Im Hinblick auf diese Stoffe (zum Beispiel Nitrat und Quecksilber) bestehen u.E. keine realistischen Möglichkeiten auf ein Erreichen der für den guten Gewässerzustand festgelegten Umweltziele.

Betrachtet man den chemischen Zustand der Münsterschen Aa und der Ems ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe, ergibt sich ein „guter“ chemischer Zustand. (Abbildung 2-4). Blau markiert sind die Mündungsstellen von Wöstebach in die Münstersche Aa und Beckschembach in die Ems.

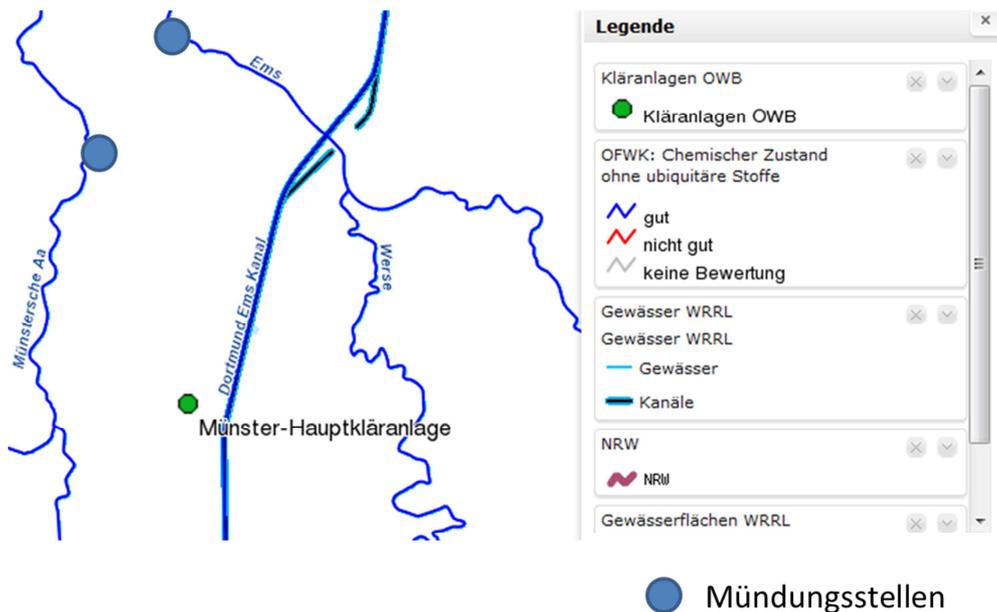


Abbildung 2-4: Chemischer Zustand ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (12)

Berücksichtigt man auch die ubiquitären Stoffe, so ist der chemische Zustand beider Gewässer „nicht gut“. (Abbildung 2-5). Dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Mündungsstellen von Wöstebach und Beckschembach.

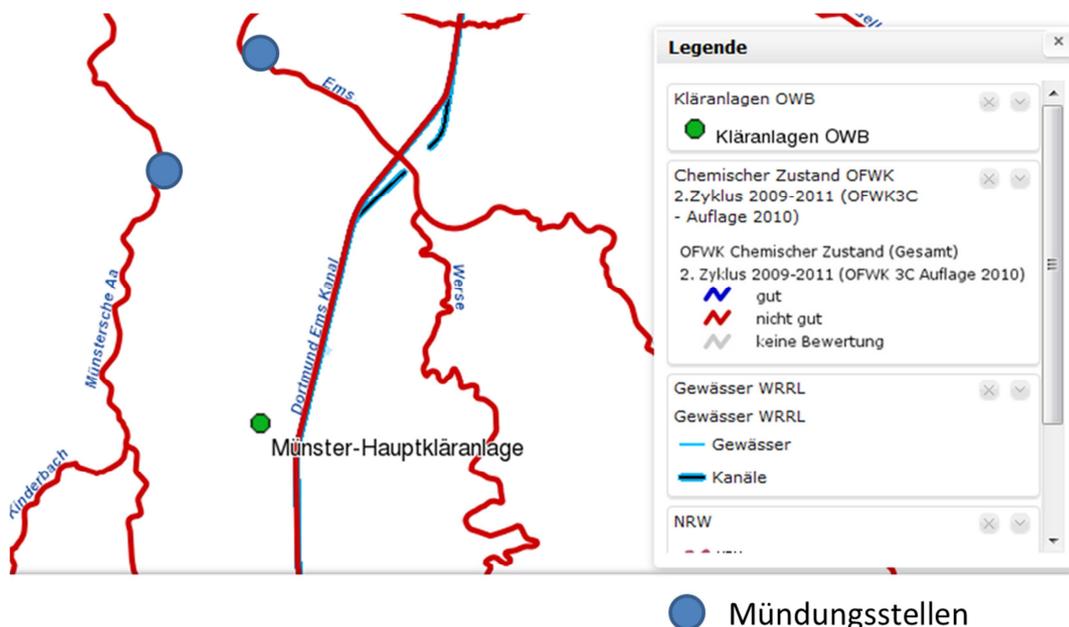


Abbildung 2-5: Chemischer Zustand unter Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (12)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand der Ems und der Münsterschen Aa ist „schlecht“. Auch dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Einmündungsstellen von Wöstebach und Beckschembach (Abbildung 2-6).

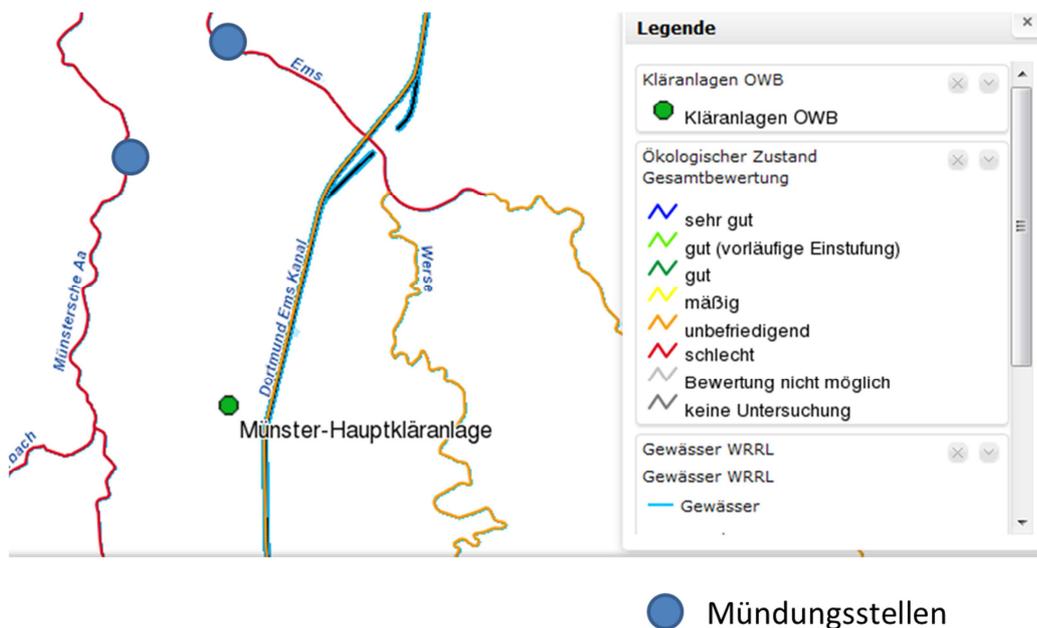


Abbildung 2-6: Ökologischer Zustand von Ems und Münsterscher Aa nahe der HKA Münster (12)

In unmittelbarer Nähe zur Hauptkläranlage Münster liegt das Vogelschutzgebiet „Rieselfelder Münster“, durch das beide Vorfluter hindurch fließen (Abbildung 2-7). Der Ableiter zum Beckschembach liegt außerdem in unmittelbarer Nähe zum Naturschutzgebiet „Gelmerheide“. Die Ems liegt im Bereich der Mündungsstelle des Beckschembaches darüber hinaus im FFH- und Naturschutzgebiet „Emsaue“ (Abbildung 2-8).

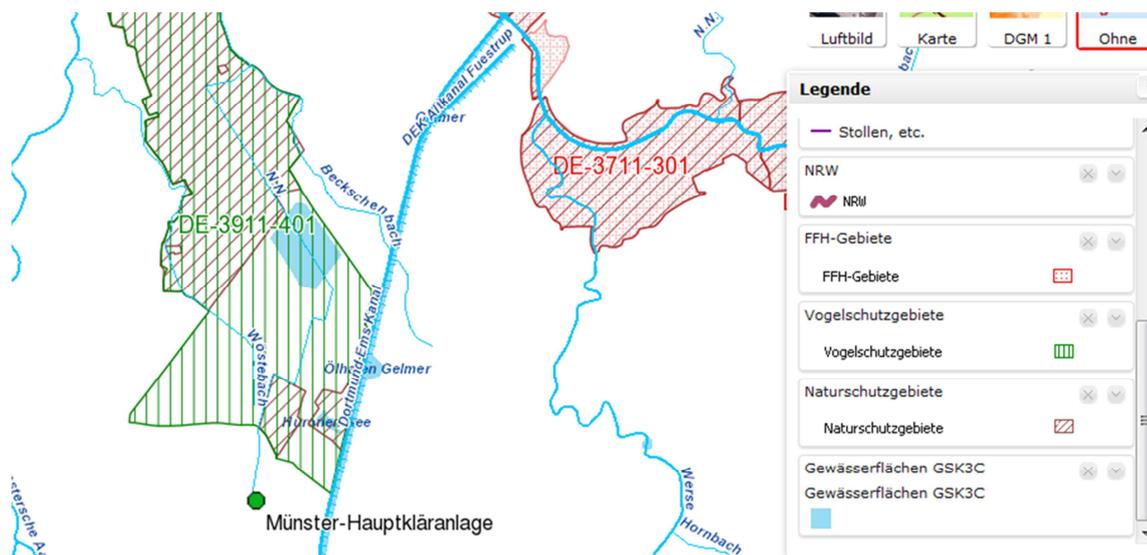


Abbildung 2-7: Natur- und Vogelschutzgebiet (12)

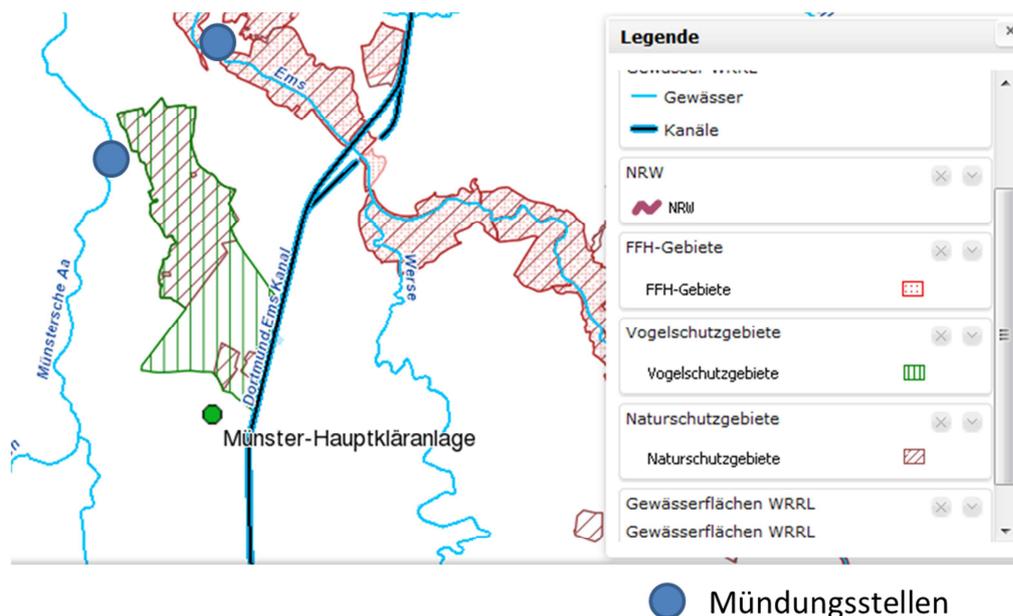


Abbildung 2-8: FFH-Gebiet im Bereich der Mündungsstelle Beckschembach in Ems (12)

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (siehe Abbildung 2-9). 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 (14), PCB oder Nitrat (15), absieht.

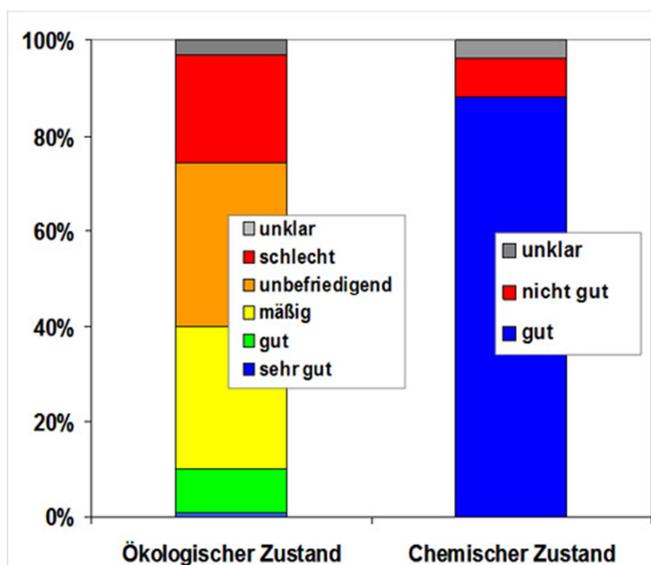


Abbildung 2-9: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (16))

Da keine Pegelmessungen in den Vorflutern Wöstebach und Beckschembach ober- und unterhalb der Einleitungsstellen verfügbar sind, ist eine genaue Aussage über den Anteil des Abwassers der Kläranlage an den Vorflutern nicht möglich. Die beiden Vorfluter Beckschembach und Wöstebach führen jedoch vor der Einleitungsstelle fast kein Wasser, es handelt sich folglich um sehr schwache Vorfluter.

Auch laut dem Obere Ems Ergebnisbericht (17) liegt das Verhältnis von Einleitungsmenge zum MNQ des Vorfluters (der hier als Ems, jedoch mit einem MNQ von 1 l/s angegeben wird) bei 72.504 %.

2.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Die Hauptkläranlage Münster liegt im Bereich des Grundwasserkörpers 3_05 (Niederung der Oberen Ems (Greven / Ladbergen)). Der Grundwasserkörper 3_05 hat eine Fläche von 48.577 ha und liegt fast vollständig in Nordrhein-Westfalen, nur ein Anteil von 3.718 ha liegt in Niedersachsen. Zuständige Stelle ist die Bezirksregierung Münster.

Im Gebiet des Grundwasserkörpers 3_05 sind die Grenzwerte für Cadmium, Nitrat und Ammonium sowie für Pflanzenschutzmittel überschritten. Dadurch wird der Zustand des Grundwasserkörpers mit „schlecht“ beurteilt. (12)

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). (18) 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 in der Umland Münster (nach (18))

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. (18) Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Nutzungsfläche Stadt Münster (nach (18))

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

Nach einer Untersuchung des Bundesumweltamtes wird im Durchschnitt jeder Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche mit 97 kg Stickstoff überdüngt. (19) Unter der Annahme, dass dieser Wert auch in der Stadt Münster angesetzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Überdüngung von rund 1.077.569 kg_N/a. Im Vergleich dazu leitet die Hauptkläranlage Münster im Schnitt jährlich insgesamt etwa 72.252 kg_N in die beiden Vorfluter ein (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Stickstoffeinträge im Vergleich

Stickstoffeinträge pro Jahr		
<i>Landwirtschaft</i>		
Landwirtschaftlich genutzte Fläche ¹⁾	ha	11.109
Überdüngung	kg _N /ha	97
N-Eintrag	kg	1.077.569
<i>Kläranlage</i>		
Durchschnittliche Ablaufmenge / Jahr	m ³	19.215.851
Durchschnittlicher N _{anorg} -Gehalt Abwasser	mg/l	3,76
Durchschnittliche Jahresfracht N _{anorg}	kg	72.252
¹⁾ ohne Dauergrünland		

In Abbildung 2-10 ist die Verteilung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser in Nordrhein-Westfalen gezeigt. Hohe Einträge ins Grundwasser werden durch hohe Stickstoffüberschüsse verursacht. Der Stickstoffüberschuss im Münsterland liegt dabei über dem Bundesdurchschnitt. Auch wenn nur ein geringer Anteil des durch die Landwirtschaft ausgebrachten Stickstoffüberschusses tatsächlich in die Gewässer gelangt, ist in landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit einem Eintrag von Stickstoff in die Gewässer zu rechnen. Das Umweltbundesamt empfiehlt, den Stickstoffüberschuss drastisch bis auf 50 kg N/(ha*a) bis zum Jahr 2040 zu verringern (19).

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

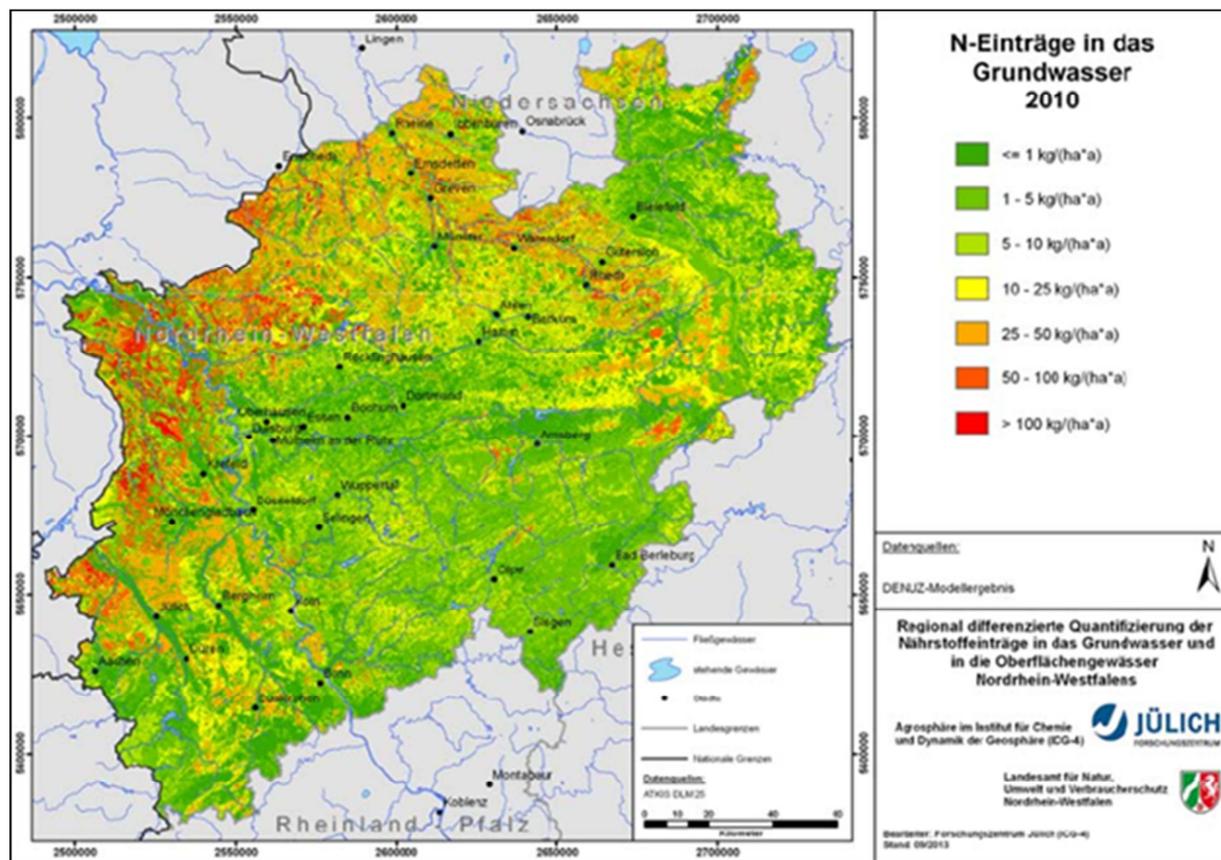


Abbildung 2-10: Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der Landesfläche (NRW) (20)

2.3.5 Abschätzung relevanter Spurenstoffe im Einzugsgebiet

Wie in Kap. 2.3.1 ausgeführt, sind im in der Hauptkläranlage Münster behandelten Abwasser keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch die einleitenden Krankenhäuser und Kliniken wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen, Desinfektions-, Reinigungs- und Röntgenkontrastmitteln erwartet.

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

Der Eintrag verschiedener Stoffe in die Vorfluter Wöstebach und Beckschembach wird im wesentlichen durch das eingeleitete Wasser von der Hauptkläranlage Münster verursacht. Andererseits wird auch durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen ein Eintrag in die Vorfluter verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Aus-
trag von Gülle in der Landwirtschaft.

3 Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

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

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

Ein Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser muss dabei folgenden Anforderungen genügen (21):

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.

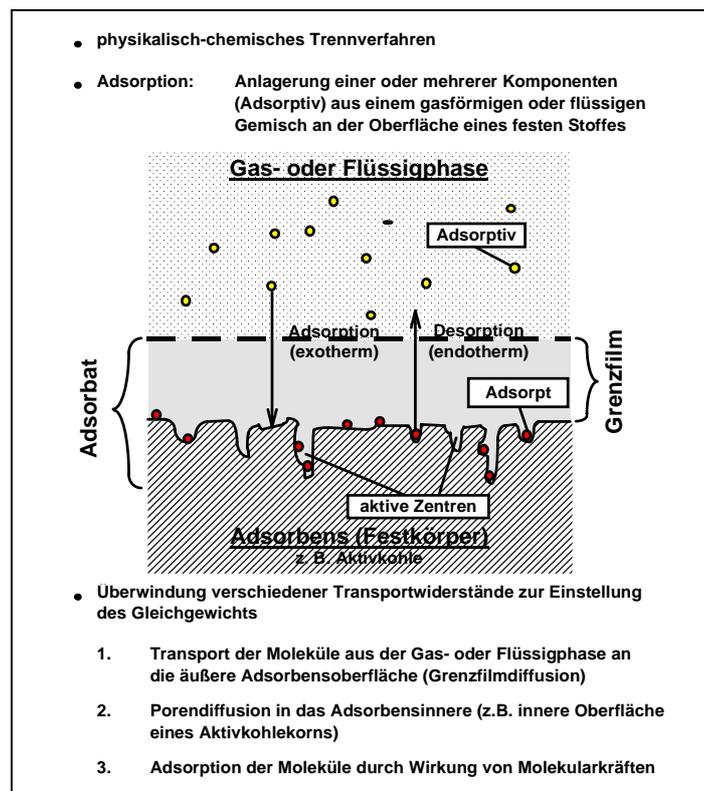


Abbildung 3-1: Grundlagen der Adsorption

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.

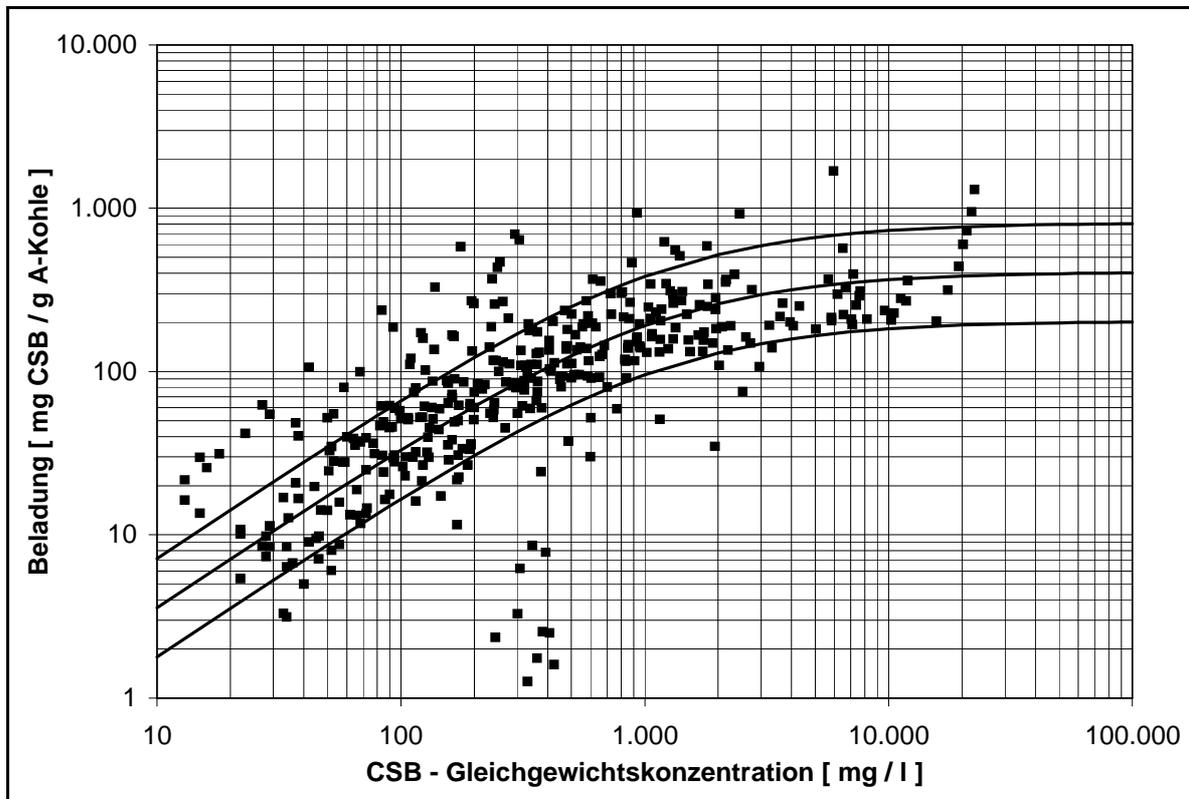


Abbildung 3-2: Adsorptionsisothermen für den Parameter CSB

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.

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 reststofffreies Verfahren, da die beladene Kohle nach Reaktivierung erneut für den Adsorptionsprozess zur Verfügung steht.

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

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

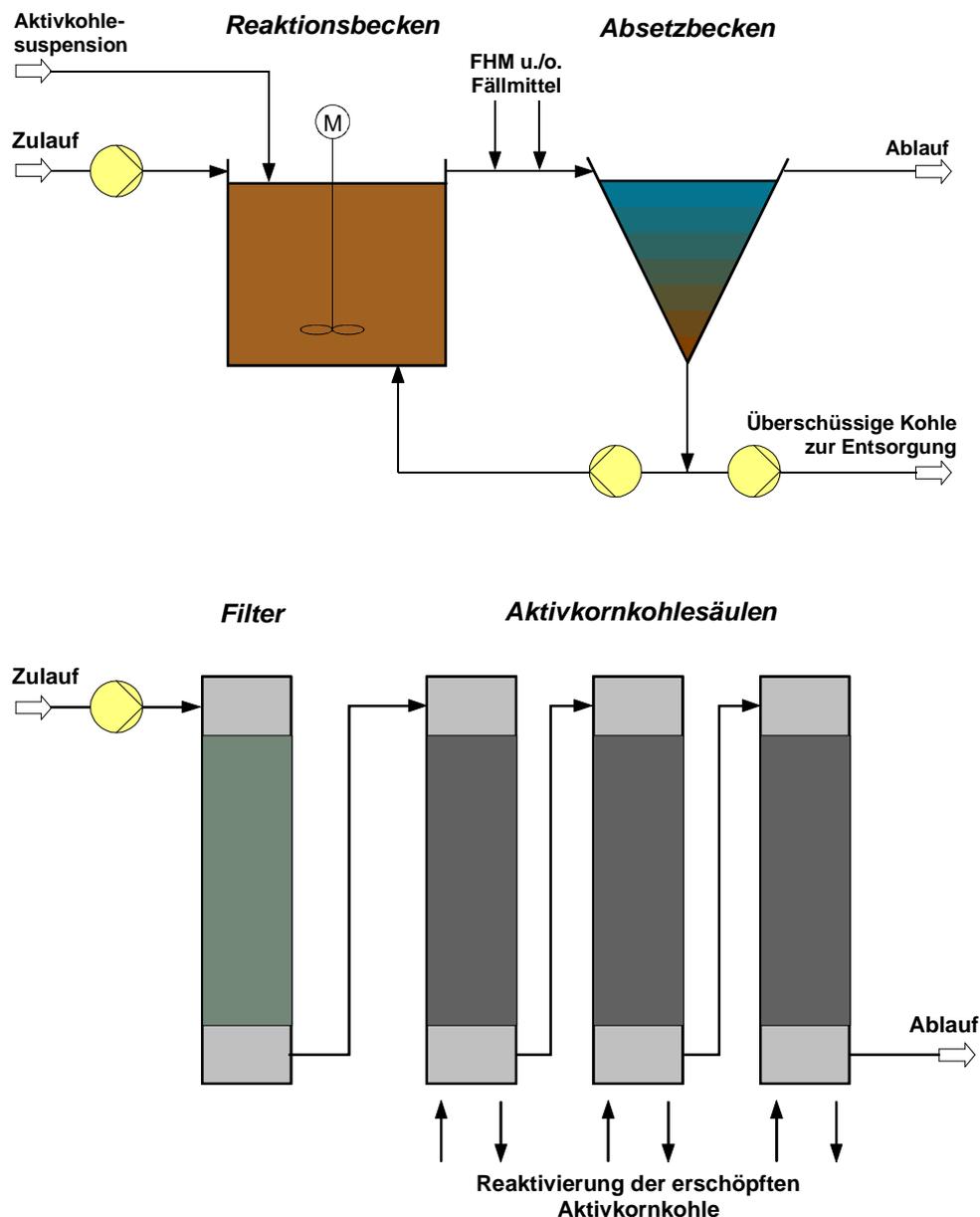


Abbildung 3-3: Verfahrensprinzip Aktivkohleadsorption

3.1.3 Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

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

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

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

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

Wichtig ist die vollständige Trennung von eindosierter Pulveraktivkohle und gereinigtem Abwasser im Anschluss an die Adsorption der Mikroschadstoffe. Die Aktivkohle selber hat dabei voraussichtlich keine negativen Auswirkungen auf die Gewässer, jedoch ist sie mit den Mikroschadstoffen beladen, die nicht ins Gewässer gelangen sollen. Um eine möglichst vollständige Abtrennung der Pulveraktivkohle zu erreichen, werden in der Regel Fällmittel und Flockungshilfsmittel (FHM) zudosiert, um die PAK besser abcheiden 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. (21)

3.1.3.1 Einmischen der Pulveraktivkohle in die biologische Stufe

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

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

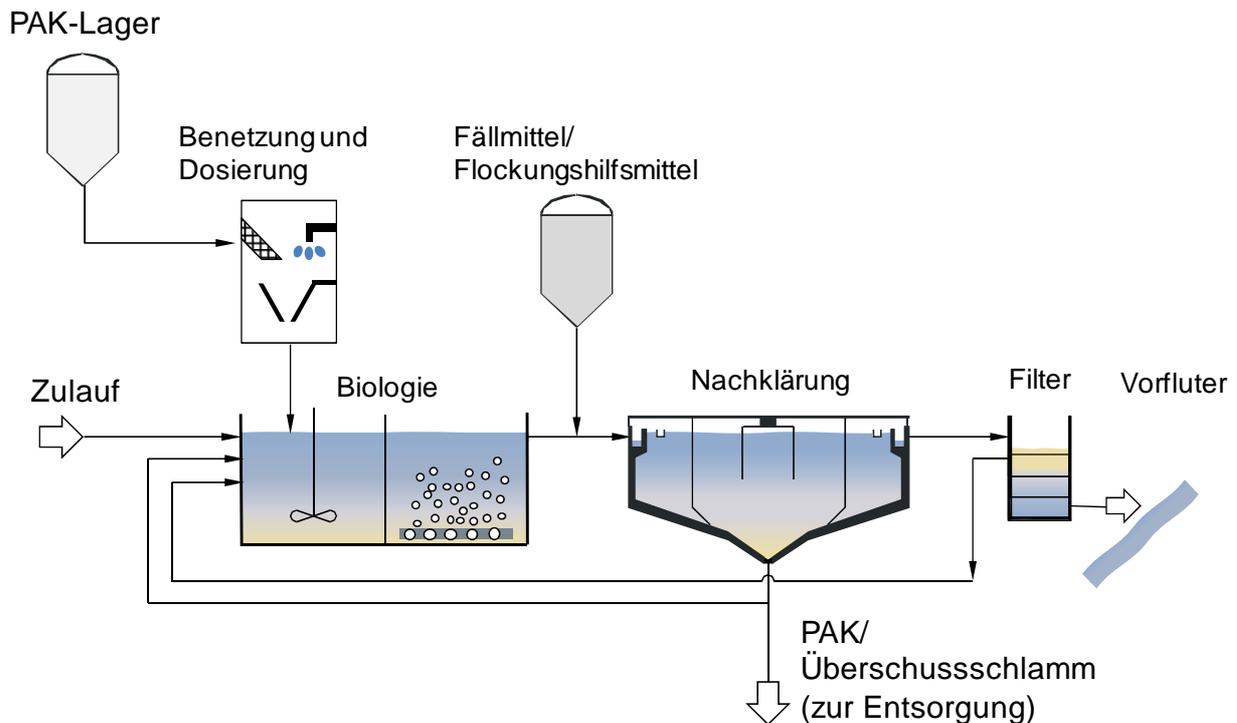


Abbildung 3-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung

3.1.3.2 Dosierung von Pulveraktivkohle in ein separates Kontaktbecken

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

Belebung entnommen werden. Eine Regeneration der Kohle wird nicht durchgeführt. Eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes ist bei diesem Konzept nicht möglich.

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

Untersuchungen in Baden-Württemberg konnten zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg PAK/l die gut adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie Carbamazepin und Metoprolol, zu 80 % eliminiert werden können. (22)

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

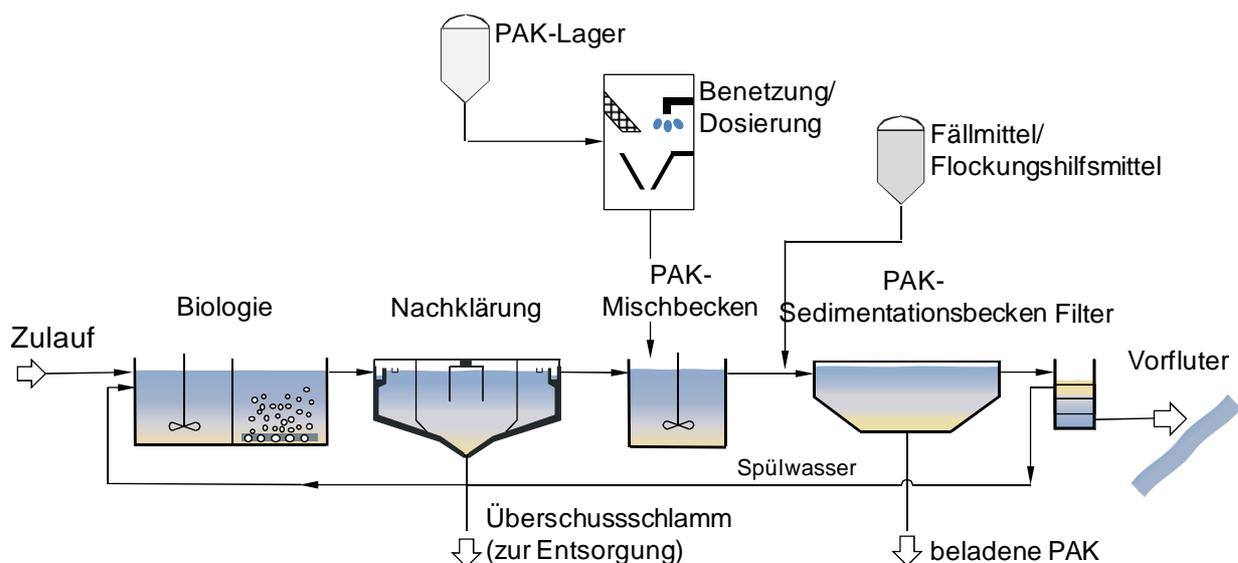


Abbildung 3-5: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken

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 (23), (24).

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).

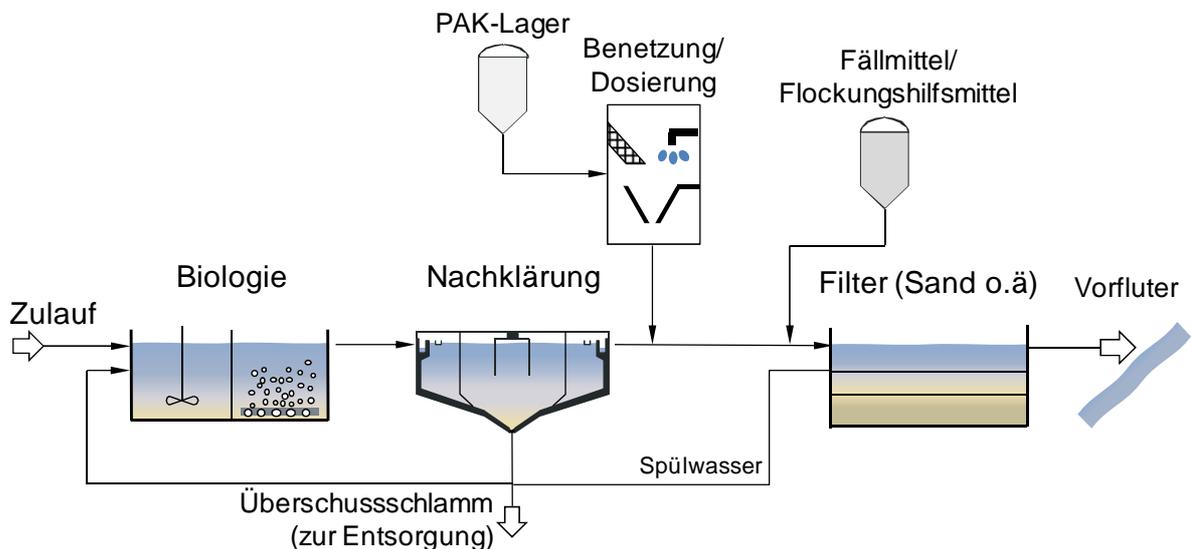


Abbildung 3-6: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum

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

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

Frische Kohle weist eine sehr hohe Adsorptionsfähigkeit auf, mit zunehmender Laufzeit nimmt diese ab. Die Durchbruchzeiten sind für verschiedene Stoffe sehr unterschiedlich, so dass sich u.U. sehr geringe Standzeiten der Filter ergeben können. In der Sickerwasserreinigung ist es deshalb üblich mehrere Aktivkohlefilter hintereinander zu schalten und rollierend zu betreiben. Auf kommunalen Kläranlagen sind die Wassermengen jedoch wesentlich höher und dynamischer, so dass der Betrieb mehrerer Filter in Reihe voraussichtlich nicht darstellbar ist. Ein Maß für die Standzeit eines Filters ist das „durchgesetzte Bettvolumen“, das auch abgekürzt als BVT (bed volume treated) bezeichnet wird. Die BVT geben an, wie oft ein Reaktorvolumen von der gleichen Volumenmenge Abwasser durchfahren werden kann bevor es ausgetauscht werden muss. Die zurzeit vorliegenden Erfahrungen zeigen eine deutliche Spannweite der erzielbaren Bettvolumina, die zwischen 3.000 – 15.000 m³ schwanken (22). 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 (25) 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 (26). 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 (26). Daher sollten hohe AFS-Gehalte evtl. durch eine vorgeschaltete Filtration vermieden werden.

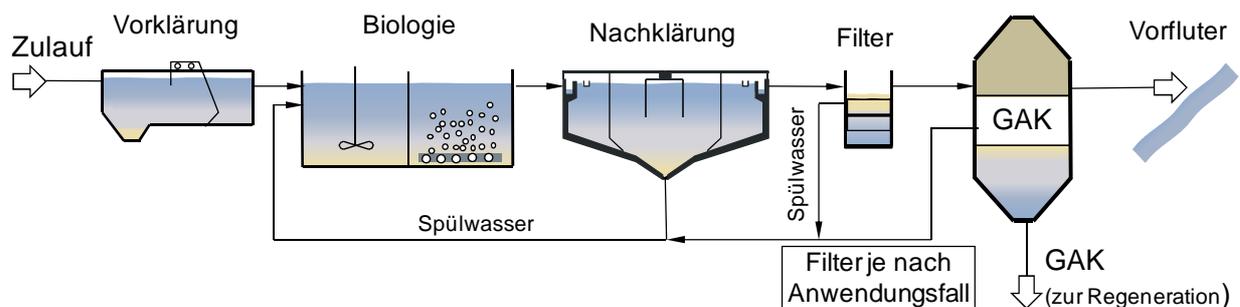


Abbildung 3-7: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter

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 O_2^- -/ 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 O_2^- -/ 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 atomarem Sauerstoff fördert.

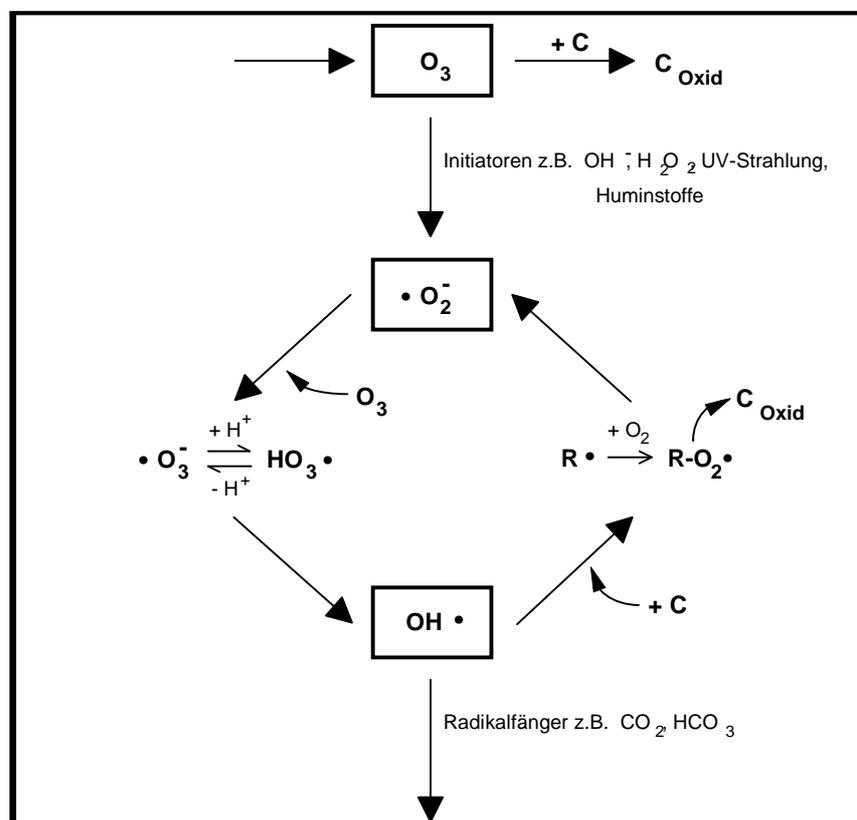


Abbildung 3-8: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

Viele Mikroverunreinigungen enthalten Doppelbindungen oder funktionelle Gruppen, die durch Ozon oxidiert (umgewandelt) werden können. Ozon wird seit Jahrzehnten für die Desinfektion und zur Elimination von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt. Es reagiert einerseits mit den Mikroverunreinigungen, aber auch mit der organischen Hintergrundmatrix (DOC) und anderen anorganischen Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Nitrit).

3.2.2 Einsatz von Ozon auf Kläranlagen

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

Da durch die Behandlung mit chemischen Oxidationsmitteln aus langkettigen, schwer abbaubaren Stoffen kurzkettige und leicht abbaubare Stoffe entstehen, bevor sie durch weitere Oxidationsmittelzugabe vollständig mineralisiert werden, ist eine Nachbehandlung in Form einer biologisch aktiven Filtration oder eines GAK-Filters hinter der Ozonung erforderlich. Durch eine biologisch aktive Nachbehandlung (z.B. durch eine Sandfiltration oder ein Wirbelbett) können die meisten Transformationsprodukte eliminiert werden. Dies gilt jedoch nicht für die aus tertiären Aminen entstehenden N-Oxide. Diese können nur mit Hilfe von Aktivkohle (nachgeschalteter GAK-Filter) entfernt werden. (27)

3.2.2.1 Apparative Ausführung der Ozonierung für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen

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

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

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

Um die Gefährdung des Betriebspersonals zu minimieren, muss nicht nur sichergestellt werden, dass kein Ozon aus dem Abwasser in die Umgebung austritt, sondern auch, dass die Raumluft im Maschinen-

haus, wo der Ozongenerator aufgestellt ist, auf das eventuelle Auftreten einer Ozonkonzentration überwacht wird.

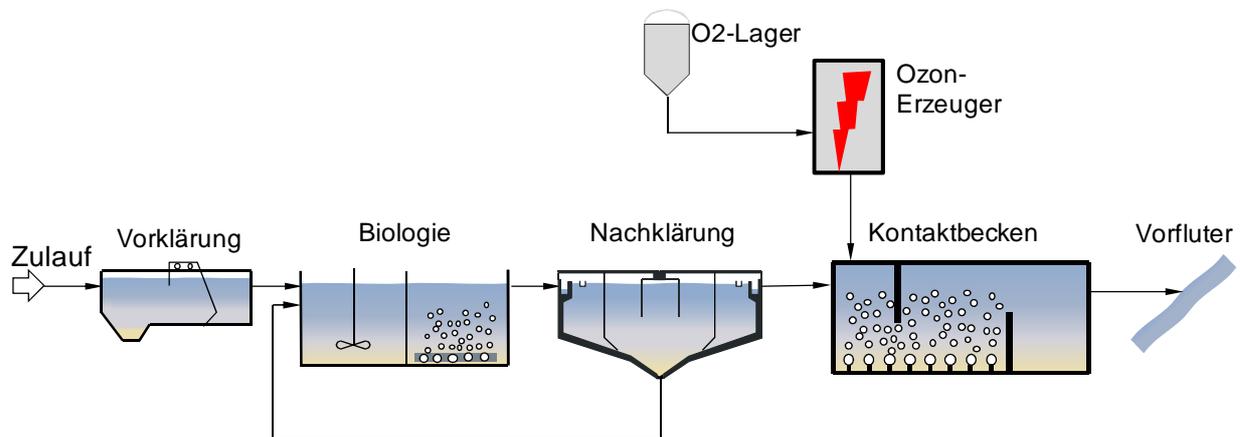


Abbildung 3-9: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung

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

3.3 Membranverfahren

3.3.1 Grundlagen der Membrantechnik

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

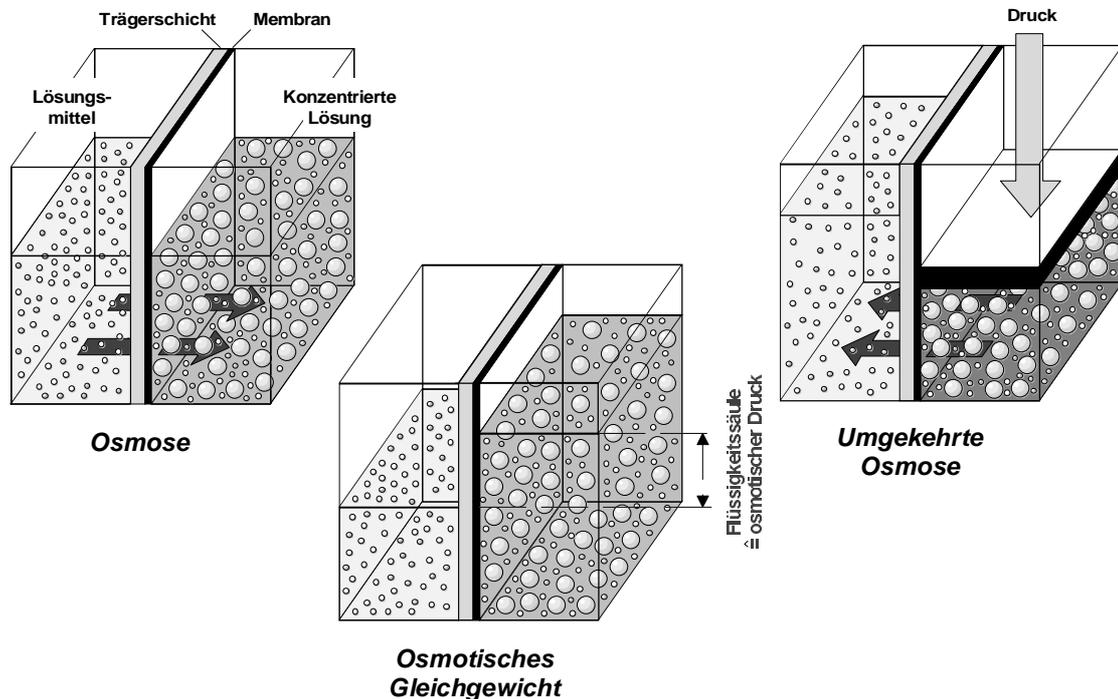


Abbildung 3-10: Osmose und Umkehrosmose -

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

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

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

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

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

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

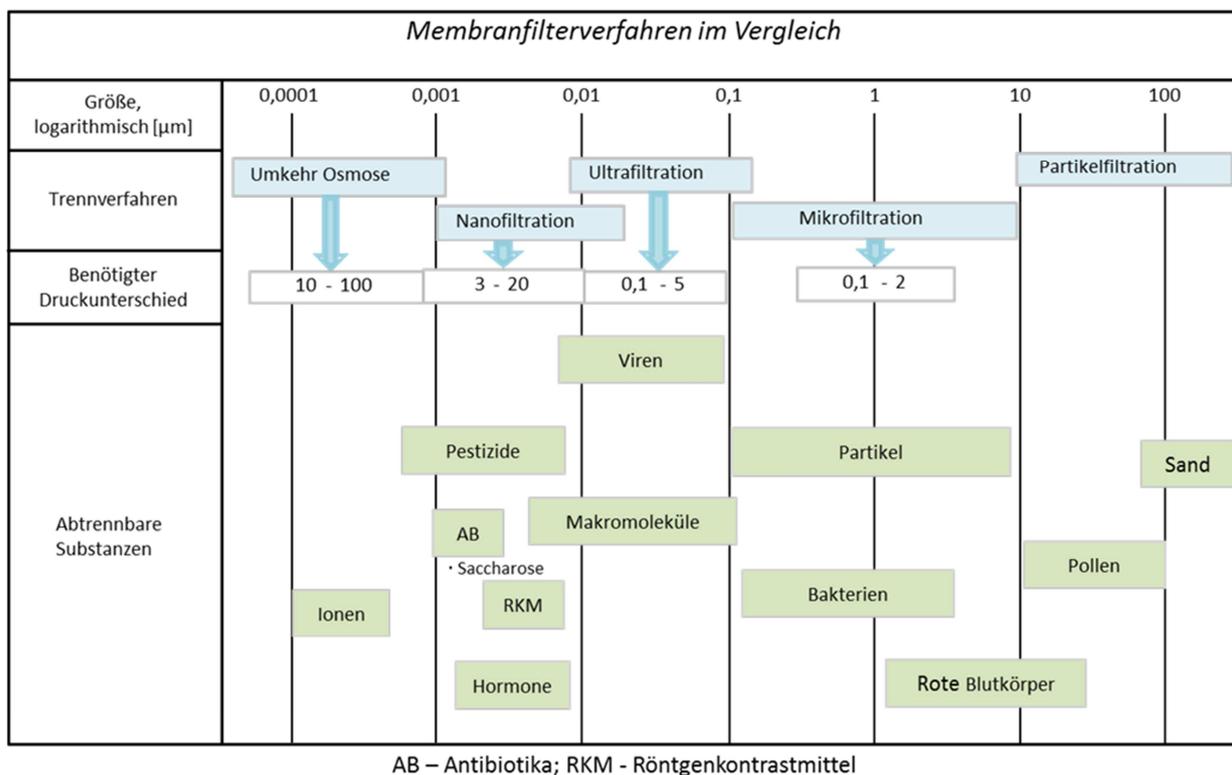


Abbildung 3-11: Membranfiltrationsverfahren im Vergleich

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

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

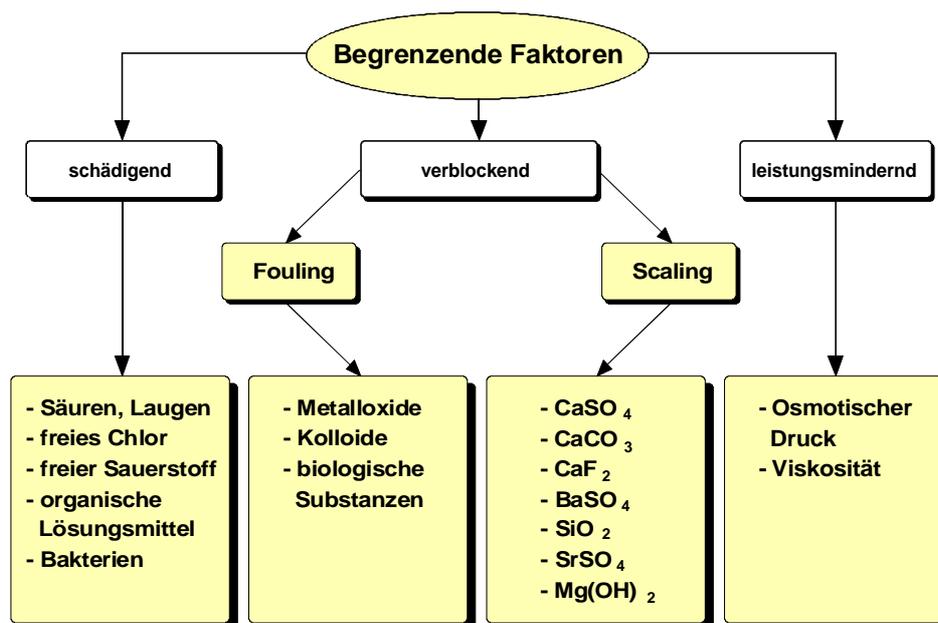


Abbildung 3-12: Begrenzende Faktoren

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 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 (OH^\cdot). OH-Radikale müssen vor Ort (im Wasser) erzeugt werden und können nicht gelagert werden. Sie sind hoch reaktiv und reagieren mit praktisch allen organischen Stoffen, d. h. mit Mikroverunreinigungen, aber auch mit Hintergrund-DOC sowie mit einigen anorganischen Verbindungen. Die angegriffenen Substanzen werden wie bei der Ozonung in der Regel nicht zu CO_2 mineralisiert, sondern transformiert, wobei unbekannte Reaktionsprodukte entstehen. Aufgrund der hohen Reaktivität der Radikale ist eine gute Vorreinigung des Abwassers notwendig, damit die Radikale möglichst effizient mit den Mikroverunreinigungen reagieren können.

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

3.4.2 Weitere Verfahren

3.4.2.1 Ferrat

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

Anwendung von Ferrat wurde zunächst im Labormaßstab getestet, wobei diese Versuche vielversprechend verliefen. Ferrat kann, ähnlich wie Pulveraktivkohle, in die Belebung oder in eine eigene Behandlungsstufe dosiert werden. Bei der Dosierung in die Belebung ist eine höhere spezifische Dosiermenge notwendig. Die chemische Reaktivität ist etwas geringer als beim Ozon. Da Ferrat bislang nicht im industriellen Maßstab hergestellt wird, sind die Kosten relativ hoch. Die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit muss in der kommenden Zeit noch genauer untersucht werden. (21)

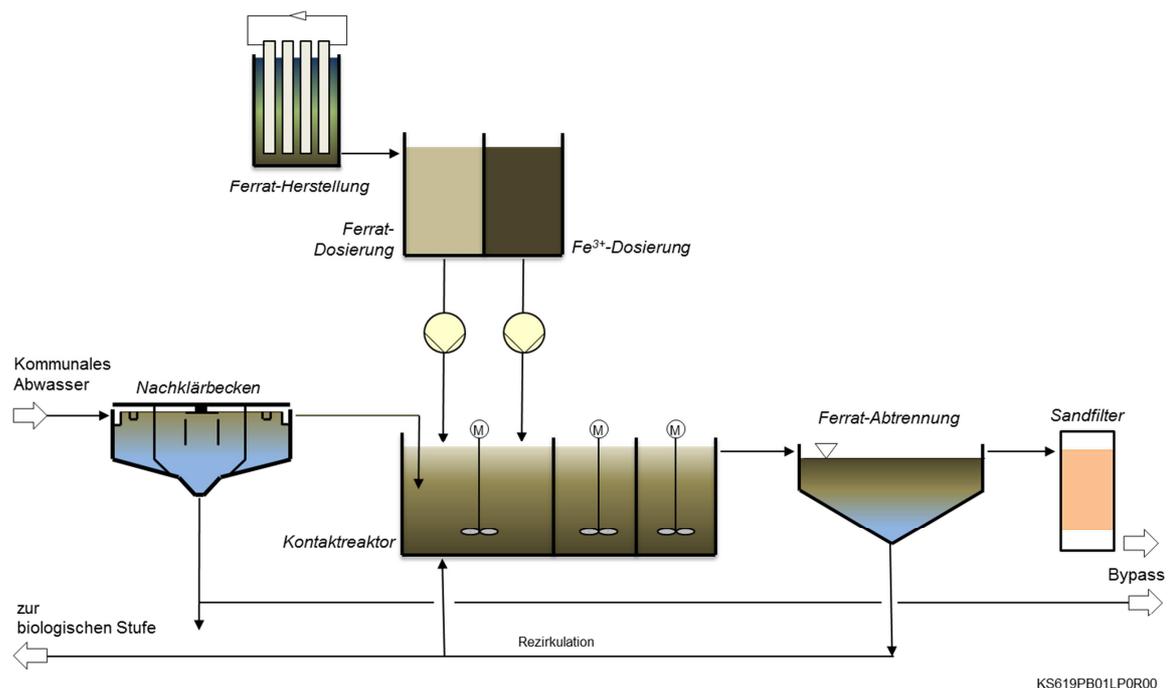


Abbildung 3-13: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Spurenstoffelimination (nach (21))

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. (21)

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. (21)

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. (21)

3.7 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen

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

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

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

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

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

Nach heutigem Kenntnisstand ist insbesondere der Einsatz von Aktivkohle oder Ozon für eine weitergehende Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet und auch in bestehende Anlagen integrierbar. Sowohl die Behandlung des Abwassers mit Aktivkohle als auch mit Ozon erwies sich in Pilotversuchen und in der Großtechnik als geeignet, eine große Zahl von Mikroverunreinigungen weitgehend aus dem Abwasser zu entfernen. Daneben wurde nachgewiesen, dass nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen (z.B. Hormonaktivität) verringert werden (21). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenen Spurenstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die ursprünglichen Spurenstoffe sie aufweisen. Für diese Transformationsprodukte muss sichergestellt sein, dass sie nicht mit dem gereinigten Abwasser in den Vorfluter eingeleitet werden. 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). (27)

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 (25). Nach einem aktuellen Review der Untersuchungen halb- und großtechnischer Anlagen (26) 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 (26).

3.7.1 Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

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

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

KA Bad Sassendorf: Ozonung

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

In den kommenden Jahren werden mit den jetzt schon in Betrieb befindlichen Anlagen und mit den momentan im Bau befindlichen Anlagen weitergehende Betriebserfahrungen gesammelt, die für eine Optimierung der oben genannten Verfahren genutzt werden können.

Mit fortschreitender technologischer Entwicklung und weiteren Betriebserfahrungen werden in Zukunft möglicherweise weitere Verfahren zur Verfügung stehen.

4 Auswertung der Betriebsdaten der Hauptkläranlage Münster

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

4.1 Zulauf der Kläranlage

Die Tageszulaufmengen für die Jahre 2012 bis 2014 sind in Abbildung 4-1 gezeigt. Die mittlere Zulaufmenge pro Tag beträgt etwa 52.600 m³/d.

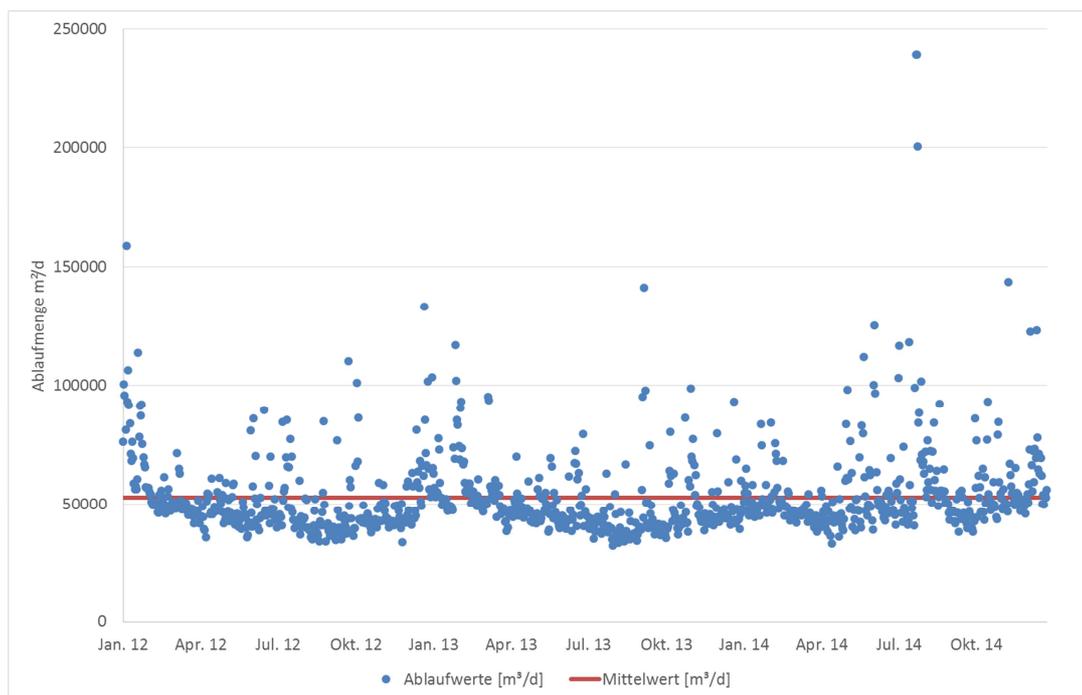


Abbildung 4-1: Tageszulaufmengen der Hauptkläranlage Münster 2012 – 2014

In Tabelle 4-1 sind die Schmutzfrachten im Zulauf der Hauptkläranlage Münster sowie die aus dem bemessungsrelevanten 85 %-Perzentil ermittelten angeschlossenen Einwohnerwerte [EW] für die Jahre 2012 bis 2014 zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Tagesschmutzfrachten und Einwohnerwerte der HKA Münster, 2012 - 2014

2012			
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil
Einheit	kg/d	kg/d	EW
BSB ₅	13.761	17.707	295.118
CSB	30.481	38.406	320.051
N _{ges}	3.399	3.917	356.128
P _{ges}	564	714	396.727
2013			
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil
Einheit	kg/d	kg/d	EW
BSB ₅	12.816	16.149	269.150
CSB	28.724	34.379	286.495
N _{ges}	3.187	3.759	341.722
P _{ges}	464	606	336.486
2014			
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil
Einheit	kg/d	kg/d	EW
BSB ₅	12.986	16.339	272.318
CSB	27.857	38.387	319.889
N _{ges}	3.474	4.247	386.109
P _{ges}	495	602	334.699

Die Hauptkläranlage Münster ist im Vergleich zu ihrer Ausbaugröße von zurzeit 300.000 EW in Bezug auf den bemessungsrelevanten Parameter BSB₅ und auch in Bezug auf die ermittelten Einwohnerwerte für den CSB zu 90 bis 107 % ausgelastet. Die Einwohnerwerte der Parameter CSB und BSB₅ liegen nah beieinander, was auf einen hohen Anteil kommunalen Abwassers schließen lässt. Die ermittelten Einwohnerwerte für die Parameter N_{ges} und P_{ges} liegen im Bereich der zukünftigen Ausbaugröße von 335.000 EW oder darüber.

4.2 Belebung

Auf der Hauptkläranlage Münster wird eine zweistraßige biologische Reinigung, bestehend aus Selektorbecken (2 x 640 m³), Bio-P-Becken (2 x 3.110 m³), Nitrifikationsbecken (2 x 3.830 m³) und den großen Nitri-/Denitrifikationsbecken (2 x 22.500 m³), betrieben. Die Abtrennung des Belebtschlammes vom gereinigten Abwasser erfolgt in 5 horizontal durchströmten Nachklärbecken.

Das Schlammvolumen und der Trockensubstanzgehalt sind in Abbildung 4-2 gezeigt. Der Trockensubstanzgehalt liegt recht konstant bei im Mittel 4,0 g/l. Das Schlammvolumen unterliegt in den Jahren 2012 und 2013 stärkeren Schwankungen (maximal: 720 ml/l, minimal: 180 ml/l). Der Mittelwert beträgt 447 ml/l.

Der aus dem Schlammvolumen und dem Trockensubstanzgehalt berechnete Schlammindex (Abbildung 4-3) unterliegt den gleichen Schwankungen wie das Schlammvolumen.

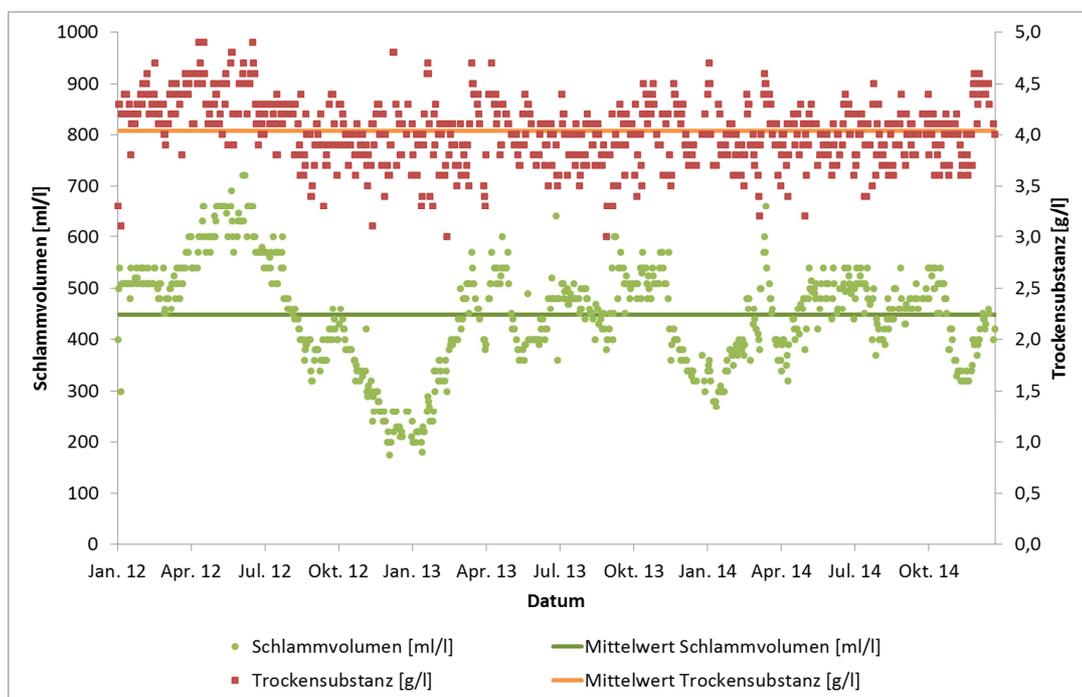


Abbildung 4-2: Schlammvolumen und Trockensubstanzgehalt

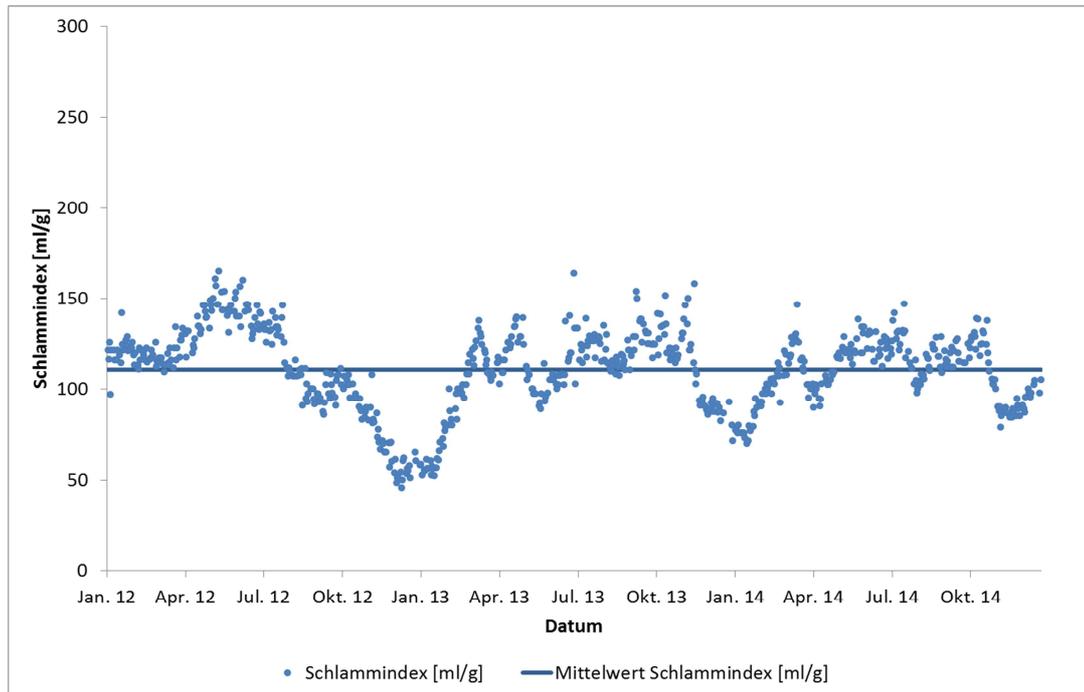


Abbildung 4-3: Schlammindex

Der Verlauf des Schlammindex mit Werten von 50 bis 160 ml/g weist auf einen normalen gewerblichen Abwassereinfluss hin.

4.3 Ablauf der Nachklärung

In Abbildung 4-4 ist die CSB-Konzentration im Ablauf der Hauptkläranlage Münster in den Jahren 2012 bis 2014 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 29 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 43 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 60 mg/l wird von der Hauptkläranlage Münster sicher eingehalten.

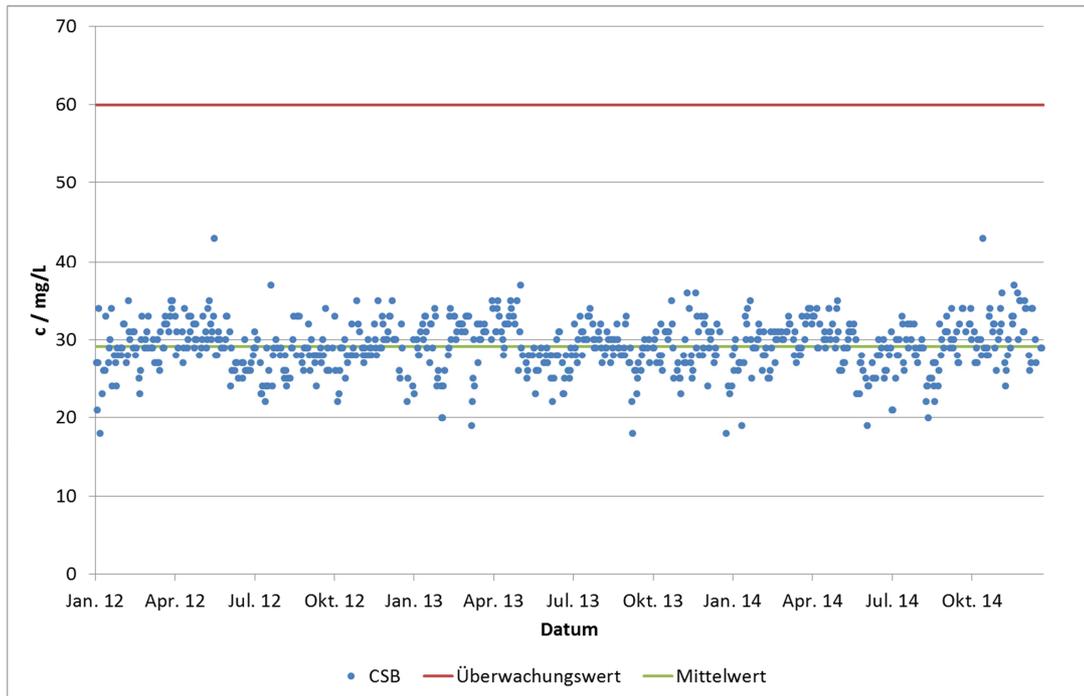


Abbildung 4-4: CSB-Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

Der Gesamtgehalt an anorganisch gebundenem Stickstoff (N_{anorg}) lag im Mittel bei 3,8 mg/l (Abbildung 4-5). Damit wird auch hier der Überwachungswert (13 mg/l bei $T \geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$) sicher eingehalten. Bei der Überschreitung des Ablaufwertes am 28.2.2013 lag die Temperatur in der Belebung unterhalb von $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

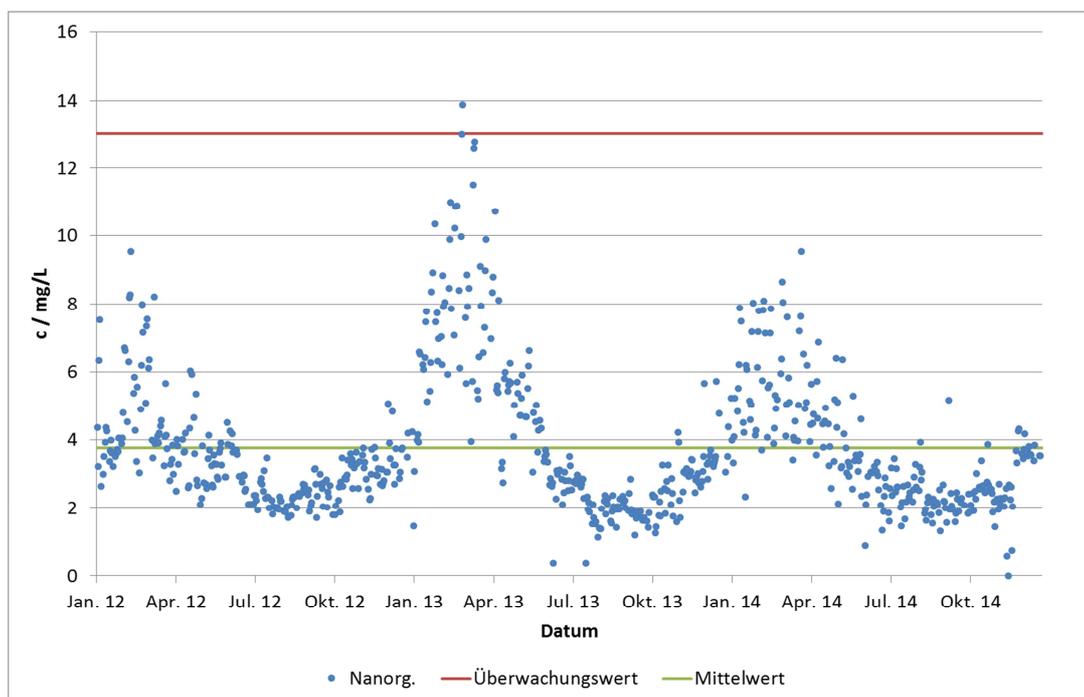


Abbildung 4-5: N_{anorg} -Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

Abbildung 4-6 zeigt die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Kläranlagenablauf. Im Mittel beträgt die Konzentration 1,1 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. Bei der Überschreitung des Ablaufwertes am 04.03.2014 lag die Temperatur in der Belebung unterhalb von 12°C .

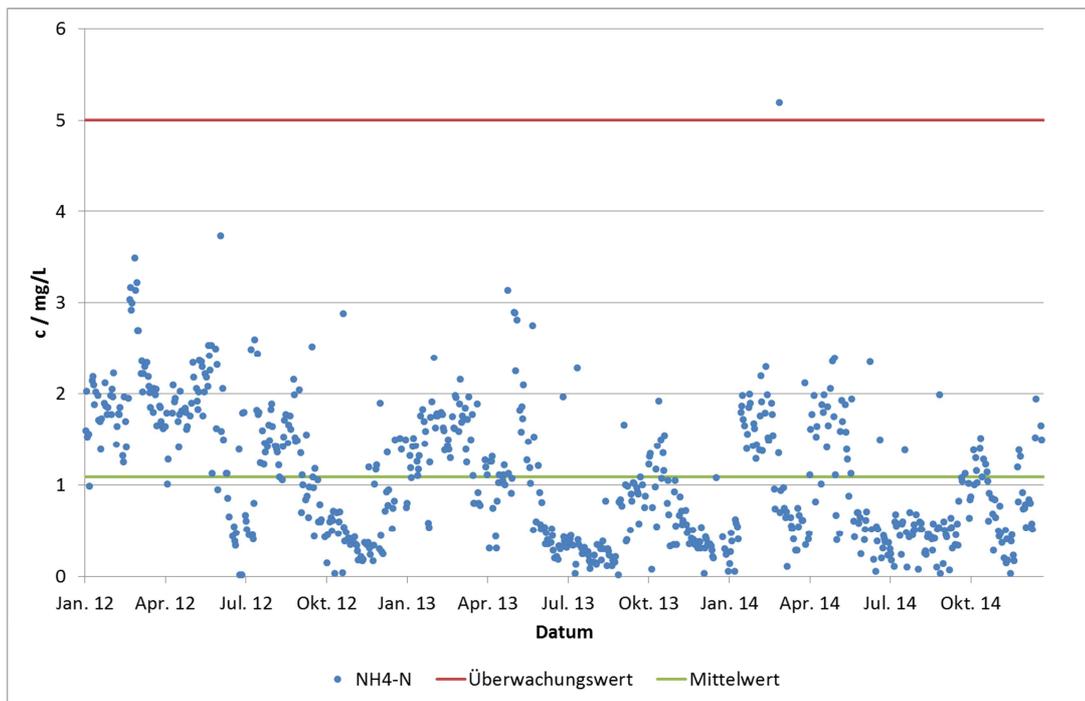


Abbildung 4-6: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

Die P_{ges} -Konzentration im Ablauf der Hauptkläranlage Münster in den Jahren 2012 bis 2014 ist in Abbildung 4-7 dargestellt. Die Konzentration liegt im Mittel bei 0,2 mg/l und maximal bei 0,7 mg/l. Damit wird der Überwachungswert von 1 mg/l sicher eingehalten.

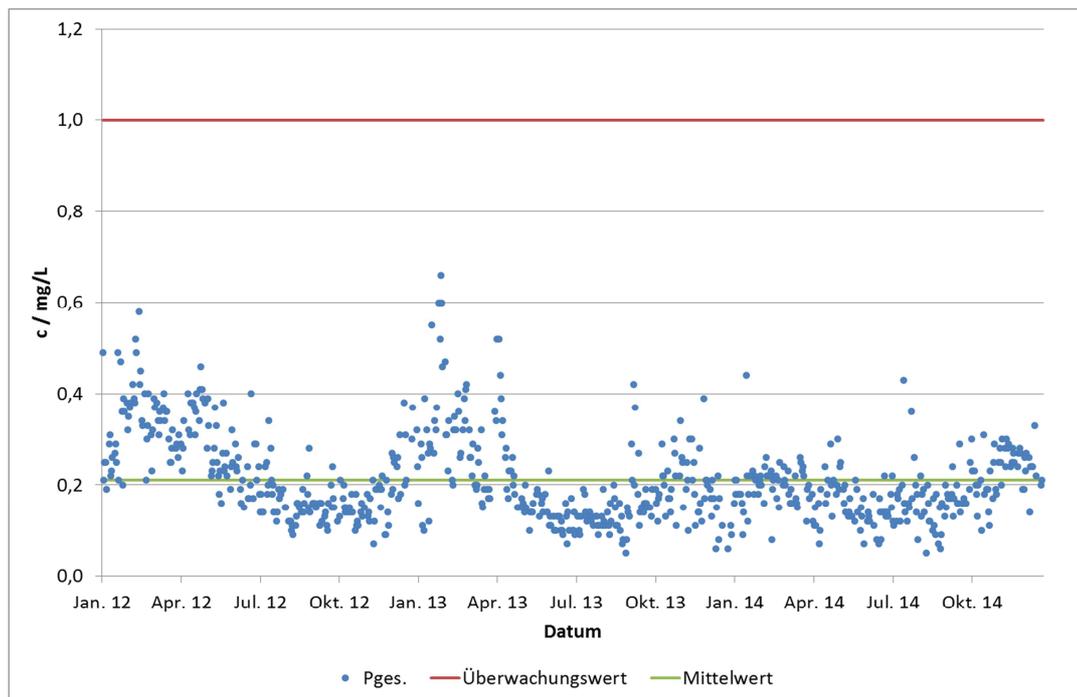


Abbildung 4-7: P_{ges}-Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

Die Konzentrationen von NO₂-N und NO₃-N sind in Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9 dargestellt. Die NO₂-N-Konzentration liegt im Mittel bei 0,27 mg/l. In der überwiegenden Zeit werden NO₂-N Konzentrationen von 0,5 mg/l unterschritten. Zwischenzeitlich können die Konzentrationen jedoch auch deutlich darüber liegen und erreichen im Betrachtungszeitraum maximal 1,96 mg/l. Die NO₃-Konzentrationen schwanken im betrachteten Zeitraum stark. Sie betragen im Mittel 4,8 mg/l und liegen maximal bei 11,6 mg/l.

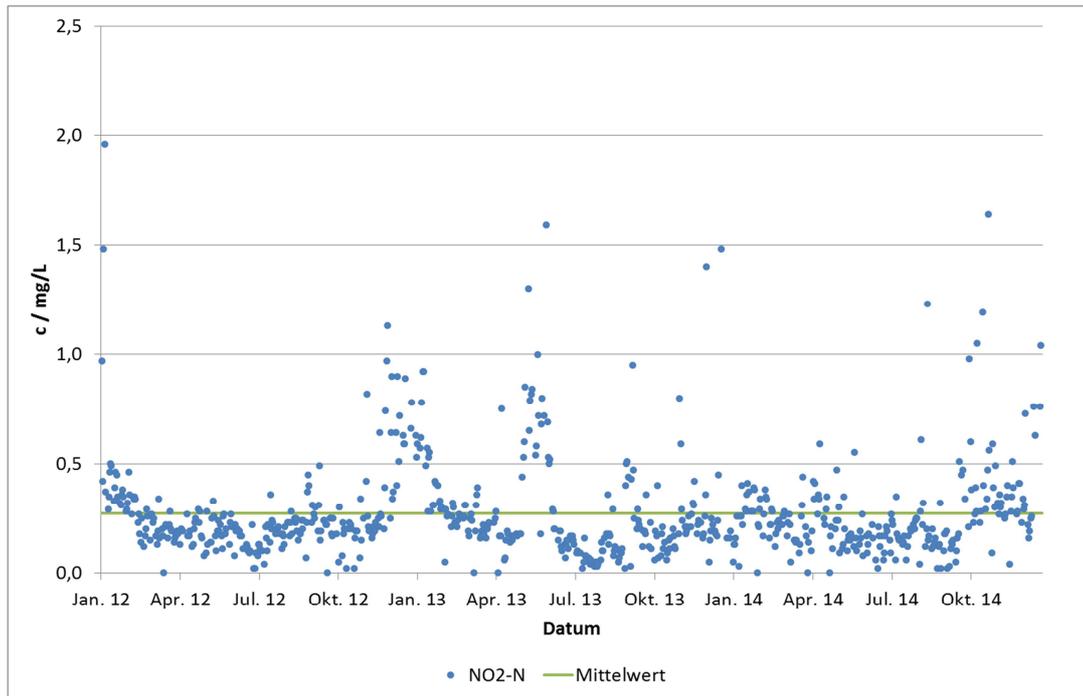


Abbildung 4-8: NO₂-Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

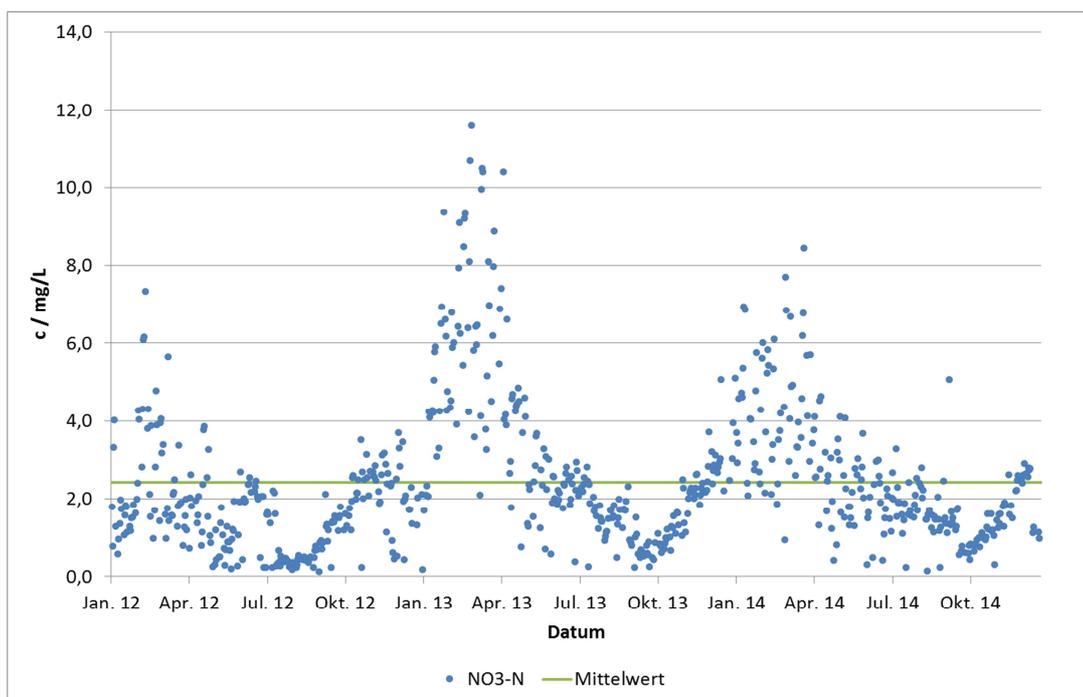


Abbildung 4-9: NO₃-Konzentrationen im Ablauf der HKA Münster

4.4 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe

Die Hauptkläranlage Münster ist bezogen auf ihre derzeitige Ausbaugröße von 300.000 EW zurzeit fast vollständig ausgelastet, der Ausbau auf 335.000 EW ist bereits genehmigt und wird voraussichtlich 2017 erfolgen. Auch mit der derzeitigen Auslastung der Kläranlage wird durchweg ein gutes Reinigungsergebnis erreicht, lediglich die Nitritkonzentration ist zeitweise erhöht. Alle Überwachungswerte werden sicher eingehalten.

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

Zurzeit erreicht die CSB-Konzentration selten mehr als 35 mg/l. Über 43 mg/l lag die CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage nicht. Damit zeigt die Kläranlage Münster eine gute Reinigungsleistung. Da die NO₂-N-Konzentrationen zeitweise ansteigen, ist es wichtig, die Phasen mit erhöhtem Nitritgehalt im Abwasser bei der Auslegung der 4. Reinigungsstufe (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Ozon) zu berücksichtigen.

4.5 Untersuchungen der Vorfluter

Die behördlich angeordneten Probenahmestellen in den Vorflutern Wöstebach (MA1) und Beckschembach (EBe1) sowie in Ems (E11a und E11) und Münsterscher Aa (M2a und M2) (jeweils ober- und unterhalb der Einmündungsstellen) sind in Abbildung 4-10 dargestellt. Im Rahmen dieser Studie wurden die Untersuchungen der Vorfluter in der Münsterschen Aa und in der Ems jeweils ober- und unterhalb der Mündungsstellen der direkten Vorfluter der Hauptkläranlage Münster durchgeführt.

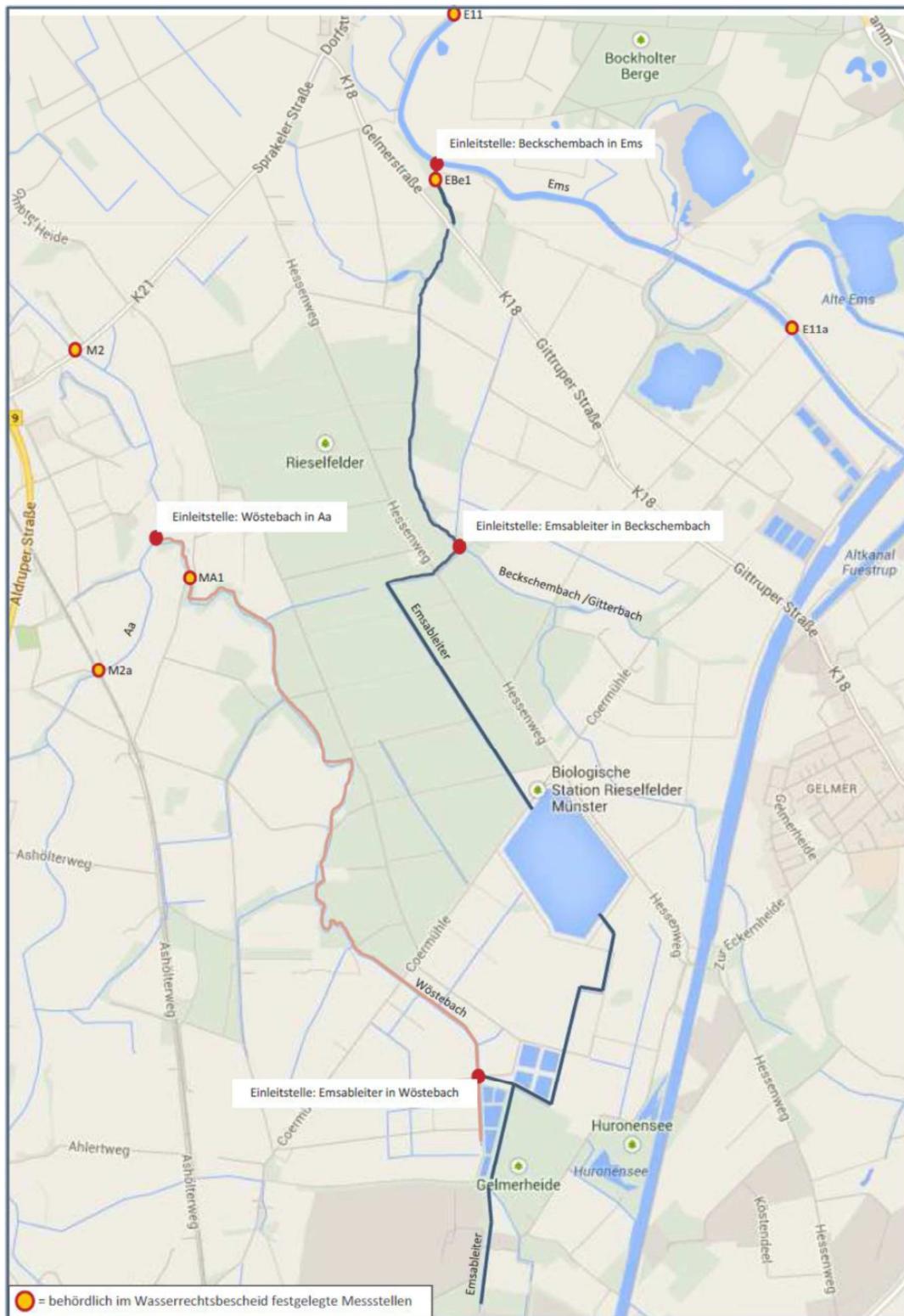


Abbildung 4-10: Probenahmestellen in der Umgebung der Hauptkläranlage Münster

4.5.1 Bisherige Untersuchungen der Vorfluter durch den Betreiber

Die Vorfluter der Hauptkläranlage Münster – Wöstebach und Beckschembach – sowie die Ems und die Münstersche Aa wurden in den vergangenen Jahren regelmäßig untersucht. Die Untersuchungen wurden vom Umweltlabor ACB durchgeführt (Kap. 7.1 – 7.6). Diese Messungen zeigen für die Parameter $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ und P keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen den Konzentrationen in der Münsterschen Aa und Ems vor und hinter den jeweiligen Einleitstellen von Wöstebach bzw. Beckschembach. Es wurden sowohl Konzentrationserhöhungen als auch Konzentrationsabnahmen festgestellt.

Die Messungen der Münsterschen Aa zeigen bis zum Jahr 2013 zum Teil deutliche Unterschiede ober- und unterhalb der Mündungsstelle des Wöstebachs insbesondere im Hinblick auf die Parameter Chlorid, Eisen, Mangan und EDTA. Da diese Parameter ab dem Jahr 2014 nicht mehr untersucht wurden, kann die aktuelle Situation nicht beurteilt werden. Im Gegensatz dazu zeigen die Messungen in der Ems ober- und unterhalb der Einmündungsstelle des Beckschembaches (bis auf einige Auffälligkeiten der Parameter Eisen, Mangan und teilweise EDTA) keine wesentlichen Veränderungen durch die Einleitung der Hauptkläranlage Münster. Dies liegt vermutlich einerseits daran, dass die Belastung der Ems bereits oberhalb der Kläranlage höher ist als die Belastung der Münsterschen Aa oberhalb der Kläranlage. Andererseits ist die Ems auch bezogen auf die Wassermenge ein stärkerer Vorfluter als die Münstersche Aa.

Die PERLODES-Untersuchung durch AgL – Büro für Umweltgutachten aus dem Jahr 2014 (Kap. 7.7) ergab für beide direkten Ableiter der Hauptkläranlage Münster (Wöstebach und Beckschembach) eine schlechte Beurteilung im Modul „Allgemeine Degradation“ und eine mäßige Beurteilung im Modul „Saprobie“ und damit insgesamt eine schlechte ökologische Zustandsklasse. Dies kann allerdings zumindest zum Teil an den alten Rieselfeldern und der ehemaligen Mülldeponie liegen. Der genaue Einfluss der Hauptkläranlage Münster ist nicht zu spezifizieren.

Für die Münstersche Aa wurde in Hinblick auf das Modul „Saprobie“ kein Unterschied ober- und unterhalb der Einmündungsstelle festgestellt. Damit war in dem die stoffliche Belastung abbildenden Modul kein Einfluss der Hauptkläranlage Münster zu erkennen. An beiden Stellen wurde das Modul mit gut bewertet. Im Modul „Allgemeine Degradation“ erreichte die Münstersche Aa oberhalb der Mündung eine mäßige Bewertung. Unterhalb der Mündung wurde eine unbefriedigende Bewertung und damit eine Verschlechterung festgestellt. Insgesamt ergab sich eine mäßige ökologische Zustandsklasse der Münsterschen Aa oberhalb der Mündung und eine unbefriedigende unterhalb der Mündung.

Die Ems konnte in beiden Modulen und an beiden Messpunkten jeweils eine gute Beurteilung erzielen und erreichte damit eine insgesamt gute ökologische Zustandsklasse. Hier ist folglich kein Einfluss der Hauptkläranlage Münster zu erkennen.

4.5.2 Untersuchungen der Vorfluter im Rahmen dieser Studie

Die mit der Bezirksregierung Münster abgestimmten und in den durchgeführten Analysen untersuchten Parameter sind in Tabelle 4-2 zusammen gestellt. Die Probenahme erfolgte am 28. August 2015.

Tabelle 4-2: Messprogramm Münstersche Aa / Ems

Untersuchungsparameter Vorfluter (Ems / Münstersche Aa)	
Stoffgruppe	Parameter
ACP's	pH-Wert, Leitfähigkeit, NH ₄ , NH ₄ -N, F, Br, NO ₃ , NO ₃ -N, NO ₂ , NO ₂ -N, PO ₄ , PO ₄ -P, N _{ges.} , Kjeldahl-N, P _{ges.} , SO ₄ , Cl, Säurekapazität
Schwermetalle	Ag
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Naphthalin, Acenaphtylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren
Octyl- / Nonylphenole	4-tert.-Octylphenol, 4-n-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE), 4-Nonylphenol-dioethoxylat (NP2OE), 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE), 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE), Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, 4-n-Octylphenol, 4-Nonylphenol
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28), 2,4,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47), 2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154), 2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183), Decabromdiphenylether (BDE 209)
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Bezafibrat, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Phenazon, Clarithromycin, Naproxen, Bisoprolol, Oxazepam
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure, Iopromid
Steroid-Hormone	17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol, Estron (E1)
Süßstoffe	Acesulfam K, Saccharin, Cyclamat, Sucralose
Organozinnverbindungen	Tributylzinn
Pflanzenschutzmittel-Rückstände	Benzotriazol, Diuron, Isoproturon, Terbutryn, Atrazin, Simazin, Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorhexan (gamma-(Lidan))

Münstersche Aa

Die wesentlichen Ergebnisse der Messungen in der Münsterschen Aa sind in Tabelle 4-3 zusammengefasst. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang der Studie zu finden (Kap. 7.8).

Die Berechnung der Zunahme (positive Zunahme) bzw. Abnahme (negative Zunahme) der jeweiligen Stoffkonzentrationen bezieht sich auf die Konzentration vor der Einmündung des Wöstebaches in die Münstersche Aa.

Tabelle 4-3: Ergebnisse Münstersche Aa

Parameter	Einheit	Münst. Aa vor Mündung	Münst. Aa nach Mündung	Zunahme
ACP's				
NH4	mg/l	0,15	0,27	80%
NH4-N	mg/l	0,12	0,21	75%
NO3	mg/l	10	7,6	-24%
NO3-N	mg/l	2,3	1,70	-26%
NO2	mg/l	0,19	0,59	211%
NO2-N	mg/l	0,058	0,18	210%
PO4	mg/l	0,15	0,14	-7%
PO4-P	mg/l	0,05	0,05	0%
N ges.	mg/l	4,62	3,90	-16%
Kjeldahl-N	mg/l	2,3	2	-13%
P ges.	mg/l	0,14	0,18	29%
SO4	mg/l	39	53	36%
Cl	mg/l	18	59	228%
Phthalate				
Di-(2-ethylhexyl)phtalat (DEHP)	µg/l	<2	3	50%
Nonylphenole				
Bisphenol A	µg/l	<0,1	0,13	30%
Arzneimittel-Rückstände				
Carbamazepin	µg/l	<0,025	0,1	300%
Diclofenac	µg/l	<0,025	0,4	1500%
Sulfamethoxazol	µg/l	<0,025	0,11	340%
Bezafibrat	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Atenolol	µg/l	<0,05	0,069	38%
Metoprolol	µg/l	<0,025	0,59	2260%
Sotalol	µg/l	<0,025	0,037	48%
Phenazon	µg/l	<0,025	0,057	128%
Clarithromycin	µg/l	<0,025	0,025	0%
Naproxen	µg/l	<0,025	0,066	164%
Bisprolol	µg/l	<0,025	0,087	248%
Oxazepam	µg/l	0,081	0,077	-5%
Pflanzenschutzmittel-Rückstände				
Benzotriazol	µg/l	0,11	2,6	2264%
Terbutryn	µg/l	<0,025	0,05	100%
Süßstoffe				
Acesulfam K	µg/l	0,15	0,4	167%
Saccharin	µg/l	0,1	0,94	840%
Cyclamat	µg/l	0,16	0,083	-48%
Sucralose	µg/l	0,036	1,1	2956%
Röntgenkontrastmittel				
Iopamidol	µg/l	<0,025	1,1	4300%
Iomeprol	µg/l	0,028	8,3	29543%
Amidotrizoesäure	µg/l	<0,025	1,6	6300%
Iopromid	µg/l	<0,025	8,1	32300%
Organozinnverbindungen				
Tributylzinn	µg/l	<0,00005	<0,00005	0%

Die Ergebnisse zeigen deutliche Veränderungen der Münsterschen Aa, insbesondere im Bereich der Medikamentenrückstände, Süßstoffe und Röntgenkontrastmittel. Die gelegentlich gefundenen Konzentrationsabnahmen können entweder (insbesondere bei den ACP's) durch Verdünnung der in der Münsterschen Aa enthaltenen Konzentrationen durch den Wöstebach oder (insbesondere bei Betrachtung der Medikamentenrückstände) durch Zufallsfehler, die durch die geringe Probenanzahl verursacht werden, entstehen.

Ems

Zum Vergleich werden in Tabelle 4-4 die Ergebnisse der Messungen in der Ems für die gleichen Parameter gezeigt wie zuvor bei der Münsterschen Aa. Die vollständigen Analysenergebnisse für die Messungen in der Ems sind ebenfalls in Kap. 7.8 enthalten.

Auffällig ist, dass hier die Zunahmen weniger deutlich ausfallen, was zum einen durch die höhere bereits in der Ems vorhandene Belastung, zum anderen auch durch die größere Wassermenge in der Ems verursacht wird. Besonders bei den Röntgenkontrastmitteln und dem Parameter Tributylzinn kommt es jedoch auch in der Ems nach der Einmündung des Beckschembaches zu signifikanten Konzentrationszunahmen.

Tabelle 4-4: Ergebnisse Ems

Parameter	Einheit	Ems vor Mündung	Ems nach Mündung	Zunahme
Kationen, Anionen und Nichtmetalle				
NH4	mg/l	0,06	0,08	33%
NH4-N	mg/l	0,047	0,062	32%
NO3	mg/l	15	15	0%
NO3-N	mg/l	3,4	3,40	0%
NO2	mg/l	0,09	0,13	44%
NO2-N	mg/l	0,027	0,04	48%
PO4	mg/l	0,24	0,24	0%
PO4-P	mg/l	0,08	0,08	0%
N ges.	mg/l	3,42	3,43	0%
Kjeldahl-N	mg/l	<2	<2	0%
P ges.	mg/l	0,15	0,18	20%
SO4	mg/l	73	74	1%
Cl	mg/l	76	78	3%
Phthalate				
Di-(2-ethylhexyl)phtalat (DEHP)	µg/l	2,9	<2	-31%
Nonylphenole				
Bisphenol A	µg/l	<0,1	<0,1	0%
Arzneimittel-Rückstände				
Carbamazepin	µg/l	0,088	0,092	5%
Diclofenac	µg/l	0,15	0,13	-13%
Sulfamethoxazol	µg/l	0,057	0,055	-4%
Bezafibrat	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Atenolol	µg/l	<0,05	<0,05	0%
Metoprolol	µg/l	0,3	0,32	7%
Sotalol	µg/l	<0,025	0,026	4%
Phenazon	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Clarithromycin	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Naproxen	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Bisprolol	µg/l	0,033	0,039	18%
Oxazepam	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Pflanzenschutzmittel-Rückstände				
Benzotriazol	µg/l	1,2	1,4	17%
Terbutryn	µg/l	<0,025	<0,025	0%
Süßstoffe				
Acesulfam K	µg/l	0,63	0,61	-3%
Saccharin	µg/l	0,048	0,064	33%
Cyclamat	µg/l	0,11	0,11	0%
Sucralose	µg/l	0,52	0,59	13%
Röntgenkontrastmittel				
Iopamidol	µg/l	0,76	0,99	30%
Iomeprol	µg/l	0,36	1,2	233%
Amidotrizoesäure	µg/l	0,49	0,6	22%
Iopromid	µg/l	0,19	0,85	347%
Organozinnverbindungen				
Tributylzinn	µg/l	<0,00005	0,0003	500%

4.6 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

4.6.1 Bisherige Untersuchungen des Kläranlagenablaufs durch den Betreiber

Bei den Untersuchungen des Kläranlagenablaufs im Rahmen der LANUV-Überwachung der Hauptkläranlage Münster wurden in den Jahren 2012 – 2014 keine Auffälligkeiten festgestellt.

Daneben wurde der Ablauf auch auf prioritäre Stoffe untersucht. Dabei konnten bei einer 2011 vom Umweltlabor ACB durchgeführten Untersuchung (Kap. 7.9) lediglich für 4 von 47 untersuchten Stoffen Konzentrationen oberhalb der Nachweisgrenze gefunden werden. Dabei handelte es sich um die Stoffe Nonylphenol, Octylphenol, Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) und Diuron. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Nachweisgrenzen teilweise deutlich höher lagen als bei den im Rahmen der Studie durchgeführten Analysen. So lag die Nachweisgrenze für die polybromierten Diphenylether bei der Messung durch ACB zwischen 0,1 und 2 µg/l (abhängig vom Bromierungsgrad), während sie in den aktuellen Messungen bei 0,0001 µg/l lag. Auch bei Tributylzinn (ACB: 10 ng/l, aktuell: 0,1 ng/l) und Isoproturon (ACB: 0,05 µg/l, aktuell: 0,025 µg/l) liegen die Nachweisgrenzen in den aktuellen, von Wessling durchgeführten Nachweisgrenzen niedriger, so dass nicht ausgeschlossen ist, dass diese Stoffe mit den aktuellen Untersuchungsmethoden im Ablauf hätten nachgewiesen werden können.

Bei der im Jahr 2014 vom Labor Wessling durchgeführten Analyse des Ablaufs auf prioritäre Stoffe (Kap. 7.10) konnten von insgesamt 49 Stoffen 7 oberhalb der Nachweisgrenze gefunden werden. Dies waren Fluorid, Chlorid, Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, Monobutylzinn, Dibutylzinn und Tributylzinn.

In PRTR-Berichten der Jahre 2012 und 2013 der Hauptkläranlage Münster werden folgende Jahresfrachten an Schadstoffen angegeben (2012: Tabelle 4-5, 2013: Tabelle 4-6).

Tabelle 4-5: PRTR-Bericht der Hauptkläranlage Münster 2012

Schadstoff	Jahresfracht in kg/a	Bestimmungsmethode
Distickoxid	26.700,0	Schätzung
Gesamtstickstoff	93.800,0	Messung
Gesamtphosphor	4.550,0	Messung
Arsen und Verbindungen (als As)	16,9	Messung
Kupfer und Verbindungen (als Cu)	67,8	Messung
Nickel und Verbindungen (als Ni)	70,7	Messung
Zink und Verbindungen (als Zn)	332,0	Messung
Blei und Verbindungen (als Pb)	55,6	Messung

Tabelle 4-6: PRTR-Bericht der Hauptkläranlage Münster 2013

Schadstoff	Jahresfracht in kg/a	Bestimmungs- methode
Distickoxid	26.702	Schätzung
Gesamtstickstoff	106.527	Messung
Gesamtphosphor	3.767	Messung
Arsen und Verbindungen (als As)	10,16	Messung
Kupfer und Verbindungen (als Cu)	105	Messung
Nickel und Verbindungen (als Ni)	69,89	Messung
Blei und Verbindungen (als Pb)	35,31	Messung
Zink und Verbindungen (als Zn)	423	Messung
Cadmium und Verbindungen (als Cd)	5,16	Messung
Quecksilber und Verbindungen (als Hg)	1,71	Messung
Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate	20	Schätzung
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	5	Schätzung

4.6.2 Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie

Da es sich bei dem in der Hauptkläranlage Münster behandelten Abwasser zum größten Teil um kommunales Abwasser handelt (vgl. Kap. 2.3), werden im Abwasserstrom der Kläranlage keine oder nur geringe Mengen an Industriechemikalien vermutet. Durch die einleitenden Krankenhäuser kann es jedoch zu einem deutlichen Eintrag von Medikamentenrückständen und Röntgenkontrastmitteln kommen.

Das durchgeführte Messprogramm wurde zuvor mit der Bezirksregierung Münster abgestimmt. Aufgrund der Ausbaugröße der Kläranlage und ihrer daraus resultierenden Relevanz in Hinblick auf die Bedeutung als Eintragungspunkt von Spurenstoffen in die Umwelt wurde auf der Hauptkläranlage Münster ein sehr umfassendes Spektrum an Spurenstoffen untersucht. Die Analyseergebnisse tragen außerdem dazu bei, eine bessere Bestandsaufnahme hinsichtlich der Spurenstoffeinträge in Oberflächengewässer aus kommunalen Kläranlagen zu ermöglichen.

Der Zulauf der Hauptkläranlage Münster wurde auf einige Schwermetalle, Phthalate, PAK's, Octyl- bzw. Nonylphenole, polybromierte Diphenylether, Arzneimittelrückstände, Röntgenkontrastmittel, Steroid-Hormone, Süßstoffe sowie auf Organozinnverbindungen untersucht. Die genaue Auflistung der untersuchten Parameter findet sich in Tabelle 4-7.

Der Ablauf der Kläranlage wurde zusätzlich zu den im Zulauf untersuchten Parametern auf folgende Parameter untersucht: ACP's, Summenparameter, leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe, Chlorphenole, leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Biphenyle, polychlorierte Dibenzodioxine und -furane sowie Pflanzenschutzmittelrückstände. Eine genaue Zusammenstellung des Untersuchungsprogramms findet sich in Tabelle 4-8.

Tabelle 4-7: Untersuchte Parameter im Zulauf der Hauptkläranlage Münster

Untersuchungsparameter Zulauf	
Stoffgruppe	Parameter
ACP's	Säurekapazität
Schwermetalle	Ag, Zn ¹⁾
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Naphthalin, Acenaphylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren
Octyl- / Nonylphenole	4-tert.-Octylphenol, 4-n-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP10E), 4-Nonylphenol-dioethoxylat (NP20E), 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP10E), 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP20E), Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, 4-n-Octylphenol, 4-Nonylphenol
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28), 2,4,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47), 2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154), 2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183), Decabromdiphenylether (BDE 209)
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Bezafibrat, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Phenazon, Clarithromycin, Naproxen, Bisoprolol, Oxazepam
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure, Iopromid
Steroid-Hormone	17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol, Estron (E1)
Süßstoffe	Acesulfam K, Saccharin, Cyclamat, Sucralose
Organozinnverbindungen	Tributylzinn

¹⁾ nur im ersten Messdurchgang

Tabelle 4-8: Untersuchte Parameter im Ablauf der Hauptkläranlage Münster

Untersuchungsparameter Ablauf	
Stoffgruppe	Parameter
ACP's	pH-Wert, Leitfähigkeit, NH ₄ , NH ₄ -N, F, Br, NO ₃ , NO ₃ -N, NO ₂ , NO ₂ -N, PO ₄ , PO ₄ -P, N _{ges.} , Kjeldahl-N, P _{ges.} , SO ₄ , Cl, Säurekapazität
Summenparameter	AOX, BSB5, Cyanid, ges., Phenol-Index nach Destillation, TOC
Schwermetalle	Hg ¹⁾ , As ¹⁾ , Pb ¹⁾ , Cd ¹⁾ , Cr ¹⁾ , Cu ¹⁾ , Ni ¹⁾ , Sn ¹⁾ , Ag, Zn ¹⁾
Phthalate	Di-(2-ethylhexyl)phtalat (DEHP)
Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)	Benzol ¹⁾ , Toluol ¹⁾ , m-,p-Xylol ¹⁾ , o-Xylol ¹⁾
Chlorphenole	Pentachlorphenol ¹⁾
Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)	Dichlormethan ¹⁾ , Trichlormethan ¹⁾ , Tetrachlormethan ¹⁾ , Trichlorethen ¹⁾ , Tetrachlorethen ¹⁾ , 1,2-Dichlorethan ¹⁾
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	PCB Nr. 28 ¹⁾ , PCB Nr. 52 ¹⁾ , PCB Nr. 101 ¹⁾ , PCB Nr. 138 ¹⁾ , PCB Nr. 153 ¹⁾ , PCB Nr. 180 ¹⁾
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Naphthalin, Acenaphylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Dibenz(ah)anthracen, Benzo(ghi)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyren
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)	2,3,7,8-TCDD ¹⁾ , 1,2,3,7,8,-PeCDD ¹⁾ , 1,2,3,4,7,8-HxCDD ¹⁾ , 1,2,3,6,7,8-HxCDD ¹⁾ , 1,2,3,7,8,9-HxCDD ¹⁾ , 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD ¹⁾ , OctaCOO ¹⁾ , Summe TetraCDD ¹⁾ , Summe PentaCDD ¹⁾ , Summe HexaCDD ¹⁾ , Summe HeptaCDD ¹⁾
Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)	2,3,7,8-TCDF ¹⁾ , 1,2,3,7,8-PeCDF ¹⁾ , 2,3,4,7,8-PeCDF ¹⁾ , 1,2,3,4,7,8-HxCDF ¹⁾ , 1,2,3,6,7,8-HxCDF ¹⁾ , 2,3,4,6,7,8-HxCDF ¹⁾ , 1,2,3,7,8,9-HxCDF ¹⁾ , 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF ¹⁾ , 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF ¹⁾ , OctaCDF ¹⁾ , Summe TetraCDF ¹⁾ , Summe PentaCDF ¹⁾ , Summe HexaCDF ¹⁾ , Summe HeptaCDF ¹⁾
Octyl- / Nonylphenole	4-tert.-Octylphenol, 4-n-Nonylphenol, 4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE), 4-Nonylphenol-dioethoxylat (NP2OE), 4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE), 4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE), Bisphenol A, 4-tert.-Butylphenol, 4-n-Octylphenol, 4-Nonylphenol
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28), 2,4,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47), 2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154), 2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183), Decabromdiphenylether (BDE 209)
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, Bezafibrat, Atenolol, Metoprolol, Sotalol, Phenazon, Clarithromycin, Naproxen, Bisoprolol, Oxazepam
Röntgenkontrastmittel	Iopamidol, Iomeprol, Amidotrizoesäure, Iopromid
Steroid-Hormone	17 beta-Estradiol, 17 alpha-Ethinylestradiol, Estron (E1)
Süßstoffe	Acesulfam K, Saccharin, Cyclamat, Sucralose
Organozinnverbindungen	Tributylzinn
Pflanzenschutzmittel-Rückstände	Benzotriazol, Diuron, Isoproturon, Terbutryn, Atrazin, Simazin, Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorhexan (gamma-(Lidan))

¹⁾ nur im ersten Messdurchgang

Die erste Probenahme erfolgte am 07. August 2015, die zweite Probenahme wurde am 31. August 2015 durchgeführt. Die Untersuchung der Proben wurde durch das Labor Wessling durchgeführt. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in Kap. 7.11 und 7.12.

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 vermutlich nur in einem sehr geringen Umfang durch den Abbau der Spurenstoffe; vielmehr dürften sie durch eine Adsorption der Spurenstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Hohe Eliminationsraten finden sich z.B. für Tributylzinn (1. Probenahme: 99,5 %, 2. Probenahme: 99,8 %), 17 beta-Estradiol (nur 2. Probenahme: 91,7 %) oder Cyclamat (beide Probenahmen 100 %).

Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Amidotrizoesäure (2. Probenahme: -293,4 %), Iopamidol (1. Probenahme: -26,3 %, 2. Probenahme: -60,0 %) und Carbamazepin (1. Probenahme: -30,4 %). Bei den Konzentrationsanstiegen könnte es sich theoretisch um eine Metabolitenrückbildung während der biologischen Behandlung des Abwassers handeln, wahrscheinlicher ist jedoch, dass das Rohabwasser wegen der hohen Schmutzkonzentrationen wesentlich schwieriger zu analysieren ist, was durch Matrixeffekte möglicherweise zu Ungenauigkeiten in den Analyseergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei der ausgewerteten Messung um eine Stichprobe handelt und daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

Eine Zusammenfassung aller berechneten Eliminationsraten ist in Tabelle 4-9 gezeigt. Falls der Messwert im Ablauf der Hauptkläranlage Münster unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, wurde die Bestimmungsgrenze zur Berechnung der Eliminationsraten herangezogen, so dass die Berechnung zu geringer Eliminationsraten vermieden wurde.

Tabelle 4-9: Berechnete Eliminationsraten für ausgewählte Parameter

Parameter		1. Probenahme			2. Probenahme		
		Zulauf	Ablauf	Eliminationsrate	Zulauf	Ablauf	Eliminationsrate
Phthalate							
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	16	<2	87,5%	15	<2	86,7%
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)							
Phenanthren	µg/l	<0,05	<0,05	-	0,18	<0,05	72,2%
Nonylphenole							
4-tert.-Octylphenol	µg/l	<0,1	<0,1	-	0,11	<0,1	9,1%
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP10E)	µg/l	0,38	<0,1	73,7%	1,4	<0,1	92,9%
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP10E)	µg/l	1,4	<0,1	92,9%	0,29	<0,1	65,5%
Bisphenol A	µg/l	4,1	0,38	90,7%	1,7	0,26	84,7%
4-tert.-Butylphenol	µg/l	0,16	<0,1	37,5%	0,16	<0,1	37,5%
4-Nonylphenol	µg/l	1,8	<0,1	94,4%	1,7	<0,1	94,1%
Arzneimittel-Rückstände							
Carbamazepin	µg/l	0,46	0,6	-30,4%	0,58	0,49	15,5%
Diclofenac	µg/l	2,4	2,1	12,5%	2,2	1,5	31,8%
Sulfamethoxazol	µg/l	0,76	0,74	2,6%	0,64	0,36	43,8%
Bezafibrat	µg/l	0,9	<0,2	77,8%	0,68	0,21	69,1%
Metoprolol	µg/l	2,8	3,2	-14,3%	2,9	2,7	6,9%
Sotalol	µg/l	<0,2	<0,2	-	0,2	<0,2	0,0%
Clarithromycin	µg/l	0,25	<0,2	20,0%	0,28	<0,2	28,6%
Naproxen	µg/l	1,4	0,47	66,4%	0,93	0,29	68,8%
Bisprolol	µg/l	0,33	0,34	-3,0%	0,42	0,35	16,7%
Oxazepam	µg/l	1,5	1,2	20,0%	0,2	<0,2	0,0%
Pflanzenschutzmittel-Rückstände							
Benzotriazol	µg/l	15	10	33,3%	13	7,9	39,2%
Terbutryn	µg/l	0,2	0,16	20,0%	0,37	0,22	40,5%
Süßstoffe							
Acesulfam K	µg/l	34	1,2	96,5%	32	0,77	97,6%
Saccharin	µg/l	28	0,15	99,5%	25	0,67	97,3%
Cyclamat	µg/l	130	0,05	100,0%	130	<0,05	100,0%
Sucralose	µg/l	5,3	5,1	3,8%	5,4	4,2	22,2%
Steroid-Hormone							
17 beta-Estradiol	µg/l	<0,01	<0,01	-	0,06	<0,005	91,7%
Estron (E1)	µg/l	0,02	<0,01	50,0%	0,15	0,008	94,7%
Röntgenkontrastmittel							
Iopamidol	µg/l	1,9	2,4	-26,3%	1	1,6	-60,0%
Iomeprol	µg/l	50	28	44,0%	33	22	33,3%
Amidotrizoesäure	µg/l	4	3,4	15,0%	0,61	2,4	-293,4%
Iopromid	µg/l	73	23	68,5%	55	28	49,1%
Organozinnverbindungen							
Tributylzinn	µg/l	0,02	<0,0001	99,5%	0,063	<0,0001	99,8%

Der Ablauf der Hauptkläranlage Münster wurde im ersten Messdurchgang unter anderem auf PCDD und PCDF untersucht. Die Ergebnisse dieser Messungen finden sich in Tabelle 4-10.

Tabelle 4-10: Ergebnisse der Messung von PCDD und PCDF im Ablauf

Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)	Einheit	Ablauf HKA 72 MP, 7.8.15
2,3,7,8-TCDD	pg/l	<1
1,2,3,7,8,-PeCDD	pg/l	<2
1,2,3,4,7,8-HxCDD	pg/l	<3
1,2,3,6,7,8-HxCDD	pg/l	<3
1,2,3,7,8,9-HxCDD	pg/l	<3
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	pg/l	17,3
OctaCOO	pg/l	<50
Summe TetraCDD	pg/l	8,67
Summe PentaCDD	pg/l	12,5
Summe HexaCDD	pg/l	19,9
Summe HeptaCDD	pg/l	33,3
Polychlorierte Dibenzofurane (PCDF)	Einheit	Ablauf HKA 72 MP, 7.8.15
2,3,7,8-TCDF	pg/l	2,07
1,2,3,7,8-PeCDF	pg/l	4,51
2,3,4,7,8-PeCDF	pg/l	4,55
1,2,3,4,7,8-HxCDF	pg/l	8
1,2,3,6,7,8-HxCDF	pg/l	9,82
2,3,4,6,7,8-HxCDF	pg/l	11,1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	pg/l	<3
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	pg/l	35,9
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	pg/l	<15
OctaCDF	pg/l	<50
Summe TetraCDF	pg/l	60
Summe PentaCDF	pg/l	69,1
Summe HexaCDF	pg/l	79,5
Summe HeptaCDF	pg/l	40,3
Rechnerische Werte	Einheit	Ablauf HKA 72 MP, 7.8.15
Summe PCDD (Tetra-Octa)	pg/l	74,4
Summe PCDF (Tetra-Octa)	pg/l	249
Summe PCDD + PCDF (Tetra-Octa)	pg/l	323
I-TE (NATO CCMS) exkl. BG	pg/l	6,13
I-TE (NATO CCMS) inkl. BG	pg/l	9,58
TEQ (WHO 1997) exkl. BG	pg/l	6,13
TEQ (WHO 1997) inkl. 1/2 BG	pg/l	8,31
TEQ (WHO 1997) inkl. BG	pg/l	10,5
TE-BGA exkl. BG	pg/l	-/-
TE-BGA inkl. BG	pg/l	-/-
TEQ (WHO 2005) exkl. BG	pg/l	5,13
TEQ (WHO 2005) inkl. 1/2 BG	pg/l	7,32
TEQ (WHO 2005) inkl. BG	pg/l	9,51

Der gefundene Gehalt an PCDD und PCDF lässt sich jedoch im Rahmen dieser Studie nicht endgültig einordnen. Da sowohl PCDD als auch PCDF nur eine sehr geringe Wasserlöslichkeit aufweisen, können sie nur an Feststoffe adsorbiert in der Probe vorliegen. Ein Rückschluss auf die Klärschlammbelastung ist

allerdings mit den vorhandenen Daten nicht möglich. Außerdem ist in diesem Zusammenhang auch zu beachten, dass es sich um eine einmalige Stichprobe handelt.

In Tabelle 4-11 sind einige wichtige Ergebnisse der Messungen im Ablauf der Hauptkläranlage Münster sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS zusammengefasst. Gelb unterlegt sind Ergebnisse, die über dem Mittelwert vergleichbarer Anlagen liegen, orange markiert sind Ergebnisse, die den Maximalwert vergleichbarer Anlagen überschreiten. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Spurenstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Zusätzlich finden sich die gemessenen Bromidkonzentrationen, da diese für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers wichtig sind.

Tabelle 4-11: Ergebnisse der Analysen, bei denen erhöhte Werte gefunden wurden

Parameter	Einheit	Ablauf HKA, 7.8.15	Ablauf HKA, 27.8.15	Mittelwert HKA	MW Referenz	MAX Referenz
<i>Kationen, Anionen und Nichtmetalle</i>						
Br	mg/l	0,4	0,32	0,36		
<i>Schwermetalle</i>						
Cu	mg/l	0,0032			<BG	
<i>Nonylphenole</i>						
Bisphenol A	µg/l	0,38	0,26	0,3	<BG	
<i>Arzneimittel-Rückstände</i>						
Sulfamethoxazol	µg/l	0,74	0,36	0,6	0,41	1,1
Bezafibrat	µg/l	<0,2	0,21	0,2	0,13	0,38
Metoprolol	µg/l	3,2	2,7	3,0	1,98	5,1
Naproxen	µg/l	0,47	0,29	0,4	0,39	3,7
Oxazepam	µg/l	1,2	<0,2	0,7	0,15	0,35
<i>Pflanzenschutzmittel-Rückstände</i>						
Benzotriazol	µg/l	10	7,9	9,0	5,5	18
Terbutryn	µg/l	0,16	0,22	0,19	0,06	0,152
<i>Süßstoffe</i>						
Saccharin	µg/l	0,15	0,67	0,41	0,26	0,74
Sucralose	µg/l	5,1	4,2	4,65	1,89	4,1
<i>Röntgenkontrastmittel</i>						
Iopamidol	µg/l	2,4	1,6	2,0	2,14	7,7
Iomeprol	µg/l	28	22	25,0	7,60	84
Amidotrizoesäure	µg/l	3,4	2,4	2,9	1,38	4,9
Iopromid	µg/l	23	28	25,5	0,61	2,58

Die Ergebnisse zeigen für einige Parameter zum Teil deutliche Überschreitungen der Vergleichswerte (z.B. Bisphenol A, Terbutryn, Sucralose und Iopromid). Auffällig sind auch die recht hohen Konzentrationen von Bromid im Ablauf, die insbesondere für das Verfahren der Ozonbehandlung des Abwassers (Varianten 3 und 5) wichtig sind. In Anbetracht des umfangreichen Messprogramms wurde jedoch insgesamt nur eine geringe Anzahl an Spurenstoffen nachgewiesen, die die vorliegenden Vergleichswerte überschreiten.

4.7 Einfluss des Kläranlagenablaufs auf die Vorfluter

Wie die in den Kapiteln 4.6 und 4.7 diskutierten Analysenergebnisse zeigen, führt die Einleitung des Kläranlagenablaufs in den Vorflutern zu einer Veränderung der Konzentration bestimmter Stoffe. Die Ergebnisse sind größtenteils konsistent. Es sind sowohl Konzentrationsanstiege als auch -abnahmen zu beobachten. Der Effekt auf die Münstersche Aa ist hierbei wesentlich ausgeprägter als der auf die Ems. Dies liegt hauptsächlich daran, dass die Ems vor der Einleitung bereits stärker belastet ist und dass sie ein größeres Volumen besitzt. Widersprüchlichkeiten bei einzelnen Parametern, wie z.B. bei Sotalol, das im Ablauf nicht nachweisbar ist, das aber in beiden Vorflutern nach Einleitung in höherer Konzentration nachweisbar ist, deuten auf eine zu geringe statistische Belastbarkeit der Proben hin.

4.8 Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Spurenstoffelimination auf dem HKW Münster

In Tabelle 4-12 sind die möglichen Behandlungsverfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf der Hauptkläranlage Münster nachgewiesenen Spurenstoffe zusammengefasst.

Tabelle 4-12: Bewertungsmatrix zur Spurenstoffelimination der im Ablauf der Hauptkläranlage Münster 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						
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
Betablocker						
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Hormone						
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut
weitere Humanpharmaka						
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.
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						
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht
Saccharin	schlecht	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 Bisphenol A und Terbutryn lässt sich die Eliminationsleistung bisher nur aus Laborversuchen abschätzen. Beide sind aber prinzipiell sowohl adsorptiv als auch oxidativ eliminierbar. Eine Ozonbehandlung zeigt bei Sulfamethoxazol sowie Naproxen und Oxazepam ein gutes Eliminationsergebnis. Mit Aktivkohle ist auch Naproxen gut eliminierbar, während die Adsorption von Sulfamethoxazol mäßig ist. Für Oxazepam liegen keine Werte zur Adsorbierbarkeit vor. Metoprolol und Benzafibrat sind beide durch Ozonierung nur mäßig, mit Aktivkohle gut zu entfernen. Saccharin und Sucralose lassen sich durch Ozon nur schlecht eliminieren. Während für Saccharin keine Werte zum Adsorptionsverhalten an Aktivkohle vorliegen, zeigt diese für Sucralose ein mäßiges Ergebnis. Benzotriazol ist mit Ozon mäßig, mit Aktivkohle gut bis mäßig zu entfernen. Die Röntgenkontrastmittel Amidotrizesäure, Iomeprol und Iopromid sind schlecht durch Ozonisierung zu zersetzen, während für Iopamidol ein mäßiges Ergebnis zu erwarten ist. Amidotrizesäure 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 ist allerdings zu erwarten, dass ein großer Anteil des Mikroplastiks in den Tuchfiltern der Flockungsfiltration zurückgehalten würde. (28)

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. Amidotrizesäure). 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 HKA Münster

5.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der Hauptkläranlage Münster haben gezeigt, dass anhand der enthaltenen Spurenstoffe kein eindeutiges Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Eine Bromidkonzentration über 0,1-0,15 mg/l kann für die Ozonung kritisch werden, da hier vermehrt cancerogenes Bromat gebildet wird (22). Folgende Bromidkonzentrationen wurden gemessen (Tabelle 5-1):

Tabelle 5-1: Gemessene Bromidkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung der HKA Münster

Bromidkonzentration in mg/l		
15.09.2015	07.08.2015	02.01.2017
0,4	0,32	0,37

Die erhöhten gefundenen Bromid-Konzentrationen können eine Ozonbehandlung am Standort ggf. in Frage stellen, jedoch ist die Datenbasis mit lediglich drei Messungen nicht umfangreich genug. Die Ozonbehandlung wird deshalb im Rahmen dieser Studie mitbetrachtet.

Da auf der Hauptkläranlage Münster 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. Die zur Zeit in der Planung befindliche Anlage zur separaten Behandlung der Wässer aus der Faulschlammwässerung (Membrankontaktoren) wird durch eine 4. Reinigungsstufe nicht beeinflusst. Bei der Dosierung von PAK ist zukünftig keine Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft mehr möglich. Eine Verbrennung des entwässerten Klärschlammes ist erforderlich. Die enthaltene PAK wird den Brennwert des Klärschlammes erhöhen. Ob das Entwässerungsergebnis oder die P-Rückgewinnung wesentlich beeinflusst werden, ist noch nicht abschließend geklärt.

Wie in Kap. 3.7 beschrieben, kommen für die Spurenstoffelimination auf Kläranlagen zurzeit nur der Einsatz von Aktivkohle oder der Einsatz von Ozon in Frage. Die Eliminationsleistung der Verfahren für eine Auswahl von Spurenstoffen ist in Tabelle 5-2 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 5-2: 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: (29), (30), (31), (32), (33), (34), (35), (36), (37), 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 Hauptkläranlage Münster 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 Belebungsbetten haben ein Volumen von

$V = 2 * 22.500 \text{ m}^3$. Die Nachklärung, die zur Abscheidung der Aktivkohle genutzt werden soll, hat ein Volumen von $V = 5 * 7.800 \text{ m}^3$.

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 wird für die Hauptkläranlage Münster auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) sowie der Einsatz granulierter Aktivkohle (Variante 4) untersucht. Als eine Kombination dieser beiden Varianten wird die Variante 5 betrachtet.

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Hauptkläranlage Münster 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: Ozonbehandlung mit nachgeschalteter GAK-Filtration

Optional wird für alle Verfahren vorgesehen, dass sich an die 4. Reinigungsstufe eine Flockungsfiltration anschließt (Kap. 5.4.6). Diese wird als Vollstrombehandlung für den Fall vorgesehen, dass der $P_{\text{ges.}}$ -Ablaufwert für die Hauptkläranlage Münster zukünftig u.U. abgesenkt könnte, wie es bei anderen Kläranlagen in NRW zurzeit diskutiert wird. Die Flockungsfiltration wird für die Vollstrombehandlung für $9.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Die 4. Reinigungsstufe der Varianten 2 - 5 wird auf $3.000 \text{ m}^3/\text{h}$ bemessen. Zur Umfahrung der 4. Reinigungsstufe wird ein Bypass für eine Mindestwassermenge von $6.000 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Für die Verfahrensvarianten 2 bis 4 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 5-1).

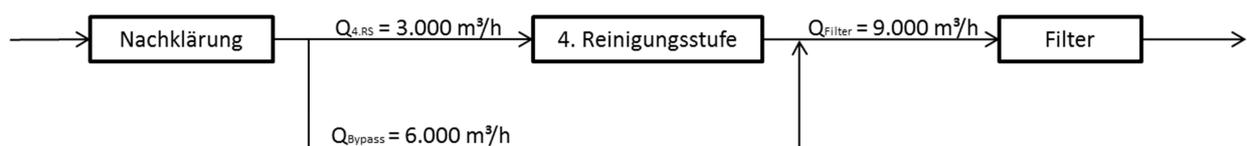


Abbildung 5-1: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration

5.2 Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe

Ein allgemein gültiger Ansatz zur Festlegung der Auslegungswassermenge für die Bemessung einer 4. Reinigungsstufe ist bisher noch nicht verfügbar. In der „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ (22) werden verschiedene Aspekte genannt, die bei der Ermittlung der Bemessungswassermenge berücksichtigt werden sollten. Mit einbezogen werden muss die auf der jeweiligen Kläranlage anfallende Wassermenge und die Leistungsstärke des Vorfluters, aber auch das Eintragspotenzial für unerwünschte Spurenstoffe durch den Ablauf der Kläranlage, z.B. durch eine überdurchschnittliche Anzahl an Krankenhäusern, Kliniken etc. im Einzugsgebiet oder durch Indirekteinleiter wie z.B. Schwerindustrie oder chemische Industrie.

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

Wie zuvor erläutert, ist das Gewässer, in welches eingeleitet wird, zu berücksichtigen. Bei den Vorflutern Beckschambach und Wöstebach handelt es sich um sehr schwache Vorfluter. Diese liegen unmittelbar unterhalb der Kläranlage Münster in einem Vogelschutzgebiet („Rieselfelder Münster“).

Desweiteren ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das am Standort Münster durchgeführte Screening auf ausgewählte Spurenstoffe zeigt einige Überschreitungen der Mittel- und Maximalwerte der gemessenen Spurenstoffkonzentrationen anderer Kläranlagen, die meisten gemessenen Konzentrationen liegen jedoch im eher niedrigen Bereich. Ebenso 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 die einleitenden Krankenhäuser verursacht werden.

In Abbildung 5-2 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist der 75 %-Perzentilwert der Trockenwetterabflüsse (entspricht 2.458 m³/h). Bei einer Auslegung auf den 75 %-Perzentilwert der Trockenwetter-Ablaufmenge können 87% der jährlichen Abwassermenge der Hauptkläranlage Münster behandelt werden. Dies entspricht einer Wassermenge von rund 16.758.437 m³/a (Tabelle 5-2). Durch die relativ geringen Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Hauptkläranlage Münster erscheint im Rahmen der Studie die Auslegung auf den 75 %-Perzentilwert des Trockenwetterzuflusses ausreichend.

Tabelle 5-3: Behandelte bzw. unbehandelte Wassermengen pro Jahr bei Auslegung auf 75 % TW

Gesamte Abwassermenge [m ³ /a]	19.215.851
Behandelte Abwassermenge [m ³ /a]	16.758.437
Behandelte Abwassermenge [%]	87

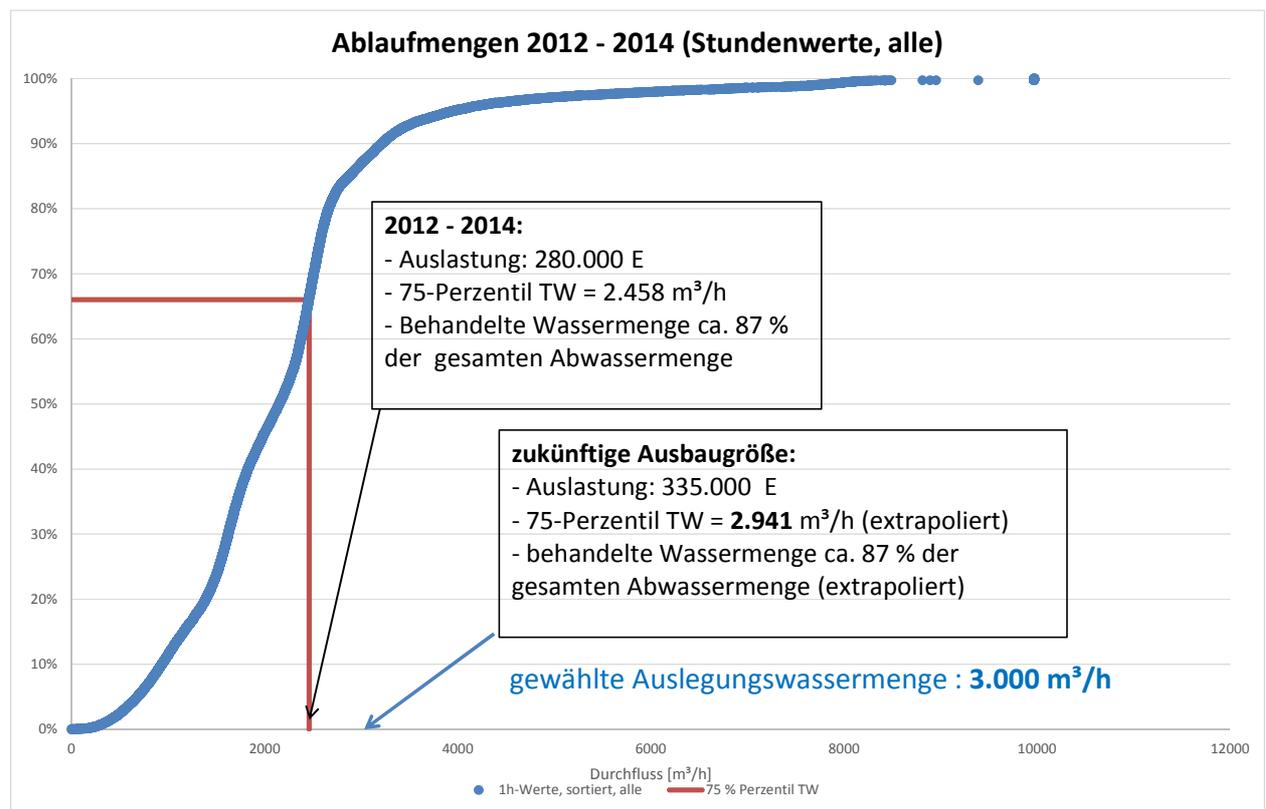


Abbildung 5-2: Stundenwerte Abflussmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter

Die ermittelte Wassermenge von 2.458 m³/h bei der aktuellen Auslastung von 280.000 EW wird auf die zukünftige Ausbaugröße von 335.000 EW umgerechnet, um sicher zu stellen, dass die Auslegung auch bei der zukünftigen Ausbaugröße der Hauptkläranlage Münster ausreichend ist. Damit ergibt sich eine Auslegungswassermenge von 2.941 m³/h, die auf 3000 m³/h aufgerundet wird. Es wird dabei davon ausgegangen, dass mit dieser Auslegung auch im Vollauslastungsfall 87 % der gesamten Jahresabwassermenge in der 4. Reinigungsstufe behandelt werden können. Die Auslegung auf 3000 m³/h ergibt bei der aktuellen Auslastung der Hauptkläranlage Münster eine behandelte Wassermenge von 17.698.216 m³/a und damit einen Anteil von 92 % an der Jahresabwassermenge.

Als Vollstrom wird der im Genehmigungsentwurf des Ingenieur-Büros Frilling angegebene Wassermenge von 8.927 m³/h angesetzt, die auf 9.000 m³/h aufgerundet wurde.

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

Auf der Hauptkläranlage Münster stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die zur Errichtung einer 4. Reinigungsstufe genutzt werden können. Erweiterungsflächen für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe sind nördlich des Kläranlagengebietes vorhanden. Sie sind in Abbildung 5-3 gezeigt.

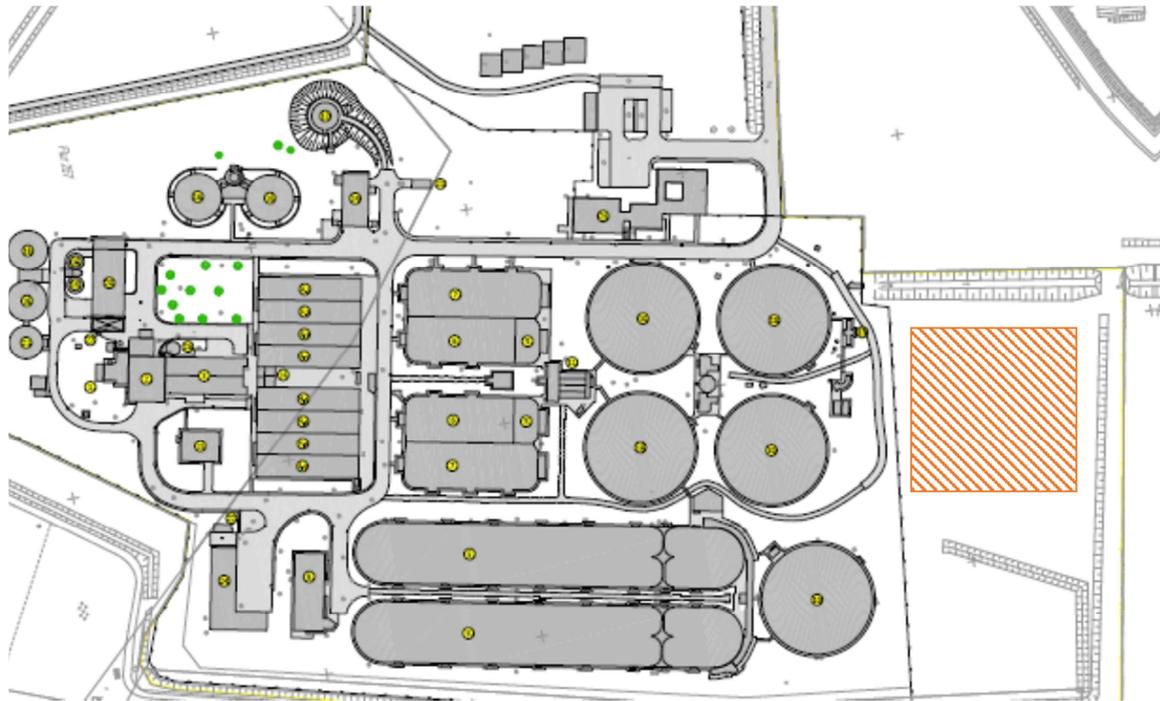


Abbildung 5-3: Erweiterungsgebiet (schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

5.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte

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

Für die Varianten 2 – 5 wird über die gewählte Bemessungswassermenge von 3.000 m³/h erreicht, dass ca. 87 % der Jahresabwassermenge in der 4. RS behandelt werden können. 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

Bei den Varianten 1-3 ist eine Führung des Abwasserstroms im Freigefälle möglich. Nur bei den Varianten 4 (GAK-Filtration des Abwassers) und 5 (Ozonung mit anschließender GAK-Filtration) ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der GAK-Filter erforderlich.

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 Hauptkläranlage Münster besteht aus 2 Selektorbecken, 2 Bio-P- / Anaerobbecken, 2 Nitrifikationsbecken, 2 Nitrifikations- und Denitrifikationsbecken und 5 Nachklärbecken. Möglich ist eine PAK-Dosierung in die Nitrifikations- / Denitrifikationsbecken ($V = 2 \cdot 22.500 \text{ m}^3$) und die Abscheidung der PAK in der Nachklärung ($V = 5 \cdot 7.800 \text{ m}^3$). Eine schematische Zeichnung der Verfahrensvariante ist in Abbildung 5-4 gezeigt.

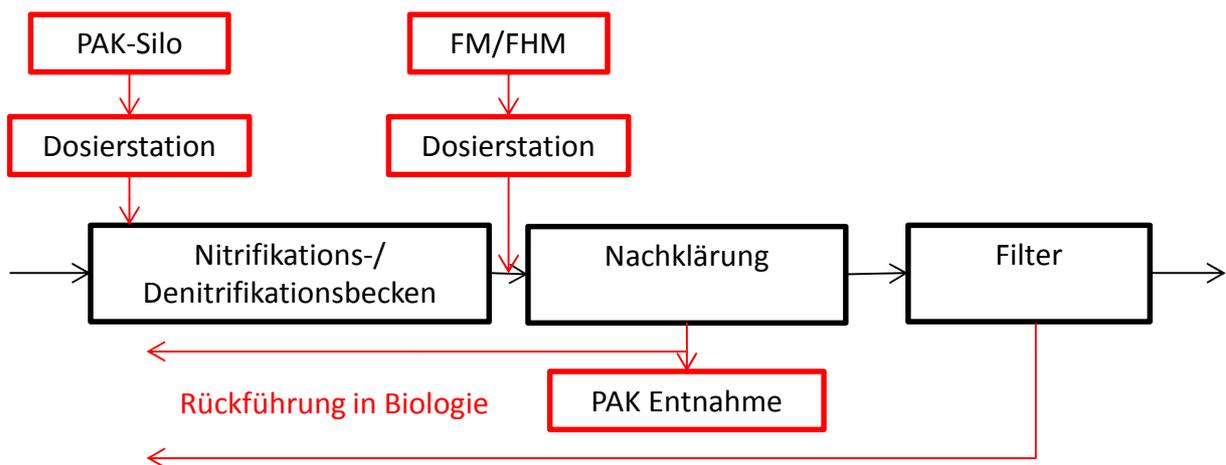


Abbildung 5-4: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1)

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 (38).

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

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK

Die benötigte PAK-Menge wird über die Jahresabwassermenge (Q_a) abgeschätzt. Diese beträgt auf der Hauptkläranlage Münster zurzeit ca. 19.215.851 m³/a. Bei Umrechnung von der derzeitigen Auslastung von 280.000 EW auf die zukünftige Ausbaugröße von 335.000 EW ergibt sich eine Jahresabwassermenge von etwa 22.990.393 m³/a ($Q_{a,Ausbau}$). Als mittlere angenommene PAK-Dosiermenge werden 20 mg/l (0,02 kg/m³) festgesetzt.

Damit ergibt sich die PAK-Jahresmenge für die derzeitige Jahresabwassermenge:

$$M_{PAK} = c_{PAK} * Q_a = 0,02 \text{ kg}_{PAK}/\text{m}^3_{Abw.} * 19.215.851 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 384.317 \text{ kg}_{PAK}/a.$$

Legt man die auf die zukünftige Ausbaugröße umgerechnete Wassermenge zugrunde, ergeben sich:

$$M_{PAK} = c_{PAK} * Q_{a, Ausbau} = 0,02 \text{ kg}_{PAK}/\text{m}^3_{Abw.} * 22.990.393 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 459.808 \text{ kg}_{PAK}/a.$$

Um eine gute Bewirtschaftung der PAK-Vorräte auf der Hauptkläranlage Münster zu ermöglichen, wird eine Gesamt-Silogröße von mindestens 200 m³ empfohlen. Diese Gesamtgröße kann z.B. auf 2 Silos mit je 100 m³ aufgeteilt werden. Diese Siloanlage müssten ca. alle 3 Monate nachgefüllt werden.

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

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

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

Die Entnahme der PAK erfolgt mit der bestehenden Nachklärung. Um die Sedimentationsfähigkeit der PAK zu erhöhen, werden Fäll- und Flockungshilfsmittel zudosiert. Für eine PAK-Dosierung in die Belebung wird eine spezifische Dosiermenge (z_{FM}) von 7 mg (Fe oder Al)/l angenommen.

Hieraus ergibt sich der aktuelle Bedarf (M_{FM}) und der auf die zukünftige Ausbaugröße umgerechnete Bedarf ($M_{FM,Ausbau}$) jeweils an Fe bzw. Al aus dem verwendeten Fällmittel:

$$M_{FM} = z_{FM} * Q_a = 0,007 \text{ kg}_{FM}/\text{m}^3_{Abw.} * 19.215.851 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 134.511 \text{ kg}_{FM}/a$$

$$M_{FM,Ausbau} = z_{FM} * Q_{a,Ausbau} = 0,007 \text{ kg}_{FM}/\text{m}^3_{Abw.} * 22.990.393 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 160.933 \text{ kg}_{FM}/a$$

Die spezifische Dosiermenge für Flockungshilfsmittel (z_{FHM}) wird auf 0,3 mg/l abgeschätzt. Damit resultieren der aktuelle (M_{FHM}) und der auf die zukünftige Ausbaugröße berechnete ($M_{FHM,Ausbau}$) Bedarf an Flockungshilfsmittel:

$$M_{FHM} = z_{FHM} * Q_a = 0,0003 \text{ kg}_{FHM}/\text{m}^3_{Abw.} * 19.215.851 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 5.765 \text{ kg}_{FHM}/a$$

$$M_{FHM,Ausbau} = z_{FHM} * Q_{a,Ausbau} = 0,0003 \text{ kg}_{FHM}/\text{m}^3_{Abw.} * 22.990.393 \text{ m}^3_{Abw.}/a = 6.897 \text{ kg}_{FHM}/a$$

Zwei Fällmitteltanks mit einem Volumen von jeweils $V = 25 \text{ m}^3$ werden direkt an der 4. Reinigungsstufe geplant. Diese müssen etwa einmal im Monat nachgefüllt werden.

Für die Flockungshilfsmittel wird ein 1 m^3 Gebinde mit Dosiereinheit aufgestellt. Dieses muss ca. alle 1-2 Monate ausgetauscht werden.

Anordnung der Flockungsfiltration:

Bei dieser Variante muss ein zuverlässiger Rückhalt der eingesetzten PAK gewährleistet werden. Daher wird im Anschluss eine Flockungsfiltration geplant. Diese umfasst 16 Scheibentuchfilter mit einer Filterfläche von jeweils 90 m^2 (siehe Kap. 5.4.6). Das Abwasser kann der Flockungsfiltration im Freigefälle zugeführt werden.

5.4.3 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit den Abwasserstrom der Hauptkläranlage Münster mittels Pulveraktivkohle (PAK) zu behandeln, ist die PAK-Dosierung in eine separate Behandlungsstufe, die sich an die Nachklärung anschließt (siehe auch Kap. 3.1.3.2). Das gereinigte Abwasser wird in ein Kontaktbecken geleitet, in welches die PAK dosiert wird. In den folgenden Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene PAK vom behandelten Abwasser getrennt. Eine Filtration ist zur Abtrennung von Rest-PAK aus dem Ablauf der Sedimentationsstufe und zur weitergehenden Phosphorelimination vorgesehen (siehe auch Kap. 5.1).

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

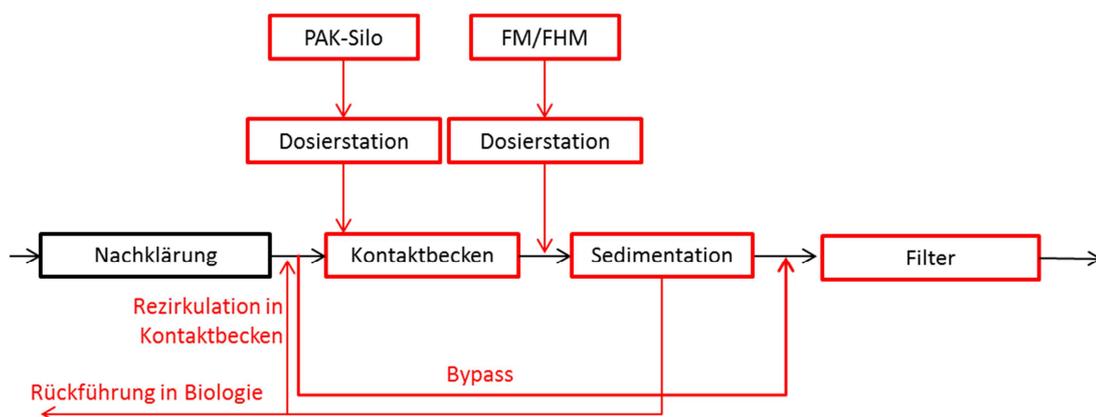


Abbildung 5-5: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2)

In Anlehnung an die Auslegungsempfehlung nach (22) kann für die PAK-Dosierung in Kontaktbecken, in welches vorbehandeltes, möglichst feststoffreies Abwasser zufließt, eine übliche Dosierrate (z_{PAK}) von $10 - 20 \text{ mg}_{PAK}/\text{l}$ 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 $2 \text{ m}/\text{h}$ empfohlen.

Auslegung Kontaktbecken:

Für die Kontaktzeit ($t_{\text{Kont.}}$) werden 30 Minuten gewählt. Damit ergibt sich das folgende Volumen für das Kontaktbecken ($V_{\text{Kont.}}$) zu:

$$V_{\text{Kont.}} = Q_{\text{bem.}} \cdot t_{\text{Kont.}} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,5 \text{ h} = 1.500 \text{ m}^3$$

Die Wasserspiegelhöhe in Kontaktbecken ($h_{\text{Kont.}}$) wird auf 4 Meter festgelegt. Damit ergibt sich ein notwendiger Flächenbedarf ($A_{\text{Kont.}}$) allein für das Nutzvolumen von:

$$A_{\text{Kont.}} = V_{\text{Kont.}} / h_{\text{Kont.}} = 1.500 \text{ m}^3 / 4 \text{ m} = 375 \text{ m}^2$$

Auslegung Sedimentationsbecken:

Für die Absetzzeit ($t_{\text{Abs.}}$) im Sedimentationsbecken werden 120 Minuten gewählt. Damit ergibt sich das Volumen für das Sedimentationsbecken ($V_{\text{Sedi.}}$):

$$V_{\text{Sedi.}} = Q_{\text{bem.}} \cdot t_{\text{Abs.}} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 2 \text{ h} = 6.000 \text{ m}^3$$

Die Oberflächenbeschickung ($q_{\text{a, Sedi.}}$) für das Sedimentationsbecken wird auf 2 m/h festgelegt und darf nicht überschritten werden. Die erforderliche Oberfläche des Sedimentationsbeckens ($A_{\text{Sedi.}}$) ergibt sich damit zu:

$$A_{\text{Sedi.}} = Q_{\text{bem.}} / q_{\text{a, Sedi.}} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} / 2 \text{ m/h} = 1.500 \text{ m}^2$$

Wird eine Rezirkulation der PAK vorgesehen, dann ist ein Rezirkulations-Pumpwerk erforderlich. Das Rezirkulationsverhältnis (RV) wird für den Bemessungsfall mit 0,7 angesetzt. Die erforderliche Pumpleistung (für $Q_{\text{Rez.}}$) ergibt sich damit zu:

$$Q_{\text{Rez.}} = Q_{\text{bem.}} \cdot \text{RV} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,7 = 2.100 \text{ m}^3/\text{h}$$

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. Für die Abschätzung der jährlichen Menge an PAK (M_{PAK}) wird eine mittlere Dosierrate (C_{PAK}) von 10 mg/l angesetzt. Als derzeitige Jahreswassermenge wird die in der auf 3.000 m³/h ausgelegten 4. Reinigungsstufe behandelte Jahreswassermenge von 17.698.216 m³/a angesetzt. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass von der angenommenen zukünftigen Jahreswassermenge (22.910.393 m³/a) ein Anteil von 87 % behandelt werden kann. Damit ergibt sich eine zukünftig in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwassermenge von 19.932.042 m³/a.

Damit ergibt sich die derzeitige erforderliche Jahresmenge zu:

$$M_{\text{PAK}} = C_{\text{PAK}} \cdot Q_{\text{a}} = 0,01 \text{ kg/m}^3 \cdot 17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} = 176.982 \text{ kg/a}$$

Die erforderliche PAK-Menge für die auf die zukünftige Ausbaugröße umgerechnete Jahreswassermenge ($M_{\text{PAK, Ausbau}}$) liegt bei:

$$M_{\text{PAK,Ausbau}} = C_{\text{PAK}} * Q_{\text{a,Ausbau}} = 0,01 \text{ kg/m}^3 * 19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} = 199.320 \text{ kg/a}$$

Um eine gute Bewirtschaftung der PAK-Mengen am Standort zu ermöglichen, wird eine Gesamt-Silogröße von 100 m³ für den Standort vorgeschlagen. Diese kann auf 2 Silos mit jeweils einer Größe von 50 m³ aufgeteilt werden, so dass eine bessere Bewirtschaftung der Silos möglich ist. Damit müsste eine Nachfüllung der Silos sowohl bei Berücksichtigung der derzeitigen Wassermengen als auch zukünftig etwa alle 3 Monate erfolgen.

Abschätzung des Jahresverbrauchs an Fällmitteln und Flockungshilfsmittel

Zur Bildung von gut absetzbaren Pulveraktivkohleflocken können Flockungshilfsmittel sowie Eisen- bzw. Aluminiumprodukte als Fällmittel eingesetzt werden.

Die optimale Dosierate für Fällmittel und Flockungshilfsmittel ist für den Standort zu ermitteln. Zur Abschätzung der erforderlichen Jahresmengen werden folgende spezifische Dosieraten gewählt:

Für Eisenprodukte:

Dosierate Fe = 0,3 g Fe / g PAK

Aktuell erforderliche Jahresmenge Fe:

$$17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} * 0,01 \text{ kg PAK/m}^3 * 0,3 \text{ kg Fe/kg PAK} = 53.095 \text{ kg Fe/a}$$

Bei Erreichen der zukünftigen Ausbaugröße erforderliche Jahresmenge Fe:

$$19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} * 0,01 \text{ kg PAK/m}^3 * 0,3 \text{ kg Fe/kg PAK} = 59.796 \text{ kg Fe/a}$$

Für Aluminiumprodukte:

Dosierate Al = 0,2 g Al/ g PAK

Aktuell erforderliche Jahresmenge Al:

$$17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} * 0,01 \text{ kg PAK/m}^3 * 0,2 \text{ kg Al/kg PAK} = 35.396 \text{ kg Al/a}$$

Bei Erreichen der zukünftigen Ausbaugröße erforderliche Jahresmenge Al:

$$19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} * 0,01 \text{ kg PAK/m}^3 * 0,2 \text{ kg Al/kg PAK} = 39.864 \text{ kg Al/a}$$

Für Flockungshilfsmittel:

Dosierate FHM = 0,2 mg FHM/l

Aktuell erforderliche Jahresmenge FHM:

$$17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} * 0,2 \text{ mg FHM/l} = 17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} * 0,0002 \text{ kg FHM/m}^3 = 3.540 \text{ kg FHM/a}$$

Bei Erreichen der zukünftigen Ausbaugröße erforderliche Jahresmenge FHM:

$$19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} * 0,2 \text{ mg FHM/l} = 18.668.199 \text{ m}^3/\text{a} * 0,0002 \text{ kg FHM/m}^3 = 3.986 \text{ kg FHM/a}$$

Für die Fällmittel werden zwei 25 m³ Silos an der 4. Reinigungsstufe geplant. Diese müssen, je nach eingesetztem Fällmittel, etwa alle 3 Monate nachgefüllt werden. Für die FHM wird direkt an der 4. Reinigungsstufe ein 1 m³ Gebinde mit Dosiereinheit aufgestellt, das etwa alle 3 Monate ausgetauscht werden muss.

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

Das Abwasser wird der 4. Reinigungsstufe im Freigefälle zugeführt. Die Kontaktbecken werden als zwei rechteckige Becken mit jeweils einer Leitwand und 2 Rührwerken ausgeführt. Sie haben jeweils ein Volumen von 850 m³. Vor der Ausführung sollte die optimale Beckengeometrie z.B. unter Nutzung der Strömungssimulation detailliert untersucht werden.

Nachgeschaltet befinden sich die Sedimentationsbecken, die als Rundbecken ausgeführt werden. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Schneckenpumpwerk vorgesehen (Q = 3 * 1.080 m³/h inkl. Reserve). Die nachgeschaltete Flockungsfiltration ist für die Vollstrombehandlung ausgelegt und umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m² (s. Kap. 5.4.6).

Die Verfahrensvariante PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 5-6 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 5-7 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist Anhang C – Pläne (Kap. 9.1) beigelegt.

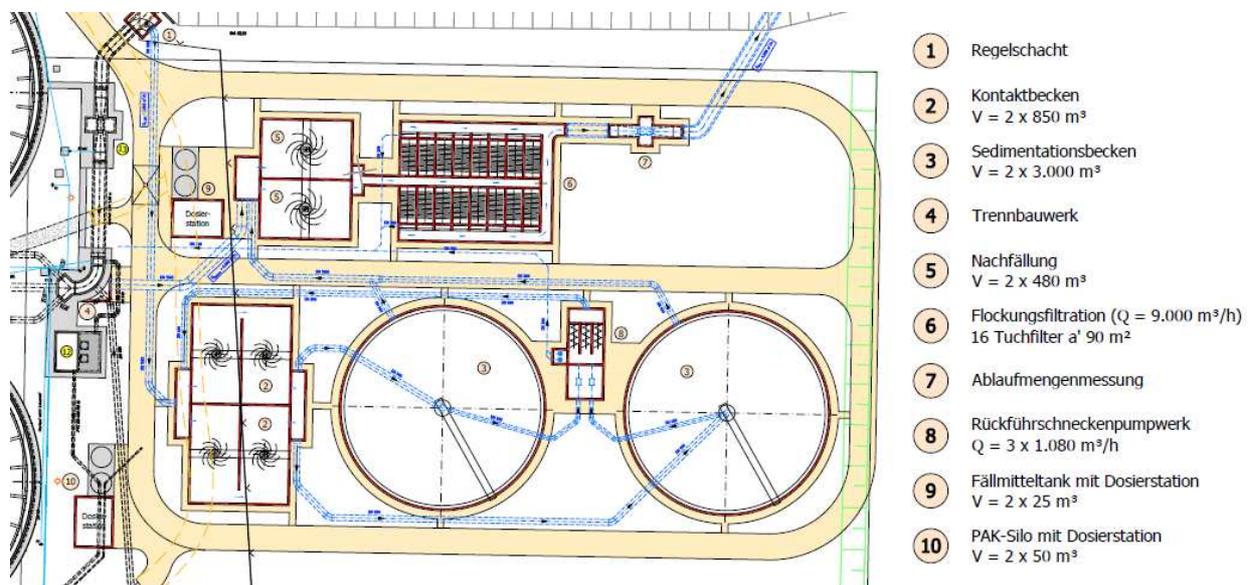


Abbildung 5-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

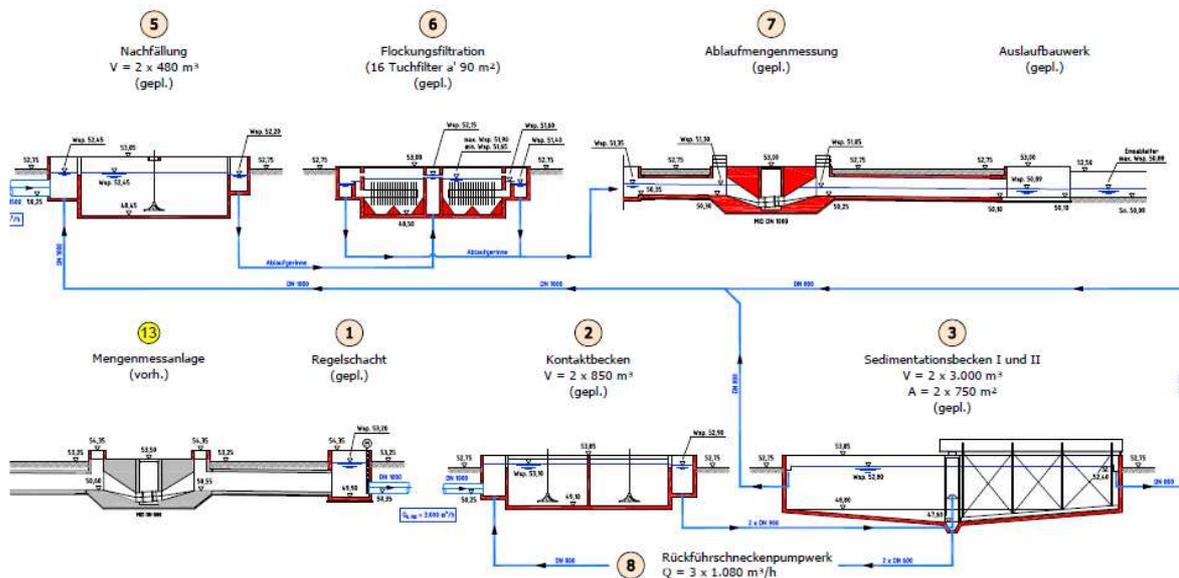


Abbildung 5-7: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

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 eine Voraussetzung. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignen sich z.B. biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration (26).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 5-8 gezeigt.

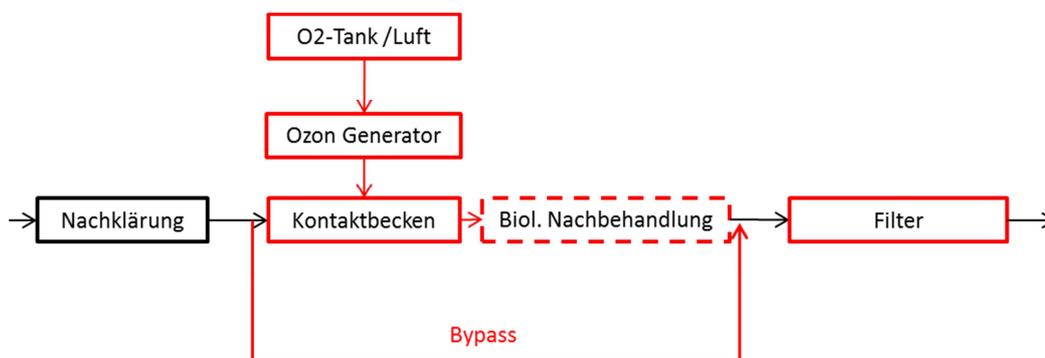


Abbildung 5-8: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3)

Für die Auslegung der Ozonungsanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (22). Die erforderliche Dosiererate kann zwischen 0,6 – 0,9 mg O₃/mg DOC angesetzt werden. (21), (22). Zusätzlich ist zu be-

rücksichtigen, ob im Ablauf der Nachklärung signifikante $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen auftreten. Nitrit wird durch Ozon zu Nitrat oxidiert und führt zu einer hohen Ozonzehrung von $3,4 \text{ mg O}_3/\text{mg NO}_2\text{-N}$. Falls eine Ertüchtigung der Biologie zur Senkung der Nitritablauf-Konzentration nicht möglich ist, ist dieses bei der Auslegung des Ozonerzeugers zu berücksichtigen.

Auslegung des Ozonerzeugers

Für die Auslegung des Ozonerzeugers wird eine spezifische Ozondosierrate ($z_{\text{spez.}}$) von $0,8 \text{ g O}_3/\text{g DOC}$ angesetzt. Die relevante DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonanlage wird über die ausgewerteten CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung festgestellt. Die Auswertung der Betriebsdaten (siehe auch Kap. 4.3) zeigt, dass die CSB-Konzentration im Mittel bei $29,1 \text{ mg/l}$ liegen, allerdings werden auch immer wieder Werte um 35 mg/l erreicht. Die Konzentrationen erreichen jedoch nur gelegentlich Konzentrationen über 35 mg/l . Für die Bemessung des Ozongenerators wird daher diese Konzentration als maßgeblich angesetzt. Rechnet man die CSB-Konzentration von 35 mg/l auf eine DOC-Konzentration um, dann ergibt sich eine DOC-Konzentration (c_{DOC}) von $10,6 \text{ mg/l}$ (mit Umrechnungsfaktor $\text{CSB}/\text{DOC} = 3,3$). Die erforderliche Zielozonkonzentration (c_{O_3}) im Abwasser kann damit wie folgt berechnet werden.

$$c_{\text{O}_3} = c_{\text{DOC}} * z_{\text{spez.}} = 10,6 \text{ mg}_{\text{DOC}}/\text{l} * 0,8 \text{ mg}_{\text{O}_3}/\text{mg}_{\text{DOC}} = 8,48 \text{ mg}_{\text{O}_3}/\text{l} = 8,48 \text{ g}_{\text{O}_3}/\text{m}^3$$

Im Ablauf der Hauptkläranlage Münster liegt die $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentration im Mittel bei $0,27 \text{ mg/l}$. Nur selten liegen die Konzentrationen über 1 mg/l . Die höchste Konzentration im betrachteten Zeitraum liegt bei $1,96 \text{ mg/l}$. Insgesamt sollte die Ozonzehrung für die Nitritoxidation mit in Betracht gezogen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Nitritkonzentration bei Umsetzung des Ozonverfahrens zukünftig gesenkt werden kann. Für eine $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentration von 1 mg/l ($\hat{=} 1 \text{ g}/\text{m}^3$) ergibt sich daher ein zusätzlicher Ozonbedarf $c_{\text{O}_3, \text{NO}_2\text{-N}}$ von

$$c_{\text{O}_3, \text{NO}_2\text{-N}} = c_{\text{NO}_2\text{-N}} * z_{\text{spez. NO}_2\text{-N}} = 1 \text{ mg NO}_2\text{-N}/\text{l} * 3,4 \text{ mg O}_3/\text{mg NO}_2\text{-N} = 3,4 \text{ mg O}_3/\text{l}.$$

Die benötigte Ozonkonzentration $c_{\text{O}_3, \text{ges}}$ liegt dementsprechend bei

$$c_{\text{O}_3, \text{ges}} = c_{\text{O}_3} + c_{\text{O}_3, \text{NO}_2\text{-N}} = 8,48 \text{ g}/\text{m}^3 + 3,4 \text{ g}/\text{m}^3 = 11,88 \text{ g O}_3/\text{m}^3.$$

Mit der vorgenannten Ozon-Zielkonzentration und dem Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem.}}$) von $3.000 \text{ m}^3/\text{h}$ kann die Produktionskapazität des Ozonerzeugers (B_{O_3}) berechnet werden:

$$B_{\text{O}_3} = Q_{\text{bem.}} * c_{\text{O}_3, \text{ges}} = 3.000 \text{ m}^3/\text{h} * 11,88 \text{ g O}_3/\text{m}^3 = 36 \text{ kg O}_3/\text{h}.$$

Dementsprechend sind zwei Ozonerzeuger mit einer Kapazität von jeweils $18 \text{ kg O}_3/\text{h}$ erforderlich.

Abschätzen des Sauerstoffbedarfs und Ermittlung der Größe des Sauerstofftanks

Für die geplante Ozonisierungsanlage wird in diesem Fall flüssiger Sauerstoff (LOX) für die Herstellung von Ozon vorgesehen. Für die Erzeugung von einem Gramm Ozon wird die 10-fache Menge ($f_{\text{O}_2/\text{O}_3}$) an Sauerstoff benötigt. Für die Abschätzung der voraussichtlich benötigten Jahresmengen an flüssigem Sauerstoff wird die behandelte Jahresabwassermenge von ca. $17.698.216 \text{ m}^3$ bzw. $19.932.042 \text{ m}^3$ (auf die zukünftige Ausbaugröße hochgerechnet) und die mittlere CSB- (bzw. DOC-) Konzentration im Ablauf

der Nachklärung von 29,1 mg/l CSB bzw. 8,82 mg/l DOC eingesetzt. Die NO₂-N-Konzentration liegt im Mittel bei 0,27 mg/l und wird hier vernachlässigt. Die aktuell benötigte Jahresmenge an O₂ (M_{O₂}) ergibt sich damit zu:

$$M_{O_2} = (17.698.216 \text{ m}^3/\text{a} * 8,82 \text{ g/m}^3 \text{ DOC}) * 0,8 \text{ g O}_3/\text{g DOC} * 10 \text{ g O}_2/\text{g O}_3 = 1.248.529 \text{ O}_2 \text{ kg/a.}$$

Die auf die zukünftige Ausbaugröße der Hauptkläranlage Münster umgerechnete Jahresmenge an O₂ (M_{O₂,Ausbau}) beträgt damit:

$$M_{O_2,Ausbau} = (19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} * 8,82 \text{ g/m}^3 \text{ DOC}) * 0,8 \text{ g O}_3/\text{g DOC} * 10 \text{ g O}_2/\text{g O}_3 = 1.406.115 \text{ O}_2 \text{ kg/a.}$$

Die zurzeit erforderliche Jahresmenge an flüssigem Sauerstoff wird auf ca. 1.248.529 kg abgeschätzt.

Bereitstellung des Flüssigsauerstoffs:

Die Größe der beiden Sauerstofftanks wird so gewählt, dass eine Sauerstofflieferung ca. alle 4 Wochen erfolgt. Damit sind zwei Sauerstofftanks von je 50 m³ erforderlich. Die Sauerstofftanks werden gemietet.

Auslegung des Ozonreaktors:

Das Volumen des Ozonreaktors wird über die erforderliche Aufenthaltszeit im Reaktor bestimmt. Die Aufenthaltszeit (t_{Aufenth.}) setzt sich aus der eigentlichen Reaktions- und der Ausgasungszeit zusammen und berücksichtigt damit die notwendige Zeit für die Ozonreaktion, Zehrung und Ausgasung von Ozon. Die mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss kann mit 15 – 30 Minuten festgelegt werden (22). Für den Standort Münster werden eine Reaktionszeit (T_{Reakt.}) von 15 Minuten und eine Ausgasungszeit (t_{Ausgas.}) von 10 Minuten im Bemessungsfall angesetzt. Damit ergibt sich das erforderliche Reaktorvolumen (V_{Ozonr.}) als:

$$V_{Ozonr.} = (t_{Reakt.} + t_{Ausg.}) * Q_{bem} = (15 \text{ min} + 10 \text{ min}) * 3.000 \text{ m}^3/\text{h} = 1.250 \text{ m}^3$$

Das Reaktionsvolumen des Ozonreaktors wird auf 2 Straßen aufgeteilt. Dabei wird ein Mindestwasserspiegel von 5 m angesetzt. Die Straßen werden mit einem Volumen von jeweils 690 m³ sowie als Schlaufenreaktoren mit Leitwänden ausgeführt. Vor der Ausführung wird eine Strömungsoptimierung des Beckens mit Hilfe einer CFD-Simulation empfohlen.

Die Ozonreaktoren müssen 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 entfernt werden können. Eine biologische Nachbehandlung kann mit verschiedenen Verfahren erfolgen, z.B. durch biologisch aktive Filter oder GAK-Filter (26), Wirbel- oder Festbettreaktoren, Tropfkörper etc. Im Konzept für die Hauptkläranlage Münster wird eine Nachbehandlung in einem biologisch aktiven Filter (Flockungsfiltration) vorgesehen.

Anordnung der Ozonanlage und Flockungsfiltration:

Auch bei dieser Variante wird das Abwasser der 4. Reinigungsstufe im Freigefälle zugeführt. Das Abwasser durchläuft den Ozonreaktor und danach die Flockungsfiltration. Auch hier wird die Flockungsfiltration als Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m². Für den Ozonerzeuger, die Sauerstofftanks sowie die notwendige Kühleinheit wird ein neues Betriebsgebäude benötigt.

Ein Lageplanausschnitt für die Variante 3 (Ozon) ist in Abbildung 5-9 gezeigt, ein Längsschnitt in Abbildung 5-10. Der komplette Lageplan ist Anhang C – Pläne (Kap. 9.2) beigelegt.

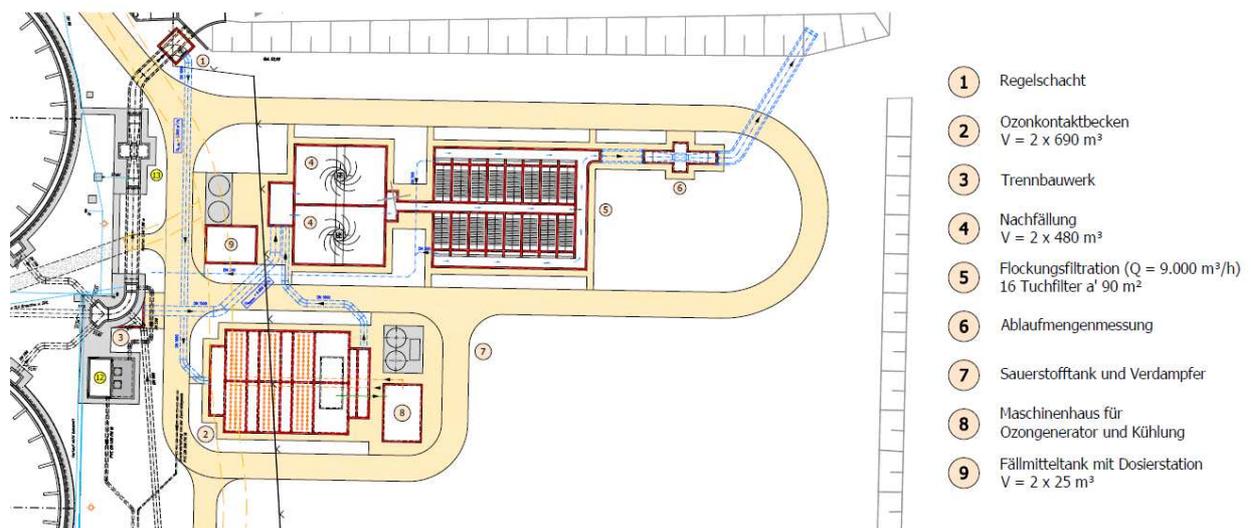


Abbildung 5-9: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

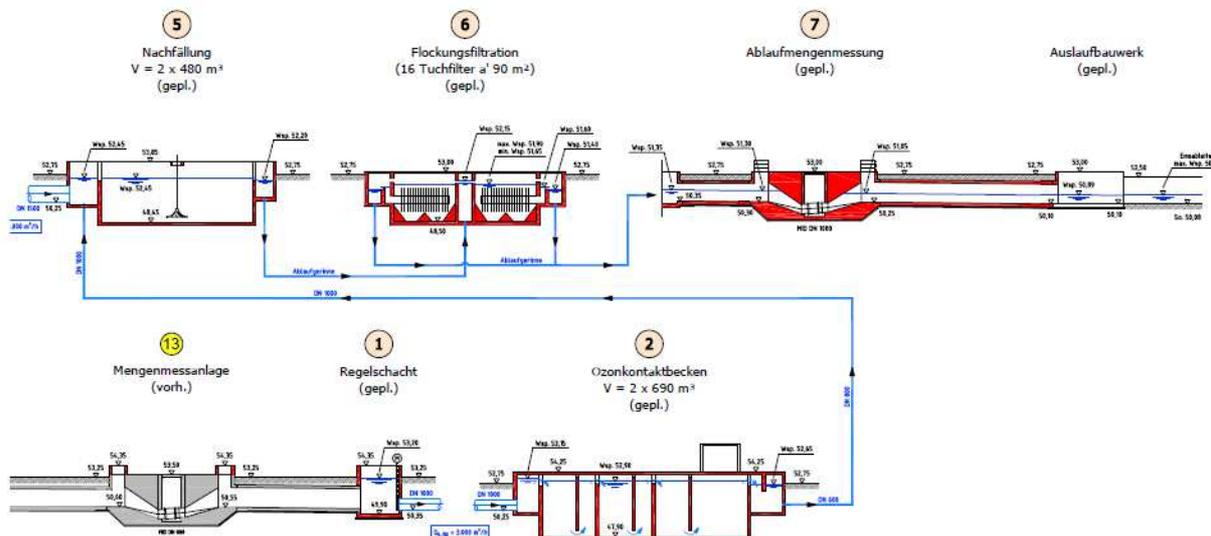


Abbildung 5-10: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

5.4.5 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

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

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

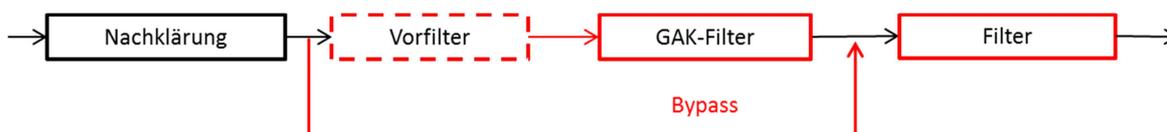


Abbildung 5-11: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK)

Die GAK-Filtration wird in der Regel auf eine Leerbettkontaktzeit (EBCT) zwischen 5 – 30 Minuten und einer Filterbettgeschwindigkeit von 5 – 15 m/h bemessen (22).

Auslegung der GAK-Filtration:

Für die Auslegung der GAK-Filtration wird der Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem.}}$) von 3.000 m³/h zuzüglich des Rückspülwassers ($Q_{\text{Rück}}$; ca. 10 % der **zukünftig** in der 4. Reinigungsstufe behandelten Jahresabwassermenge von 19.932.042 m³/a) eingesetzt. $Q_{\text{Rück}}$ ergibt sich damit als:

$$Q_{\text{Rück}} = 19.932.042 \text{ m}^3/\text{a} * 0,1 / 365 \text{ d/a} / 24 \text{ h/d} = 228 \text{ m}^3/\text{h}$$

Die Leerbettkontaktzeit ($t_{\text{Kont.,GAK}}$) wird auf 20 Minuten und die maximale Filterbettgeschwindigkeit (v_{Filt}) auf 10 m/h festgesetzt. Das rechnerisch erforderliche Filtrervolumen ($V_{\text{Filt.,GAK}}$) ergibt sich damit zu:

$$V_{\text{Filt. GAK}} = (Q_{\text{bem}} + Q_{\text{Rück}}) * t_{\text{Kont.,GAK}} = (3.000 + 228) \text{ m}^3/\text{h} * 0,333 \text{ h} = 1.076 \text{ m}^3$$

Die Filterbetthöhe der GAK (h_{Filt}) wird mit 2,0 m angesetzt. Damit ergibt sich eine benötigte Gesamtfläche der GAK-Filtration von (A_{Filt}):

$$A_{\text{Filt}} = V_{\text{Filt}} / h_{\text{Filt}} = 1.076 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} = 538 \text{ m}^2$$

Aus der erforderlichen Fläche (A_{Filt}) ergibt sich durch den Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem}} + Q_{\text{Rück}}$) die Filtergeschwindigkeit

$$v_{\text{Filt}} = (Q_{\text{bem.}} + Q_{\text{Rück}}) / A_{\text{Filt.}} = (3.000 + 228) \text{ m}^3/\text{h} / 538 \text{ m}^2 = 6 \text{ m/h}$$

Damit wird im Auslegungsfall die maximale Filtergeschwindigkeit ($v_{\text{Filt.}}$) von 10 m/h nicht überschritten.

Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallele Filter aufgeteilt. Es werden 16 parallele Filter mit einer Fläche von je 36 m² gewählt. Das Gesamfiltrervolumen liegt demnach bei etwa 1152 m³. Auf diese Weise ist eine ausreichende Filterkapazität auch dann sichergestellt, wenn sich ein Filter in Rückspülung befindet.

Abschätzung des GAK-Bedarfs:

Für die Abschätzung des GAK-Bedarfs wird ohne vorherige Untersuchungen im Labor davon ausgegangen, dass der Zulauf der GAK-Stufe nahezu feststofffrei ist (Filtration erfolgt vor der GAK-Filtration). Unter diesen Voraussetzungen kann beim Betrieb der Anlage von erreichbaren Bettvolumina von bis zu 15.000 Bettvolumina (BTV) ausgegangen werden. Damit ergäben sich eine derzeitige Nutzungsdauer der GAK von ca. 10 Monaten und eine zukünftige Nutzungsdauer von ca. 9 Monaten.

Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Im Fall der Variante 4 wird das Abwasser der GAK-Filtration über ein Zwischenpumpwerk zugeführt. Das Abwasser wird auf die 16 parallel betriebenen Filter verteilt. Die Flockungsfiltration kann vor oder nach der GAK-Filtration betrieben werden. Wird diese vor der GAK-Filtration betrieben, erhöht sich jedoch die Standzeit der GAK. Die Flockungsfiltration ist auf eine Vollstrombehandlung ausgelegt. Sie umfasst 16 Scheibentuchfilter mit je einer Filterfläche von 90 m².

Der Lageplanausschnitt für Variante 4 ist in Abbildung 5-12 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 5-13. Der komplette Lageplan ist Anhang C – Pläne (Kap. 9.3) beigefügt.

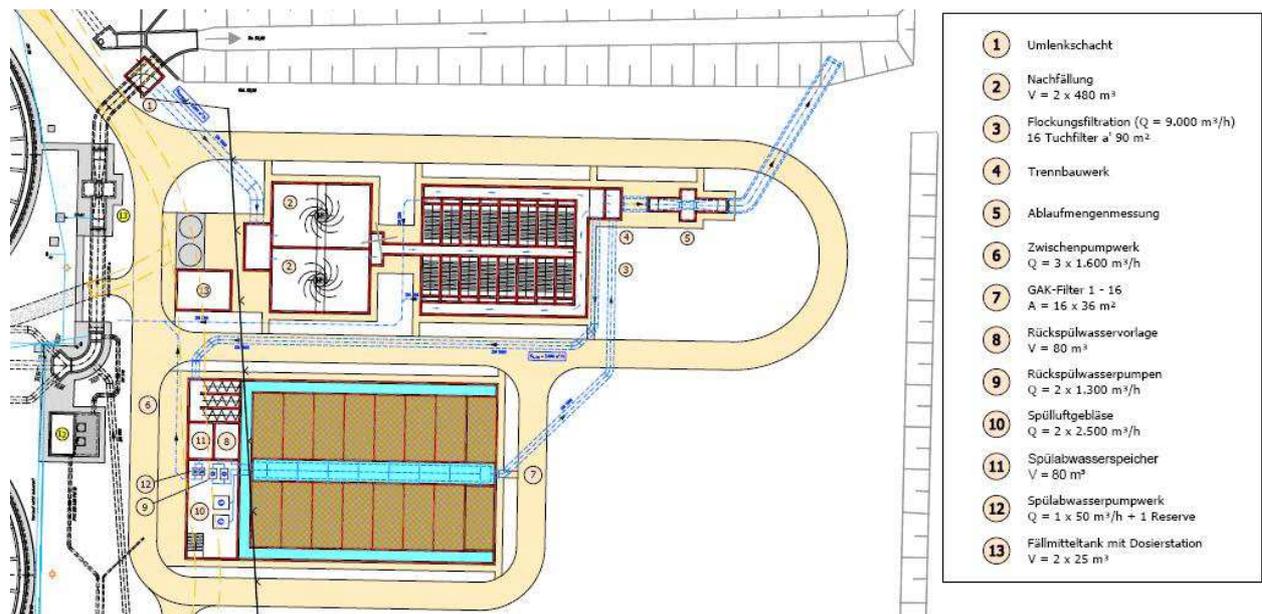


Abbildung 5-12: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplan

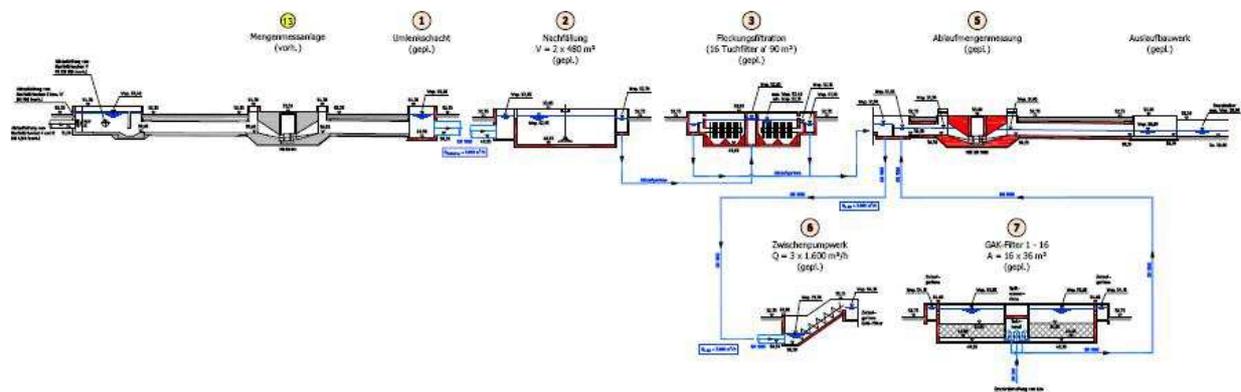


Abbildung 5-13: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

5.4.6 Variante 5: Ozonbehandlung mit anschließender GAK-Filtration

Die Variante 5 stellt eine Kombination der Varianten 3 und 4 dar. Zunächst durchläuft das Abwasser die Ozonung, bevor es in die GAK-Filtration gelangt. Der Einsatz einer Flockungsfiltration ist optional, vor dem Hintergrund der Mikroplastikelimination jedoch empfehlenswert. Die Dimensionierung ist den Beschreibungen der einzelnen Varianten 3 und 4 (Kapitel 5.4.4 & 5.4.5) zu entnehmen.

Die Kombination von Ozonung und GAK bietet diverse Vorteile, wie eine höhere Eliminationsbandbreite und -effizienz. Auch können so die bei der Ozonung entstehenden Transformationsprodukte, deren Wirkungen in der Umwelt größtenteils unbekannt sind, eliminiert werden. Es ist jedoch evident, dass die Kombination zweier Verfahren mit höheren Kosten verbunden ist. Die Variante 5 wird deshalb ausschließlich qualitativ berücksichtigt und nicht weiter finanziell betrachtet oder verglichen.

5.4.7 Auslegung der Flockungsfiltration

Wie in Kap. 5.1 beschrieben, wird am Standort Münster eine Flockungsfiltration als Vollstromfiltration zur weitergehenden P-Elimination eingeplant. Des Weiteren ist für die 4. Reinigungsstufe eine nachgeschaltete Filtration erforderlich, um Restfraktionen der Pulveraktivkohle abzuscheiden oder wie bei der Ozonierung auftretende Transformationsprodukte in einem biologisch aktiven Filter abzubauen (vgl. Kap. 3.7). Auch bei der granulierten Aktivkohle kann eine zusätzliche Filtrationsstufe erforderlich sein, um einen effektiven Suspensa-Rückhalt vor der GAK-Filtration sicherzustellen.

Nachfolgend wird die Filtrationsstufe exemplarisch für die weitergehende P-Elimination ausgelegt. In diesem Fall ist eine Vollstrombehandlung des Abwasserstroms erforderlich. Alle anderen Anwendungsfälle der 4. Reinigungsstufe (s.o.), die zum Teil eine geringere Filterfläche erfordern würden, können damit ebenfalls abgedeckt werden.

Der Bemessungsvolumenstrom ($Q_{\text{bem.,Filt.}}$) für die Auslegung der Flockungsfiltration beträgt 9.000 m³/h.

Raumfiltration:

Die Bemessung von Raumfiltern (Sandfiltern, etc.) erfolgt über die Filtergeschwindigkeit ($v_{\text{Filt.}}$). Empfohlen werden die folgenden Filtergeschwindigkeiten ($v_{\text{Filt.}}$): Für den Trockenwetterfall 7,5 m/h und im Regenwetterfall 15 m/h.

Für den vorliegenden Fall wird die Filtergeschwindigkeit auf 10 m/h festgelegt. Dem Bemessungsvolumenstrom muss das Rückspülwasser hinzugerechnet werden. Die Rückspülwassermenge ($Q_{\text{rück}}$) wird mit 10 % der zukünftigen Jahresabwassermenge von 22.910.393 m³/a angenommen. Sie beträgt:

$$Q_{\text{Rück}} = 22.910.393 \text{ m}^3/\text{a} * 0,1 / 365 \text{ d/a} / 24 \text{ h/d} = 262 \text{ m}^3/\text{h}$$

Damit ergibt sich eine erforderliche Filterfläche ($A_{\text{Filt., ges.}}$) von:

$$A_{\text{Filt., ges.}} = (Q_{\text{bem.,Filt.}} + Q_{\text{rück}}) / v_{\text{Filt.}} = 9.262 \text{ m}^3/\text{h} / 10 \text{ m/h} = 924 \text{ m}^2$$

Es wird ein 2-Schichtfilter mit einer Sandschicht von 1 m und einer Hydroanthrazitschicht von 1 m vorgesehen. Um auch bei der Rückspülung eines Filters eine ausreichende Filterfläche verfügbar zu haben, werden mindestens 23 Filtereinheiten mit einer Fläche von 42 m² (6 m * 7,5 m) gewählt.

Für die Speicherung des Spülwassers und des Rückspülwassers werden Speicher mit einem Nutzvolumen von 385 m³ vorgesehen.

Tuchfilter/Gewebefilter:

Alternativ zur Raumfiltration können Gewebefilter eingesetzt werden. Diese können z.B. als Trommelfilter oder Scheibenfilter ausgeführt werden.

Exemplarisch wird die Filterstufe für den Einsatz von Polstoff-Tuchfiltern der Firma Mecana ausgelegt, wobei die Berechnung der erforderlichen Filterfläche durch den Hersteller erfolgte.

Für die Tuchfilter von Mecana werden eine maximale Filtergeschwindigkeit von 10 m/h sowie eine maximale Feststoffflächenbelastung von 0,2 kg/m³/h empfohlen. Für die Auslegung wurden die in Tabelle 5-4 zusammengefassten Daten zu Grunde gelegt.

Tabelle 5-4: Auslegungsdaten Tuchfilter

	Einheit	Mittel	Spitze
Stundendurchfluss	m ³ /h	3.200	9.000
Feststoffkonzentration im Zulauf der Filtration	mg/l	15	28

Bei Ansatz der maximalen Filtergeschwindigkeit ergibt sich eine benötigte Filterfläche zwischen 320 und 900 m²; bei Betrachtung der Feststoffflächenbelastung beträgt die benötigte Filterfläche zwischen 240 und 1.260 m². Die größere der beiden berechneten Flächen wird für die Auslegung gewählt.

Es werden daher mind. 14 Scheibenfilter (Mecana Scheibenfilter Typ SF18/90) mit einer Filterfläche von 90 m²/Stk. benötigt. Als Reserve werden zwei weitere Filter geplant, so dass insgesamt 16 Scheibentuchfilter mit einer Filterfläche von jeweils 90 m² zur Verfügung stehen. Damit ist sichergestellt, dass eine ausreichende Filterfläche zur Verfügung steht, wenn eine Filtereinheit gereinigt wird. Eine Spülwasser- und Rückspüleinheit ist nicht erforderlich.

Grundsätzlich ist es möglich, bei der Verwendung von Tuchfiltern auf ein Sedimentationsbecken bei der Variante 2 zu verzichten. Dies zeigen erste Versuche in Stuttgart (Projekt Mikroflocc, (24)). Aktuell laufen lt. Hersteller der Tuchfilter weitere Versuche dazu auf der Kläranlage Enningerloh. Es ist allerdings zu beachten, dass dadurch die Ausnutzung der PAK ggf. geringer wird, weswegen das Verfahren mit Sedimentationsbecken eine höhere Sicherheit bietet. Aufgrund der fehlenden Datenlage ist diese Variante zurzeit nicht zu empfehlen, aber es handelt sich um eine interessante Möglichkeit, die evtl. in der Zukunft eine Rolle spielen könnte.

Fuzzy Filter:

Bei Fuzzy Filtern handelt es sich um ein Filtersystem der Firma Bosman Watermanagement GmbH, das auf einem kompressiven, permeablen Filtermedium beruht. Dieses Filtermedium besteht aus Bällen aus Polyphenylsulphid-Fasern. Die Porenweite des Filtermediums ist durch Kompaktierung variabel einstellbar. (39)

Die Auslegung der Fuzzy Filter erfolgte durch den Hersteller. Nach dieser Auslegung werden für eine Vollstrombehandlung von 9.000 m³/h 20 Fuzzy Filter der Größe Typ 8 benötigt. Die Kosten sind vergleichbar mit denen für eine Tuchfilteranlage.

Auch bei der Wahl von Fuzzy Filtern ist es lt. Hersteller möglich, auf ein Sedimentationsbecken zu verzichten und die PAK direkt im Filter abzuscheiden. Allerdings existieren noch keine Daten aus großtechnischen Versuchen oder sogar gebauten Anlagen, deswegen wird diese Variante nicht zur Umsetzung empfohlen. Es lohnt sich jedoch auch hier, die weitere Entwicklung zu beobachten.

Aufgrund der wenigen Referenzen für die Verwendung von Fuzzy Filtern für eine 4. Reinigungsstufe wurde in dieser Studie die Verwendung von Tuchfiltern exemplarisch berücksichtigt.

6 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken und die wirtschaftliche Bewertung werden für die Hauptkläranlage Münster folgende Verfahrenskonzepte berücksichtigt:

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

Es gilt dabei, die o.g. Verfahrenskonzepte wirtschaftlich zu vergleichen. Für den wirtschaftlichen Vergleich werden die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW veröffentlichten Vorgaben zur Kostenermittlung genutzt (40). 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. Zusätzlich wird eine 5. Variante untersucht:

- Variante 5: Ozonierung und GAK-Filtration

Da es sich bei der Variante 5 um eine Kombination der Varianten 3 und 4 handelt, wird diese nicht wirtschaftlich betrachtet. In erster Näherung ist davon auszugehen, dass die Kosten für die beiden Varianten addiert werden können, wobei zu beachten ist, dass die Flockungsfiltration nicht doppelt vorgesehen wird.

6.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen Varianten ist eine Abschlussfiltration mittels Tuchfiltration für den Vollstrom enthalten (u.a. im Hinblick auf eine weitergehende P-Elimination).
- Zwei neue Fällmitteltanks ($V = 2 \times 25 \text{ m}^3$) werden an der 4. Reinigungsstufe errichtet.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem separaten Maschinenhaus.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei Variante 4 (GAK-Filtration) muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe zu beschicken.
- Für die Unterbringung der neuen Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse für Variante 4 ist ein Maschinenhaus mit Pumpenkeller und Hochbauteil eingeplant.

Bei der Variante 1 ist gegebenenfalls eine Ertüchtigung der 5 Nachklärbecken erforderlich. Die dafür erforderlichen Investitionen betragen netto rund $5 \times 300.000 \text{ €} = 1.500.000 \text{ €}$, sie werden bei der Kostenschätzung und der wirtschaftlichen Bewertung nicht berücksichtigt.

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

Tabelle 6-1: Zusammenstellung der geschätzten Investitionskosten (inkl. Tuchfiltration)

	Variante 1 PAK-Dosierung in die Belebung	Variante 2 PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Variante 3 Ozonung	Variante 4 GAK-Filtration
Baukosten	1.847.000,00 €	4.195.000,00 €	3.016.000,00 €	4.482.000,00 €
Maschinentechnik- Kosten	3.597.000,00 €	4.235.000,00 €	4.403.000,00 €	4.728.200,00 €
EMSR-Technik-Kosten	719.000,00 €	847.000,00 €	881.000,00 €	946.000,00 €
Baunebenkosten	1.078.000,00 €	1.624.000,00 €	1.453.000,00 €	1.777.000,00 €
Investitionskosten netto	7.241.000,00 €	10.901.000,00 €	9.753.000,00 €	11.933.200,00 €
Investitionskosten brutto	8.616.790,00 €	12.972.190,00 €	11.606.070,00 €	14.200.508,00 €

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen ist der Anlage B (Kapitel 8.1 bis 8.4) zu entnehmen. Die Kostenangaben basieren auf den Submissionsergebnissen aus der Ausschreibung vergleichbarer Anlagen und auf Anfragen von Richtpreisen für Hauptkomponenten bei verschiedenen Lieferanten.

Die Investitionen sind für Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) mit 8.616.790 Euro brutto mit Abstand am niedrigsten. Bei dieser Variante sind die geringsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für Variante 3 (Ozon) sind Investitionen von 11.606.070 Euro brutto erforderlich. Die Investitionen für die Aktivkohlevarianten liegen bei 12.972.190 Euro brutto für Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und bei 14.200.508 Euro brutto für Variante 4 (GAK).

Für die Ozonbehandlung und die GAK-Filtration wäre streng genommen verfahrenstechnisch keine Flockungsfiltration notwendig. Würde man diese Kosten entfallen lassen, dann ergäben sich Investitionen von ca. 5.600.000 Euro brutto für die Ozonbehandlung und ca. 8.200.000 Euro brutto für die GAK-Filtration. Die Filtration wurde für die Ozonung allerdings als biologisch aktiver Filter zur Entfernung möglicher Transformationsprodukte vorgesehen. Entfällt diese Filtration, so müsste ersatzweise eine biologische Nachbehandlung berücksichtigt werden. Bei der GAK-Filtration wurde davon ausgegangen, dass die Filtrationsstufe – falls erforderlich - der GAK-Filtration vorgeschaltet wird, um Restsuspensa zu entfernen. Würde die Filtrationsstufe entfallen, müsste mit kürzeren Rückspülintervallen gerechnet werden, die u.U. einen zuverlässigen Betrieb unmöglich machen würden.

Vor dem Hintergrund der Vorgaben der Bezirksregierung Münster hinsichtlich der Phosphorelimination auf anderen Kläranlagen in NRW (siehe Kap. 5.1) wird jedoch für alle Verfahrensvarianten eine Flockungsfiltration berücksichtigt.

6.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten

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

Energiekosten:	0,168 Euro/kWh
Personalkosten für Facharbeiter:	40.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.500 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstoffanlage)
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 19.215.851 m³/a. Für die Varianten 2-3 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 17.698.216 m³/a angesetzt. Bei in Zukunft steigenden Abwassermengen erhöhen sich die Kosten entsprechend.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs wurden die Hauptverbraucher wie Pumpen, Rührwerke, Räumler und der Ozongenerator berücksichtigt. Eine Übersicht über die Ermittlung des Energiebedarfs ist Kap. 8.5 zu entnehmen.

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

Bei Variante 4 (GAK) wurde ein Bettvolumen von 15.000 BTV angesetzt. Damit ergibt sich für die Hauptkläranlage Münster eine Standzeit des GAK-Filtermaterials von ca. 10,7 Monaten. Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die neue Filtrationsanlage (Tuchfiltration) ggf. vor der GAK-Filtration platziert wird und damit eine weitgehende AFS-Reduktion vor der GAK-Filtration erreicht wird. Falls vor der GAK-Filtration keine Vorfiltration des Ablaufs der Nachklärung stattfindet, müsste mit einer kürzeren GAK-Filterstandzeit gerechnet werden. Diese würde dann voraussichtlich zwischen 6 und 9 Monaten liegen.

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

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

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

Tabelle 6-2: Betriebskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Energie	[€/a]	45.316	81.963	438.322	81.148
Personal	[€/a]	15.762	19.703	15.762	15.762
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	190.277	253.907	244.120	280.518
Sauerstoff	[€/a]	0	0	266.598	0
PAK/GAK	[€/a]	559.521	257.666	0	573.163
FHM, FM	[€/a]	138.388	56.343	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	283.491	155.877	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	1.232.756	825.459	964.803	950.592

Aus Tabelle 6-2 geht hervor, dass bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von 825.456 Euro netto/a zu rechnen ist. Die Betriebskosten der Variante 4 (GAK-Filtration) mit 950.592 Euro netto/a und Variante 3 (Ozonung) mit 964.803 Euro netto/a liegen in einem ähnlichen Bereich. Die höchsten Betriebskosten weist Varianten 1 (PAK in Belebung) mit 1.232.756 Euro netto/a auf.

6.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Berechnung der Kosten zugrunde gelegt. Kap. 8.7 und Kap. 8.8 zeigen die Berechnung der Jahreskosten für die 4 Varianten. Die Kosten wurden für eine bessere Vergleichbarkeit mit anderen Studien auf das Bezugsjahr 2013 umgerechnet. Eine Zusammenstellung der Jahreskosten enthält Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Jahreskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Kapitalkosten	[€/a]	534.825	750.198	700.549	825.661
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	206.039	273.610	259.882	296.281
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	1.026.717	551.849	704.920	654.311
Jahreskosten	[€/a]	1.767.581	1.575.657	1.665.352	1.776.253

Die Jahreskosten liegen bei allen Varianten in einem ähnlichen Bereich. Es zeigt sich, dass die Variante 2 (PAK in Kontaktbecken) mit 1.575.700 Euro netto die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Variante 3 (Ozon) liegt mit 1.665.400 Euro netto nur sehr wenig darüber. Variante 4 (GAK-Filtration) und Variante 1 (PAK in die Belebung) und weisen Jahreskosten von 1.776.300 Euro und 1.767.600 Euro netto auf.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser liegen für alle Varianten um 0,10 Euro netto (0,09 Euro netto (Varianten 1,2 und 3) und 0,10 Euro netto (Variante 4)). Die spezifischen Kosten je Einwohner liegen bei unter 10 Euro netto pro Jahr (5,63 Euro netto (Variante 2) bis 6,34 Euro netto (Variante 4)).

6.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für die HKA Münster verschiedene Annahmen getroffen, die die Kostensituation wesentlich beeinflussen.

Insgesamt sind die ermittelten Investitionen verhältnismäßig hoch. Dieses liegt unter anderem daran, dass wie schon zuvor erläutert bei allen Varianten eine Flockungsfiltration (hier als Tuchfiltration) bei der Kostenberechnung berücksichtigt wurde. Diese könnte theoretisch bei den Varianten 3 (Ozon) und 4 (GAK-Filtration) entfallen und im Falle der Variante 3 (Ozon) durch eine andere biologische Nachbehandlung ersetzt werden (z.B. Wirbelbett), wodurch sich die Investitionen verringern würden. Hinsichtlich des Ziels der Verbesserung der Kläranlagenablaufwerte auch im Hinblick auf die allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter (ACP's) wie P_{ges} , CSB bzw. TOC kann der Verzicht auf eine Flockungsfiltration in Variante 3 nicht favorisiert werden. Bei Variante 4 (GAK-Filtration) wird die Flockungsfiltration ggf. vor die GAK-Filtration geschaltet. Durch die höhere Spülhäufigkeit, die durch hohe AFS-Werte im Zulauf zur GAK-Filtration verursacht werden würde, könnte ein sicherer Filterbetrieb anderenfalls u.U. nicht gewährleistet werden (26).

Des Weiteren ergeben sich hohe Investitionen, weil auf der Kläranlage keine Bestandsbauwerke zur Unterbringung von Anlagenteilen genutzt werden können. Für die Aufstellung neuer Aggregate (z.B. Pum-

pen oder Ozonerzeuger) werden Gebäude in Massivbauweise vorgesehen und keine Containerlösungen. Einsparpotenziale wären hier vorhanden, werden jedoch nicht als Vorzugslösung angesehen.

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 (BTV = 15.000). Damit ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer für die granulierten Aktivkohle von ca. 10,7 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch drastisch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Spurenstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Die Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination gibt derzeit als Ziel eine Elimination von 80 % zwischen dem Zulauf der biologischen Stufe und dem Ablauf der Kläranlage nach der 4. Reinigungsstufe vor (21). Zurzeit bestehen dazu jedoch noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Betriebsmittelkosten werden in Zukunft auch von den 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 die Regeneration des eingesetzten GAK-Materials oder durch eine Reihenschaltung der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) möglich sein (26).

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

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

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kostenschätzung nach heutigem Wissensstand noch mit Unsicherheiten behaftet ist, da zum einen Langzeiterfahrungen fehlen und 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

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

Bei der Verfahrensbewertung muss – wie schon in Kap. 5.1 erläutert – berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten Spurenstoffe ausreichende Informationen zur Eliminationsleistung und zur optimalen Verfahrensführung vorliegen. Bei den hier in der Studie untersuchten

Verfahrensvarianten handelt es sich jedoch durchweg um Verfahren, die eine Breitbandwirkung hinsichtlich der Spurenstoffelimination aufweisen.

Eliminationsleistungen

Hinsichtlich der voraussichtlichen Eliminationsleistung sind nach bisherigen Erkenntnissen die PAK-Dosierung (nachgeschaltet hinter der Nachklärung), die Ozonbehandlung und die GAK-Filtration (bei optimaler Bewirtschaftung der Filter) als effektivste Verfahren zu nennen.

Bei der PAK-Dosierung werden die besten Eliminationsraten erzielt, wenn die PAK in ein separates Kontaktbecken mit nachfolgender Sedimentationseinheit dosiert wird und die PAK zusätzlich rezirkuliert wird (Variante 2). Im Hinblick auf die Zugabe der PAK direkt in die bestehende Belebung (Variante 1) stehen noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit zur Verfügung. Aufgrund der Konkurrenzsituation der Spurenstoffe mit den Abwasserinhaltsstoffen und mit dem Schlamm in der Belebung um die Bindungsplätze an der PAK wurden für diese Verfahrensweise bisher eher niedrige Eliminationsraten bei gleichzeitig hohen PAK-Dosiermengen angenommen. Gute Eliminationsleistungen bei einer akzeptablen PAK-Dosiermenge von ca. 18 mg PAK/l wurden bei aktuellen Untersuchungen auf der ARA Flos in Wetzikon (Schweiz) ermittelt (38). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Bei der Ozonung ist zu beachten, dass die entstehenden Transformationsprodukte oft sehr reaktiv sind und ebenfalls Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Sie müssen daher vor der Einleitung des Abwassers in den Vorfluter entfernt werden. Dazu ist neben einer biologischen Nachbehandlung in biologisch aktiven Filtern auch der Einsatz von GAK denkbar (27).

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 (25). Unter der Annahme, dass das GAK-Filtermaterial sehr häufig ausgetauscht wird oder mehrere GAK-Adsorber hintereinander geschaltet werden würden, könnten bessere Eliminationsleistungen erzielt werden. Dieses ist zurzeit jedoch wirtschaftlich nicht darzustellen. Seit einiger Zeit wird z.B. durch eine optimierte Bewirtschaftung von parallelgeschalteten GAK-Filtern (vgl. auch Kap. 3.1.4) eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine Verbesserung der Adsorptionsleistung erreicht (26).

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. We-

gen der aufwändigen Dosiertechnik bei den PAK-Anlagen ist dort mit einem höheren Wartungs- und Betriebsaufwand zu rechnen. Dies gilt insbesondere in Abhängigkeit von der gewählten Dosierart (volumetrisch oder gravimetrisch).

Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern wieder abgebaut werden. Für den Standort Münster wird eine biologisch aktive Filtrationsanlage im Anschluss an die Ozonung geplant, so dass vor diesem Hintergrund der Einsatz einer Ozonung möglich ist. Auch der Einsatz eines GAK-Filters ist denkbar (27); 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 Abwasser mit 0,4 mg/l bzw. 0,32 mg/l relativ hoch lagen.

Voraussichtliche Kosten und Eignung der Verfahren

Die ermittelten Jahreskosten liegen für die Hauptkläranlage Münster sehr nah beieinander. Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die PAK-Dosierung in die Belebung (Variante 2). Das nächstgünstigste Verfahren ist die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3). Bisherige Ergebnisse deuten darauf hin, dass mit Hilfe dieser Varianten ausreichende Eliminationsleistungen erreicht werden können.

Bei der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) ist unbedingt zu beachten, dass die im Ablauf der Hauptkläranlage Münster im Rahmen dieser Studie gefundenen Bromid-Konzentrationen relativ hoch liegen. Da es sich bei den hier durchgeführten Untersuchungen nur um Stichproben handelt, ist eine weitere Beobachtung des Bromid-Gehalts vor der Entscheidung für eine Ozonanlage unbedingt erforderlich. Daneben ist auch die sichere Elimination der gebildeten Transformationsprodukte vor der Einleitung des gereinigten Abwassers erforderlich, ggf. muss hier eine GAK-Filtration eingesetzt werden.

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

Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Münster

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

Die Hauptkläranlage Münster hat derzeit eine Ausbaugröße von 300.000 EW und wird zurzeit mit 280.000 EW belastet. Durch den Einsatz von Membrankontaktoren soll zukünftig ein Ausbau der Kläranlage auf 335.000 EW erfolgen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Ablaufqualität der Haupt-

kläranlage Münster 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 Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Spurenstoffeinträgen zu rechnen ist. Aufgrund der angeschlossenen Krankenhäuser 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 Hauptkläranlage Münster befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen. Bei den Vorflutern Wöstebach und Beckschembach handelt es sich um schwache Vorfluter, die oberhalb der Einleitstelle der Hauptkläranlage Münster kaum Wasser führen. Beide Vorfluter durchfließen unterhalb der Kläranlage das Vogelschutzgebiet „Rieselfelder Münster“.

Der Wöstebach leitet in die Münstersche Aa ein, der Beckschembach in die Ems. Deutliche Veränderungen nach Einleitung des Kläranlagenablaufs zeigen sich in der Münsterschen Aa, insbesondere im Bereich der Medikamentenrückstände, Süßstoffe und Röntgenkontrastmittel. In der Ems, als wesentlich stärkerer Vorfluter, sind nach der Einleitung des Kläranlagenablaufs vergleichsweise weniger Veränderungen festzustellen.

In der Studie „Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen“ (8) 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. Angesichts der Größenklasse (280.000 angeschlossene Einwohner) und der sensiblen Umgebung der Kläranlage (Schutzgebiet Rieselfelder Münster, deutliche Veränderung der Münsterschen Aa), ist die behördliche Forderung nach einer 4. Reinigungsstufe für das Hauptklärwerk Münster wahrscheinlich. Eine gesetzliche Grundlage gibt es jedoch bis dato nicht. Der Nutzen der 4. Reinigungsstufe muss jedoch auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden. So verursacht der Betrieb der 4. Reinigungsstufe einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz.

Um z.B. die Münstersche Aa in ihrem Unterlauf zu entlasten, könnte die gesamte gereinigte Abwassermenge nur noch über den Beckschembach zur Ems abgeleitet werden. Im Jahr 1986 wurde vom Ingenieurbüro Wieferig und Frilling dazu eine „Hydraulische Untersuchung der Vorflut der Hauptkläranlage Münster – Ems-Ableiter – „ durchgeführt und festgestellt, dass ein Ausbau des Beckschembaches als alleiniger Ableiter mit überschaubarem Aufwand möglich wäre. Ob dieses weiter Gültigkeit besitzt, ist bei Bedarf zu überprüfen und nachzuweisen. Da heute schon eine Vernässung tiefergelegener, landwirtschaftlich genutzter Fläche festzustellen ist, ist bei voller Ableitung des Kläranlagenablaufes über den Beckschembach zur Ems mit einer Verschärfung der Vernässung zu rechnen.

6.6 Finanzierungsmöglichkeiten

Für die Finanzierung einer 4. Reinigungsstufe auf dem HKW Münster können folgende Möglichkeiten in Betracht gezogen werden:

Förderung der Investitionen

Vom Land Nordrhein-Westfalen wurden ausgewählte Maßnahmen zur Spurenstoffelimination bisher mit der Übernahme von 70 % der Erstinvestitionen gefördert. Hinsichtlich der weiteren Förderung durch das Land NRW in der Zukunft 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 zu 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 (41).

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 Verfah-

rensvariante wirklich treffen zu können, müssten anhand von Leitparametern Reinigungsziele für eine 4. Reinigungsstufe definiert werden.

6.7 Vorzugsverfahren und weiteres Vorgehen

Als Vorzugsverfahren für die Hauptkläranlage Münster kommen aufgrund der berechneten Jahreskosten und der zu erwartenden Eliminationsleistungen die Varianten 2 (PAK in Kontaktbecken) und 3 (Ozonbehandlung) infrage.

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

Bei der Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) ist zu bedenken, dass die entstehenden Transformationsprodukte vor der Einleitung in die (sehr schwachen) Vorfluter sicher abgetrennt/eliminiert werden müssen. Dazu ist nach derzeitigem Wissensstand eine biologische Nachbehandlung mittels eines Filters eingeplant, es ist jedoch nicht auszuschließen, dass nach Auswertung der Betriebserfahrungen derzeitiger Anlagen eine GAK-Filtration oder Wirbelbett notwendig wird. Auf jeden Fall würde die Entscheidung für eine Ozonanlage erfordern, dass die Bromid-Konzentration im Ablauf der Hauptkläranlage Münster genauer untersucht und beobachtet wird, da diese bei den untersuchten Proben relativ hoch zwischen 0,32 mg/l und 0,4 mg/l lag.

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

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht die Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor. Der Unterschied zu Variante 3 (Ozonierung), aber auch zu Variante 4 (GAK-Filtration), liegt unterhalb der Schätzgenauigkeit, sie sind somit als gleichwertig zu betrachten. Es wird daher empfohlen, die Variante 2 (PAK-Dosierung) sowie die Variante 3 (Ozonierung) und die Variante 4 (GAK), abhängig von den geforderten Reinigungs-/Eliminationszielen weiter zu betrachten. Um die Eignung der Verfahren und die voraussichtlich anfallenden Betriebskosten besser einschätzen zu können, sollten ausgewählte Verfahren in wissenschaftlich betreuten Vorversuchen vertieft betrachtet werden.

7 Anhang A - Untersuchungsergebnisse

7.1 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, Juli 2012



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

66.43.0002

19.07.2012

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 12.07.2012

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 12.07.2012

Probenahmedatum: 12.07.2012

Prüfende: 19.07.2012

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser

Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		80182WO12	80183WO12	80184WO12	80185WO12	80186WO12
Messstelle		MA 1 Wüstebach	M 2A Aa oberhalb	M 2 A a unterhalb	E 11 Ems unterhalb	EB e1 Beckschems- bach
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
EDTA ** DIN 38413 P3	µg/L	23	2,6	5,4	17	40
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	13,0	8,2	9,4	8,5	11,0
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	1,04	0,237	0,306	0,205	0,371
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,746	0,113	0,187	0,114	0,842
Nitrat DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	11,8	3,56	3,94	9,08	6,82
Nitrit DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,59	0,1	0,11	0,11	0,78
Ammonium DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,38	0,12	0,09	0,08	0,60
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	2,66	0,80	0,89	2,05	1,54
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,18	0,03	0,03	0,03	0,24
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,30	0,09	0,07	0,06	0,47
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	168	42,2	65,0	107	167
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	75,3	46,0	54,0	68,0	82,5
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	7	5	<5	<5	<5
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,26	0,17	0,18	0,17	0,23



Gewässerüberwachung

66.43.0002

19.07.2012

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 12.07.2012

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 12.07.2012

Probenahmedatum: 12.07.2012

Prüfende: 19.07.2012

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		80187WO12	80188WO12	80189WO12	80190WO12	80191WO12
Messstelle		E 11a Ems oberhalb	WEG 2 Getterbach unterhalb	WEG 2 Getterbach oberhalb	WE 2 Emmerbach oberhalb	WE 1a Emmerbach unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
EDTA ** DIN 38413 P3	µg/L	15	8	<1,0	5,1	8,4
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	7,4	8,8	7,9	8,0	9,0
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,170	0,795	0,851	0,235	0,205
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,084	1,110	0,144	0,082	0,180
Nitrat DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	9,82	2,42	5,02	4,48	4,64
Nitrit DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ammonium DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,12	0,31	0,10	0,07	0,24
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	2,22	0,55	1,13	1,01	1,05
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,09	0,24	0,08	0,05	0,19
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	106	70,3	21,6	35,8	49,3
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	73,0	38,7	21,1	40,0	49,6
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,17	0,15	0,16	0,22	0,23



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

66.43.0002

Stadt Münster, Münster

19.07.2012

Auftragsingang: 12.07.2012
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 12.07.2012

Prüfbeginn: 12.07.2012
 Prüfende: 19.07.2012

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		80192WO12	80193WO12
Messstelle		W LO 2 Loddenbach unterhalb	W LO 1 Loddenbach oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser
EDTA ** DIN 38413 P3	µg/L	5,7	1,1
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	7,1	6,7
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,900	0,917
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,323	0,104
Nitrat DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	3,74	2,90
Nitrit DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	<0,05	<0,05
Ammonium DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,37	0,25
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,84	0,65
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	<0,02	<0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,29	0,19
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	29,8	15,4
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	32,3	23,9
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	<5	11
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,12	0,09

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

66.43.0002

19.07.2012

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 12.07.2012

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 12.07.2012

Probenahmedatum: 12.07.2012

Prüfende: 19.07.2012

Prüfbericht

Dipl.-Ing. Melanie Eckloff

Geschäftsführerin

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmateriale. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff; Dipl.-Ing. Hubert Fels, Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr.-IdNr: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, Konto-Nr.: 26 850 900 (BLZ 400 694 08)
Sparkasse Münsterland Ost, Konto-Nr.: 9 004 466 (BLZ 400 501 50)



7.2 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2013



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

**6643_2010_A Externe Analytik
Stadt Münster, Münster**

19.03.2013

Auftragseingang: 07.03.2013

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 07.03.2013

Probenahmedatum: 07.03.2013

Prüfende: 19.03.2013

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser

Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		80659WO13	80660WO13	80661WO13	80662WO13	80663WO13
Messstelle		MA 1 Wöstebach	M 2a Aa oberhalb	M 2 Aa unterhalb	EBe 1 Beksch- emsbach	W 11a Ems oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	12,0	6,1	8,6	11,0	7,5
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	7,61	6,27	6,98	5,71	6,71
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,28	<0,05	0,13	0,15	0,05
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	1,38	0,02	0,67	0,78	0,12
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	210	61,1	129	190	72,4
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	122	68,3	90	117	65,8
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,468	0,254	0,299	1,16	0,594
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	1,53	0,073	0,676	1,04	0,135
Phosphor EN ISO 6876 (D 11)	mg/L	0,14	0,09	0,10	0,16	0,08
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	15	15	18	12	16
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	50	2	20	30	8



Gewässerüberwachung

6643_2010_A Externe Analytik

19.03.2013

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 07.03.2013

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 07.03.2013

Probenahmedatum: 07.03.2013

Prüfende: 19.03.2013

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		80664WO13	80665WO13	80666WO13	80667WO13	80668WO13
Messstelle		E 11 Ems unterhalb	WLo 1 Loddenbach oberhalb	WLo 2 Loddenbach unterhalb	WE 2 Emmerbach oberhalb	WE 1a Emmerbach unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	7,8	5,9	8,1	8,7	8,8
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	6,68	2,57	5,66	8,09	7,27
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	<0,05	<0,05	0,5	0,1	<0,05
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,12	0,12	0,22	0,05	0,15
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	73,0	196,0	143,0	61,7	70,2
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	65,5	100,0	101,0	77,6	79,4
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,614	0,270	0,119	0,219	0,196
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,136	0,176	0,110	0,059	0,060
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,08	0,03	0,12	0,07	0,07
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	17	12	13	14	12
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	8	2	20	4	7



Gewässerüberwachung
6643_2010_A Externe Analytik
Stadt Münster, Münster

19.03.2013

Auftragseingang: 07.03.2013
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 07.03.2013

Prüfbeginn: 07.03.2013
 Prüfende: 19.03.2013

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		80669WO13	80670WO13
Messstelle		WEG 3 Getterbach oberhalb	WEG 2 Getterbach unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	10,0	15,0
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	2,84	1,53
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	<0,05	<0,05
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,03	0,47
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	162	192
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	97,4	104
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,288	0,239
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,140	0,220
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,10	0,15
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	17	15
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	3	20

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

6643_2010_A Externe Analytik

19.03.2013

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 07.03.2013

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 07.03.2013

Probenahmedatum: 07.03.2013

Prüfende: 19.03.2013

Prüfbericht

Dipl.-Ing. Ursula Hechler
Consulting

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmaterialien. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff; Dipl.-Ing. Hubert Fels; Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr-IdNr: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, Konto-Nr.: 26 850 900 (BLZ 400 694 08)
Sparkasse Münsterland Ost, Konto-Nr.: 9 004 466 (BLZ 400 501 50)



7.3 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, August 2013



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umwettlabor-acb.de | www.umwettlabor-acb.de

Gewässerüberwachung
6643_2010_A Externe Analytik
Stadt Münster, Münster

19.08.2013

Auftragseingang: 06.08.2013
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH) Prüfbeginn: 06.08.2013
 Probenahmedatum: 06.08.2013 Prüfende: 19.08.2013

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser
 Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		87213WO13	87214WO13	87215WO13	87216WO13	87217WO13
Messstelle		MA 1 Wöstebach	M 2a Aa oberhalb	M 2 Aa unterhalb	EBe 1 Beksch- emsbach	E 11 Ems unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	20	14	8,5	16	12
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,82	1,18	1,11	0,29	1,44
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,09	0,06	<0,05	0,11	0,05
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,23	0,21	0,06	0,04	0,05
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	250	42,1	70,5	243	123
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	113	39,0	60,2	126	73,0
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	4,58	0,303	0,804	0,600	0,144
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,879	0,099	0,305	0,647	0,177
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,40	0,21	0,25	0,30	0,16
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5)	mg/L	8	<5	<5	7	6
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	30	1	2	30	10



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung
6643_2010_A Externe Analytik
Stadt Münster, Münster

19.08.2013

Auftragseingang: 06.08.2013
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 06.08.2013

Prüfbeginn: 06.08.2013
 Prüfende: 19.08.2013

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		87218WO13	87219WO13	87220WO13	87221WO13	87222WO13
Messstelle		W 11a Ems oberhalb	WLO 2 Loddenbach unterhalb	WLO 1 Loddenbach oberhalb	WE 1a Emmerbach unterhalb	WE 2 Emmerbach oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	9,7	12	12	12	15
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	1,55	0,62	0,45	0,39	0,50
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,05	0,12	0,05	0,08	0,05
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,05	0,44	0,26	0,23	0,13
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	105	100	51,6	122	118
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	74,8	77,9	68,3	74,8	68,1
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,079	0,207	0,302	0,205	0,244
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	0,066	0,753	0,093	0,587	0,702
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,17	0,10	0,09	0,27	0,24
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	<5	<5	<5	<5	<5
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	7	10	10	2	20



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung
6643_2010_A Externe Analytik
Stadt Münster, Münster

19.08.2013

Auftragseingang: 06.08.2013
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 06.08.2013

Prüfbeginn: 06.08.2013
 Prüfende: 19.08.2013

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		87223WO13	87224WO13
Messstelle		WEG 2 Getterbach unterhalb	WEG 3 Getterbach oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	17	17
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,60	0,95
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,08	0,14
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,25	0,28
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	147	66,2
Sulfat DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	76,3	48,3
Eisen EN ISO 11885 E22	mg/L	0,231	0,343
Mangan EN ISO 11885 E22	mg/L	1,14	0,149
Phosphor EN ISO 6878 (D 11)	mg/L	0,23	0,27
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	<5	5
EDTA** DIN EN ISO 16588	µg/L	30	5

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Gewässerüberwachung

6643_2010_A Externe Analytik

19.08.2013

Stadt Münster, Münster

Auftragseingang: 06.08.2013

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 06.08.2013

Probenahmedatum: 06.08.2013

Prüfende: 19.08.2013

Prüfbericht

Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
Geschäftsführerin

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmaterialien. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff; Dipl.-Ing. Hubert Fels; Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr.-IdNr.: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, Konto-Nr.: 26 850 800 (BLZ 400 694 08)
Sparkasse Münsterland Ost, Konto-Nr.: 9 004 466 (BLZ 400 501 50)



7.4 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2014



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

**Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
6643_2014_A
Stadt Münster, Münster**

21.03.2014

Auftragseingang: 10.03.2014
Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
Probenahmedatum: 10.03.2014

Prüfbeginn: 10.03.2014
Prüfende: 21.03.2014

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser
Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		88194WO14	88195WO14	88196WO14	88197WO14	88198WO14
Messstelle		MA 1 Wöstebach	M 2a Aa oberhalb	M 2 Aa unterhalb	EBe 1 Bekschemsbac h	E 11 Ems unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	2,53	4,97	4,67	2,44	4,20
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,16	0,02	0,04	0,06	0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,72	0,02	0,08	0,30	0,04
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	200	41,8	59,8	176	78,0
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,1	0,04	0,04	0,2	0,07
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	7	15	15	13	20
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	14	10	11	14	12



Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
 6643_2014_A
 Stadt Münster, Münster

21.03.2014

Auftragseingang: 10.03.2014
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 10.03.2014

Prüfbeginn: 10.03.2014
 Prüfende: 21.03.2014

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		88199WO14
Messstelle		WE 11a Ems oberhalb
Materialart		Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	4,52
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,03
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	73,7
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,06
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	12
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	12

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren

Dipl.-Ing. Hubert Fels
 Geschäftsführer

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmateriale. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff; Dipl.-Ing. Hubert Fels, Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
 eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr.-IdNr: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
 Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, Konto-Nr.: 26 850 900 (BLZ 400 694 08)
 IBAN: DE 32 4006 9408 0026 8509 00 BIC: GENODEM1BAU
 Sparkasse Münsterland Ost, Konto-Nr.: 9 004 466 (BLZ 400 501 50)
 IBAN: DE 65 4006 0150 0009 0044 66 BIC: WELADED1MST



7.5 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, September 2014



Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
6643_2014_A
Stadt Münster, Münster

20.10.2014

Auftragseingang: 30.09.2014
Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
Probenahmedatum: 30.09.2014
Prüfbeginn: 30.09.2014
Prüfende: 20.10.2014

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser
Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		88911WO14	88912WO14	88913WO14	88914WO14	88915WO14
Messstelle		Wöstebach MA1	Aa oberhalb M2a	Aa unterhalb M2	Bekschems- bach EBe1	Erms oberhalb E11a
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	1,22	1,26	1,27	1,24	3,93
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,16	0,01	0,04	0,02	0,01
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,30	0,01	0,03	0,04	0,02
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	200	46,4	87,7	200	72,6
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,13	0,12	0,14	0,21	0,13
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	7	8	7	<5	7
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	14	8,6	11	14	11



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

**Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
 6643_2014_A
 Stadt Münster, Münster**

20.10.2014

Auftragseingang: 30.09.2014
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 30.09.2014

Prüfbeginn: 30.09.2014
 Prüfende: 20.10.2014

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		88916WO14	88917WO14	88918WO14	88919WO14	88920WO14
Messstelle		Ems unterhalb E11	Lodenbach oberhalb WLo1	Loddenbach unterhalb WLo2	Emmerbach oberhalb WE2	Emmerbach unterhalb WE1a
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	3,91	1,02	3,55	2,01	1,39
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,01	0,10	0,05	0,04	0,04
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,02	0,23	0,04	0,02	0,09
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	72,3	48,4	96,0	66,9	96,5
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,13	0,06	0,09	0,18	0,20
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	6	6	<5	9	<5
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	10	8	9	12	12



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umwettlabor-acb.de, www.umwettlabor-acb.de

**Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
 6643_2014_A
 Stadt Münster, Münster**

20.10.2014

Auftragseingang: 30.09.2014
 Probenahme: M. Heinrichs (Umwettlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 30.09.2014

Prüfbeginn: 30.09.2014
 Prüfende: 20.10.2014

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		88921WO14	88922WO14
Messstelle		Getterbach oberhalb WEG3	Getterbach unterhalb WEG2
Materialart		Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,63	0,63
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,02	0,04
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,03	0,01
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	69,0	97,8
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,21	0,18
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	<5	8
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	13	14

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren

Dipl.-Ing. Ursula Hechler
 Consulting

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmaterialien. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff, Dipl.-Ing. Hubert Fels, Dipl.-Ing. Melanie Dieckmann
 eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr.-IdNr: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
 Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, IBAN: DE 32 4006 9408 0026 8509 00 / BIC: GENODEM1BAU
 Sparkasse Münsterland Ost, IBAN: DE 65 4005 0150 0009 0044 66 / BIC: WELADED1MST



7.6 Untersuchungsergebnisse Gewässer ACP's, März 2015



Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
6643_2014_A
Stadt Münster, Münster

12.03.2015

Auftragseingang: 02.03.2015
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 02.03.2015

Prüfbeginn: 02.03.2015
 Prüfende: 12.03.2015

Prüfbericht

Probenart: Oberflächenwasser
 Angaben zum Gefäß: Glas, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Wasser -

Labornummer		93149WO15	93150WO15	93151WO15	93152WO15	93153WO15
Messstelle		MA 1 Wüstebach	M 2a Aa oberhalb	M 2 Aa unterhalb	EBe 1 Beksch- emsbach	E 11a Ems oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	3,91	5,44	5,42	3,18	6,55
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,40	0,02	0,02	0,21	0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,50	0,08	0,12	0,60	0,12
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	137	43	45	139	58
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,12	0,11	0,11	0,16	0,10
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	10	8	<5	<5	9
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	13	9,5	10	13	10



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

**Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
 6643_2014_A
 Stadt Münster, Münster**

12.03.2015

Auftragseingang: 02.03.2015
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 02.03.2015

Prüfbeginn: 02.03.2015
 Prüfende: 12.03.2015

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		93154WO15	93155WO15	93156WO15	93157WO15	93158WO15
Messstelle		E 11 Ems unterhalb	WEG 3 Getterbach oberhalb	WEG 2 Getterbach unterhalb	WE 2 Emmerbach oberhalb	WE 1a Emmerbach unterhalb
Materialart		Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	6,53	2,42	3,07	5,28	5,04
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,12	0,12	0,16	0,19	0,32
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	58	77	71	40	45
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,14	0,05	0,06	0,11	0,11
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	11	<5	<5	<5	5
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	11	12	13	14	14



Albrecht-Thaer-Straße 14, 48147 Münster
 Tel 0251 28 52-0, Fax 0251 2 30 10 45
 buero@umweltlabor-acb.de, www.umweltlabor-acb.de

**Externe Analytik für die KA -Ablauf- und Gewässerüberwachung
 6643_2014_A
 Stadt Münster, Münster**

12.03.2015

Auftragseingang: 02.03.2015
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 02.03.2015

Prüfbeginn: 02.03.2015
 Prüfende: 12.03.2015

Prüfbericht

- Wasser -

Labornummer		93159WO15	93160WO15
Messstelle		WLo 2 Loddenbach unterhalb	WLo 1 Loddenbach oberhalb
Materialart		Wasser	Wasser
Nitrat-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	3,50	2,12
Nitrit-Stickstoff DIN EN ISO 10304-1 (D 19)	mg/L	0,06	<0,02
Ammonium-Stickstoff DIN 38406-E 5-1	mg/L	0,33	0,29
Chlorid DIN EN ISO 10304-2 (D 19)	mg/L	84	66
Phosphor DIN ISO 6878-D 11	mg/L	0,24	0,05
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB5) DIN EN 1899-1 (H 51)	mg/L	5	<5
totaler org. Kohlenstoff (TOC) DIN EN 1484 (H 3)	mg/L	10	9

* Untersuchung im Unterauftrag; ** Fremdvergabe; *** nicht akkreditierte Prüfmethode/Prüfverfahren


 Dipl.-Ing. Melanie Dieckmann
 Geschäftsführerin

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmateriale. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

Geschäftsführung: Dr. med. Diederich Winterhoff; Dipl.-Ing. Hubert Fels, Dipl.-Ing. Melanie Dieckmann
 eingetragen: AG Münster, HRB 2984, Ustr.-IdNr: DE 126114056, Steuernummer 337/5902/0188
 Bankverbindungen: Volksbank Baumberge, IBAN: DE 32 4006 9408 0026 8509 00 / BIC: GENODEM1BAU
 Sparkasse Münsterland Ost, IBAN: DE 65 4005 0150 0009 0044 66 / BIC: WELADED1MST



7.7 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 allgemeiner 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.

7.8 Untersuchungsergebnisse Gewässer im Rahmen der Studie

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling GmbH
Rombergstraße 46
49377 Vechta

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: N. Aversch
Durchwahl: +49 2505 89 152
Fax: +49 2505 89 119
E-Mail: Nadine.Aversch@wessling.de

Prüfbericht

Analytik Machbarkeitsstudie zur Elimination von Spurenstoffen hier: Zentralkläwerk Münster

Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Probe Nr.	15-125454-01
Eingangsdatum	28.08.2015
Bezeichnung	vor Einleitung Aa
Probenart	Fließgewässer
Probenahme	28.08.2015
Probenahme durch	WESSLING GmbH
Probenehmer	Herr Winter
Probenmenge	15040 ml
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schließ 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS
Anzahl Gefäße	25
Untersuchungsbeginn	28.08.2015
Untersuchungsende	14.09.2015

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-01
Bezeichnung	vor Einleitung Aa
pH-Wert	WE 7,5
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE 350

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-01
Bezeichnung	vor Einleitung Aa
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE 0,15
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE 0,12
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE 10
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE 2,3
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE 0,19

Seite 1 von 18



DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL 34162 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 Kundenanlage der DAkkS auf unserer Internetseite unter www.wessling.de. Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfobjekte. Prüfberichte dürfen ohne Genehmigung der WESSLING GmbH nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

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

Prüfbericht Nr. **CAL 15-097713-2** Auftrag Nr. **CAL-09536-15** Datum **15.09.2015**

Probe Nr.				15-126454-01
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	WE		0,058
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l	WE		0,15
ortho-Phosphat (P)	mg/l	WE		0,05
Stickstoff, ges.	mg/l	WE		4,62
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l	WE		2,3
Gesamthosphor (P)	mg/l	WE		0,14
Sulfat (SO ₄)	mg/l	WE		39
Chlorid (Cl)	mg/l	WE		18

Summenparameter

Probe Nr.				15-126454-01
Bezeichnung	vor Einleitung Aa			
BSB ₅ (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE		<3
TOC	mg/l	WE		8,8

Phthalate

Probe Nr.				15-126454-01
Bezeichnung	vor Einleitung Aa			
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE		<2

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.				15-126454-01
Bezeichnung	vor Einleitung Aa			
Naphthalin	µg/l	WE		<0,02
Acenaphthylen	µg/l	WE		<0,02
Acenaphthen	µg/l	WE		<0,02
Fluoren	µg/l	WE		<0,02
Phenanthren	µg/l	WE		<0,02
Anthracen	µg/l	WE		<0,02
Fluoranthren	µg/l	WE		<0,02
Pyren	µg/l	WE		<0,02
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE		<0,02
Chrysen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE		<0,02
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE		<0,02
Benzo(a)pyren	µg/l	WE		<0,02
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(ghi)perylene	µg/l	WE		<0,02
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE		<0,02
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE		-/-



Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	2		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
Silber (Ag)	mg/l	W/E	<0,01		

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
4-tert.-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
Bisphenol A	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Butylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	W/E	<0,0001		
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	W/E	<0,005		

Arzneimittel-Rückstände



Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Carbamazepin	µg/l	WE		<0,025
Diclofenac	µg/l	WE		<0,025
Sulfamethoxazol	µg/l	WE		<0,025
Beza fibrat	µg/l	WE		<0,025
Atenolol	µg/l	WE		<0,05
Metoprolol	µg/l	WE		<0,025
Sotalol	µg/l	WE		<0,025
Phenazon	µg/l	WE		<0,025
Clarithromycin	µg/l	WE		<0,025
Naproxen	µg/l	WE		<0,025
Bisoprolol	µg/l	WE		<0,025
Oxazepam	µg/l	WE		0,081

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Benzotriazol	µg/l	WE		0,11
Atrazin	µg/l	WE		<0,025
Diuron	µg/l	WE		<0,025
Isoproturon	µg/l	WE		<0,025
Simazin	µg/l	WE		<0,025
Terbutryn	µg/l	WE		<0,025

Süßstoffe

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Acesulfam K	µg/l	WE		0,15
Saccharin	µg/l	WE		0,1
Cyclamat	µg/l	WE		0,16
Sucralose	µg/l	WE		0,036

Steroid-Hormone

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
17 beta-Estradiol	µg/l	WE		<0,005
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE		<0,005
Estron (E1)	µg/l	WE		<0,005

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Iopamidol	µg/l	WE		<0,025
Iomeprol	µg/l	WE		0,028
Amidotrizoesäure	µg/l	WE		<0,025

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.					15-125454-01
Iopromid	µg/l	W/E	<0,025		
Organozinnverbindungen					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Tributylzinn	µg/l	W/E	<0,00005		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-02				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schliff 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
pH-Wert	WE	7,4	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	570	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE	0,27	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE	0,21	
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE	7,6	
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE	1,7	
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE	0,59	
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l WE	0,18	
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l WE	0,14	
ortho-Phosphat (P)	mg/l WE	0,05	
Stickstoff, ges.	mg/l WE	3,90	
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l WE	2	
Gesamtphosphor (P)	mg/l WE	0,18	
Sulfat (SO ₄)	mg/l WE	53	
Chlorid (Cl)	mg/l WE	59	

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3		
TOC	mg/l	WE	8,4		

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	3		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoren	µg/l	WE	<0,02		
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02		
Anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Pyren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Chrysen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(ghi)perylen	µg/l	WE	<0,02		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-		

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	2,5		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01		



Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
4-tert.-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	W/E	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	W/E	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	W/E	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	W/E	<0,1
Bisphenol A	µg/l	W/E	0,13
4-tert.-Butylphenol	µg/l	W/E	<0,1
4-n-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1
4-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	W/E	<0,0001
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	W/E	<0,0001
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	W/E	<0,005

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,1
Diclofenac	µg/l	W/E	0,4
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,11
Bezafibrat	µg/l	W/E	<0,025
Atenolol	µg/l	W/E	0,069
Metoprolol	µg/l	W/E	0,59
Sotalol	µg/l	W/E	0,037
Phenazon	µg/l	W/E	0,057
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,025
Naproxen	µg/l	W/E	0,066
Bisoprolol	µg/l	W/E	0,087
Oxazepam	µg/l	W/E	0,077

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Benzotriazol	µg/l	W/E	2,6		
Atrazin	µg/l	W/E	<0,025		
Diuron	µg/l	W/E	<0,025		
Isoproturon	µg/l	W/E	<0,025		
Simazin	µg/l	W/E	<0,025		
Terbutryn	µg/l	W/E	0,05		

Süßstoffe

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Acesulfam K	µg/l	W/E	0,4		
Saccharin	µg/l	W/E	0,94		
Cyclamat	µg/l	W/E	0,083		
Sucrose	µg/l	W/E	1,1		

Steroid-Hormone

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,005		
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,005		
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,005		

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Iopamidol	µg/l	W/E	1,1		
Iomeprol	µg/l	W/E	8,3		
Amidotrizoesäure	µg/l	W/E	1,6		
Iopromid	µg/l	W/E	8,1		

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Tributylzinn	µg/l	W/E	<0,00005		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-03				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schliff 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-03		
Bezeichnung	nach Einleitung Ems		
pH-Wert	WE	7,8	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	770	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-03		
Bezeichnung	nach Einleitung Ems		
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE	0,08	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE	0,062	
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE	15	
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE	3,4	
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE	0,13	
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l WE	0,04	
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l WE	0,24	
ortho-Phosphat (P)	mg/l WE	0,08	
Stickstoff, ges.	mg/l WE	3,43	
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l WE	<2	
Gesamtphosphor (P)	mg/l WE	0,18	
Sulfat (SO ₄)	mg/l WE	74	
Chlorid (Cl)	mg/l WE	78	

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3		
TOC	mg/l	WE	7,3		

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	<2		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoren	µg/l	WE	<0,02		
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02		
Anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Pyren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Chrysen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(ghi)perylene	µg/l	WE	<0,02		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-		

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	3,7		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1	
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1	
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	<0,1	
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1	
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	<0,1	
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1	
Bisphenol A	µg/l	WE	<0,1	
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	<0,1	
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1	
4-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1	

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	WE	<0,0001	
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	WE	<0,0001	
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	WE	<0,005	

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
Carbamazepin	µg/l	WE	0,092	
Diclofenac	µg/l	WE	0,13	
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,055	
Bezafibrat	µg/l	WE	<0,025	
Atenolol	µg/l	WE	<0,05	
Metoprolol	µg/l	WE	0,32	
Sotalol	µg/l	WE	0,026	
Phenazon	µg/l	WE	<0,025	
Clarithromycin	µg/l	WE	<0,025	
Naproxen	µg/l	WE	<0,025	
Bisoprolol	µg/l	WE	0,039	
Oxazepam	µg/l	WE	<0,025	



Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Benzotriazol	µg/l	WE	1,4		
Atrazin	µg/l	WE	<0,025		
Diuron	µg/l	WE	<0,025		
Isoproturon	µg/l	WE	<0,025		
Simazin	µg/l	WE	<0,025		
Terbutryn	µg/l	WE	<0,025		

Süßstoffe

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Acesulfam K	µg/l	WE	0,61		
Saccharin	µg/l	WE	0,064		
Cyclamat	µg/l	WE	0,11		
Sucralose	µg/l	WE	0,59		

Steroid-Hormone

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	<0,005		
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,005		
Estron (E1)	µg/l	WE	<0,005		

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Iopamidol	µg/l	WE	0,99		
Iomeprol	µg/l	WE	1,2		
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	0,6		
Iopromid	µg/l	WE	0,85		

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Tributylzinn	µg/l	WE	0,0003		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-04				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schließ 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
pH-Wert	WE	7,7	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	770	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE	0,06	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE	0,047	
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE	15	
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE	3,4	
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE	0,09	
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l WE	0,027	
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l WE	0,24	
ortho-Phosphat (P)	mg/l WE	0,08	
Stickstoff, ges.	mg/l WE	3,42	
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l WE	<2	
Gesamtphosphor (P)	mg/l WE	0,15	
Sulfat (SO ₄)	mg/l WE	73	
Chlorid (Cl)	mg/l WE	76	

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3		
TOC	mg/l	WE	6,8		

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	2,9		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoren	µg/l	WE	<0,02		
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02		
Anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Pyren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Chrysen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(ghi)perylen	µg/l	WE	<0,02		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-		

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	3,7		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
4-tert.-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1	
4-n-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1	
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	W/E	<0,1	
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	W/E	<0,1	
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	W/E	<0,1	
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	W/E	<0,1	
Bisphenol A	µg/l	W/E	<0,1	
4-tert.-Butylphenol	µg/l	W/E	<0,1	
4-n-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1	
4-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1	

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	W/E	<0,0001	
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	W/E	<0,0001	
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	W/E	<0,005	

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,088	
Diclofenac	µg/l	W/E	0,15	
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,057	
Bezafibrat	µg/l	W/E	<0,025	
Atenolol	µg/l	W/E	<0,05	
Metoprolol	µg/l	W/E	0,3	
Sotalol	µg/l	W/E	<0,025	
Phenazon	µg/l	W/E	<0,025	
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,025	
Naproxen	µg/l	W/E	<0,025	
Bisoprolol	µg/l	W/E	0,033	
Oxazepam	µg/l	W/E	<0,025	

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
Benzotriazol	µg/l	WE	1,2	
Atrazin	µg/l	WE	<0,025	
Diuron	µg/l	WE	<0,025	
Isoproturon	µg/l	WE	<0,025	
Simazin	µg/l	WE	<0,025	
Terbutryn	µg/l	WE	<0,025	

Süßstoffe

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
Acesulfam K	µg/l	WE	0,63	
Saccharin	µg/l	WE	0,048	
Cyclamat	µg/l	WE	0,11	
Sucralose	µg/l	WE	0,52	

Steroid-Hormone

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	<0,005	
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,005	
Estron (E1)	µg/l	WE	<0,005	

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
Iopamidol	µg/l	WE	0,76	
Iomeprol	µg/l	WE	0,36	
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	0,49	
Iopromid	µg/l	WE	0,19	

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	15-125454-04			
Bezeichnung	vor Einleitung Ems			
Tributylzinn	µg/l	WE	<0,00005	

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Abkürzungen und Methoden

		ausführender Standort
pH-Wert in Wasser/Eluat	DIN 38404 6 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat	DIN EN 27888 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ammonium	DIN 38406 ES-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304 1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Nitrit in Wasser/Eluat	EN 26777 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phosphat in Wasser/Eluat	EN 1189 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff gesamt in Wasser/Eluat	DIN 38409 H12	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff nach Kjeldahl in Wasser/Eluat	EN 25663 H1 1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamtphosphor in Wasser	EN ISO 6878 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304 1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat	DIN EN ISO 10304 1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat	EN 1895-1 H51 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	EN 1484 (H3) ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phthalate in Wasser/Eluat	EPA 606	Umweltanalytik Altenberge
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	DIN 38407 F8 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat	DIN 38409 H7 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Metalle/Berente in Wasser/Eluat	ISO 17294-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Nonylphenole in Wasser/Eluat	ISO 18857-2 ^A	Umweltanalytik Bochum
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	EN ISO 22032 mod ^A	Umweltanalytik Bochum
Arzneimittelrückstände in Wasser	WES 632	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
Süßstoffe in Wasser	WES 666	Umweltanalytik Altenberge
Steroide/hormone	WES 688 ^A	Umweltanalytik Rhein-Main
Röntgenkontrastmittel in Wasser/Eluat mittels LC-MS/MS	WES 438 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Organosilberverbindungen	EN ISO 17363 F13 ^A	Umweltanalytik Cöppn
WE	Wasser/Eluat	



Kai Dexheimer
Dipl.-Landschaftsökologe
Leiter Geschäftsfeld Wasser

7.9 Untersuchung des Kläranlagenablaufs auf prioritäre Stoffe, 2011



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Abwasseruntersuchung

/

Stadt Münster, Münster

11.01.2011

Auftragseingang: 17.12.2010

Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)

Prüfbeginn: 21.12.2010

Probenahmedatum: 17.12.2010

Prüfende: 11.01.2011

Probenart: Abwasser

Angaben zum Gefäß: Glas-, PE-Flasche, teilweise parameterspezifisch konserviert

- Abwasser -

Labornummer		68860WW10
Bezeichnung		Ablauf Hauptkläranlage
Materialart		Abwasser
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)		
DIN 38407-F 18		
Naphthalin	mg/L	<0,00005
Acenaphthylen	mg/L	<0,00005
Acenaphthen	mg/L	<0,00005
Fluoren	mg/L	<0,00005
Phenanthren	mg/L	<0,00005
Anthracen	mg/L	<0,00005
Fluoranthren	mg/L	<0,00005
Pyren	mg/L	<0,00005
Benzo(a)anthracen	mg/L	<0,00005
Chrysen	mg/L	<0,00005
Benzo(b)fluoranthren	mg/L	<0,00005
Benzo(k)fluoranthren	mg/L	<0,00005
Benzo(a)pyren	mg/L	<0,00005
di-Benzo(a,h)anthracen	mg/L	<0,00005
Benzo(ghi)perylene	mg/L	<0,00005
Indeno(1,2,3)pyren	mg/L	<0,00005
Summe PAK (EPA)	mg/L	n.n.
Nonylphenol, techn. **	µg/l	1,3
Analog ISO 18857-1		
Octylphenol **	µg/l	3,6
analog ISO 18857-1		
Tributylzinn **	ng/l	< 10
DIN EN ISO 17353		
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP,DOP) **	µg/l	0,4
Hausverfahren GC-MS		
Diuron **	µg/l	0,08
Analog DIN EN ISO 11369 F 12		
Isoproturon **	µg/l	< 0,05
analog DIN EN ISO 11369 F 12		



Abwasseruntersuchung

/

Stadt Münster, Münster

11.01.2011

Auftragseingang: 17.12.2010
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 17.12.2010

Prüfbeginn: 21.12.2010
 Prüfende: 11.01.2011

- Abwasser -

Labornummer	68860WW10	
Bezeichnung	Ablauf Hauptkläranlage	
Materialart	Abwasser	
4,4'-Dibromdiphenylether (PBDE 15) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,2',4'-Tribromdiphenylether (PBDE 17) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,4,4'-Tribromdiphenylether (PBDE 28) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,3',4',6'-Tetrabromdiphenylether (PBDE 71) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether (PBDE 47) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,3',4,4'-Tetrabromdiphenylether (PBDE 66) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
2,2',4,4',6'-Pentabromdiphenylether (PBDE 100) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',4,4',5'-Pentabromdiphenylether (PBDE 99) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',3,4,4'-Pentabromdiphenylether (PBDE 85) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',4,4',5,6'-Hexabromdiphenylether (PBDE 154) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',4,4',5,5'-Hexabromdiphenylether (PBDE 153) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',3,4,4',5'-Hexabromdiphenylether (PBDE 138) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',3,4,4',5',6'-Heptabromdiphenylether (PBDE 183) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,3,3',4,4',5,6'-Heptabromdiphenylether (PBDE 190) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
2,2',3,3',4,4',6,6'-Octabromdiphenylether (PBDE 197) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 1
2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Nonabromdiphenylether (PBDE 208) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 2
Decabromdiphenylether (PBDE 209) ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2



UMWELTLABOR ACB GmbH

Albrecht-Thaer-Straße 14 | 48147 Münster | Tel 0251 28 52-0 | Fax 0251 2 30 10 45 | buero@umweltlabor-acb.de | www.umweltlabor-acb.de

Abwasseruntersuchung

/

Stadt Münster, Münster

11.01.2011

Auftragseingang: 17.12.2010
 Probenahme: M. Heinrichs (Umweltlabor ACB GmbH)
 Probenahmedatum: 17.12.2010

Prüfbeginn: 21.12.2010
 Prüfende: 11.01.2011

- Abwasser -

Labornummer		68860WW10
Bezeichnung		Ablauf
Materialart		Abwasser
Tribromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
Tetrabromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,1
Pentabromdiphenylether ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
Hexabromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
Heptabromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 0,2
Octabromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 1
Nonabromdiphenylether, Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	< 2
Polybromdiphenylether (PBDE), Summe ** Lösemittelextraktion GC-MS	µg/l	(n. b. *)

** Fremdvergabe

(n. b. *): nicht berechenbar, da zur Summenbestimmung nur Werte > BG verwendet werden

Dipl.-Ing. Melanie Eckloff
 (Geschäftsführerin)

Die Messergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die uns vorliegenden Prüfmateriale. Die Veröffentlichung unserer Prüfberichte und Gutachten zu Werbezwecken sowie deren auszugsweise Verwendung in sonstigen Fällen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Umweltlabor ACB GmbH.

7.10 Untersuchung des Kläranlagenablaufs auf prioritäre Stoffe, 2014

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



WESSLING GmbH
Oststraße 6 · 48341 Altenberge
www.wessling.de

WESSLING GmbH, Oststr. 6, 48341 Altenberge

Stadt Münster
-Tiefbauamt-
Betrieb von Entwässerungsanlagen
Herr Torsten Brüggemann
Zum Heidehof 72
48157 Münster

Geschäftsfeld: Umwelt
Ansprechpartner: G. Aversch
Durchwahl: +49 2505 89 182
Fax: +49 2505 89 119
E-Mail: guldo.aversch@wessling.de

Prüfbericht

Untersuchung von Wasserproben aus KA-Ablauf KA Münster

Prüfbericht Nr.	CAL14-131222-1	Auftrag Nr.	CAL-15256-14	Datum	10.12.2014
Probe Nr.	14-172095-01				
Eingangsdatum	01.12.2014				
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage				
Probenart	Abwasser				
Probenahme	28.11.2014				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Can				
Probenmenge	6,65 Liter				
Probengefäß	6x1 L Schliffflasche 250 ml Schliffflasche 250 ml PE 3xSeptumglas Greinerröhrchen				
Anzahl Gefäße	13				
Untersuchungsbeginn	01.12.2014				
Untersuchungsende	09.12.2014				

Seite 1 von 6



Durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Akkreditierung gilt für die mit [®] markierten Prüfverfahren. Eine detaillierte Aufzählung 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:
Hans-Dieter Bassemeyer, Dr. Michaela Nowak
HRB 1953 A0 Steinfurt

Prüfbericht Nr. CAL14-131222-1 Auftrag Nr. CAL-15256-14 Datum 10.12.2014

Vor-Ort-Parameter

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Entnahmedatum	WE	28.11.14	
Entnahmezeitraum von - bis	WE	8:30-9:00	
Entnahmeort, Entnahmeraum	WE	Ablauf/Becken	
Entnahmemart	WE	Stichprobe	
Entnahmegesät	WE	Schöpfer	
Wassertemperatur bei Probenahme	°C WE	13,6	
pH-Wert	WE	7,5	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	1.370	
Sauerstoff (elektrom.)	mg/l WE	7,4	
Chlor (Cl), frei	mg/l WE	---	
Temperatur biol. Reaktor	°C WE	---	
Farbe	WE	braun	
Farbstärke	WE	schwach	
Trübung	WE	keine	
Schaumbildung	WE	nein	
Schwimmstoffe	WE	nein	
Abwassermenge	m³/h WE	---	
Lufttemperatur	°C WE	4	
Wetterlage Vortag	WE	bewölkt 8/8	
Wetterlage Probennahmetag	WE	bewölkt 8/8	
Vergleichschlammvolumen	ml WE	---	
Besonderheiten	WE	keine	
Bodensatz	WE	nein	

Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTEX)

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Benzol	µg/l WE	<0,5	
Toluol	µg/l WE	<0,5	
m-, p-Xylol	µg/l WE	<0,5	
o-Xylol	µg/l WE	<0,5	
Summe nachgewiesener BTEX	µg/l WE	-/	

Prüfbericht Nr. CAL14-131222-1 Auftrag Nr. CAL-15256-14 Datum 10.12.2014

Schwerflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Hexachlorbenzol (HCB)	µg/l	WE	<0,03
Hexachlorcyclohexan, gamma- (Lind.)	µg/l	WE	<0,03

Chlorphenole

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Pentachlorphenol	µg/l	WE	<0,5

Summenparameter

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Cyanid (CN), ges.	mg/l	WE	<0,005
Phenol-Index ohne Destillation	mg/l	WE	<0,01

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Fluorid (F)	mg/l	WE	0,2
Chlorid (Cl)	mg/l	WE	180

Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Dichlormethan	µg/l	WE	<0,5
Trichlormethan	µg/l	WE	<0,5
Tetrachlormethan	µg/l	WE	<0,5
Trichlorethen	µg/l	WE	<0,5
1,2-Dichlorethen	µg/l	WE	<0,5
Hexachlor-1,3-butadien	µg/l	WE	<0,5

Prüfbericht Nr. CAL14-131222-1 Auftrag Nr. CAL-15256-14 Datum 10.12.2014

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Atrazin	µg/l	WE	<0,05
Diuron	µg/l	WE	<0,05
Isoproturon	µg/l	WE	<0,05
Simazin	µg/l	WE	<0,05

Phthalate

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	<2

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
PCB Nr. 28	µg/l	WE	<0,003
PCB Nr. 52	µg/l	WE	<0,003
PCB Nr. 101	µg/l	WE	<0,003
PCB Nr. 138	µg/l	WE	<0,003
PCB Nr. 153	µg/l	WE	<0,003
PCB Nr. 180	µg/l	WE	<0,003
Summe der 6 PCB	µg/l	WE	-/-
PCB gesamt (Summe 6 PCB x 5)	µg/l	WE	-/-

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Naphthalin	µg/l	WE	<0,05
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02
Benzo(ghi)perylen	µg/l	WE	<0,02

Prüfbericht Nr. CAL14-131222-1 Auftrag Nr. CAL-15256-14 Datum 10.12.2014

Nonylphenole

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1
Bisphenol A	µg/l	WE	0,74
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	0,35
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	14-172095-01		
Bezeichnung	Ablauf Kläranlage		
Monobutylzinn	µg/l	WE	0,01
Dibutylzinn	µg/l	WE	0,0026
Tributylzinn	µg/l	WE	0,000 18
Tetrabutylzinn	µg/l	WE	<0,000 1
Monooctylzinn	µg/l	WE	<0,000 1
Diocetylzinn	µg/l	WE	<0,000 1
Triphenylzinn	µg/l	WE	<0,000 1
Tricyclohexylzinn	µg/l	WE	<0,000 1

14-172095-01

Kommentare der Ergebnisse:

Naphthalin: Bestimmungsgrenze aufgrund von Matrixstörungen angehoben

Abkürzungen und Methoden

Vor-Ort-Parameter

LHKW (leichtfl. halogen. Kohlenwasserst.)

EN ISO 10801^A

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge

Seite 5 von 6



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 ^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:
Hans-Dieter Bessemeyer, Dr. Michaela Nowak
HRG 1953 AG Steinfurt

Prüfbericht Nr.	CAL14-131222-1	Auftrag Nr.	CAL-15256-14	Datum	10.12.2014
Abkürzungen und Methoden		ausführender Standort			
BTEX (leichtfl. aromat. Kohlenwasserst.)		DIN 38407 F9 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
schwerfl. Clorkohlenwasserst. (Wasser/Eluat)		ISO 6469 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Polychlorierte Biphenyle (PCB)		EN ISO 6469 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Pestizide in Wasser/Eluat (pH 7)		EN ISO 11369 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)		DIN 38407 F9 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Chlorganole in Wasser/Eluat		EN 12679 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Nonylphenole in Wasser/Eluat		ISO 18857-2 ^A		Umweltanalytik Bochum	
Organosilberverbindungen		EN ISO 17359 F13 ^A		Umweltanalytik Oppin	
Phthalate in Wasser/Eluat		EPA606		Umweltanalytik Altenberge	
Cyanide gesamt		EN ISO 14403 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Fluorid in Wasser/Eluat		DIN 38406-4 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gelöste Anionen, Chlorid (D19D20) in Wasser/Eluat		EN ISO 10804-1 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Phenol-Index in Wasser/Eluat		EN ISO 14402 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
WE		Wasser/Eluat			



Guido Aversch
Dipl.-Ing. Chemie
Sachverständiger Umwelt

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

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling GmbH
Rombergstraße 46
49377 Vechta

Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: N. Aversch
Durchwahl: +49 2505 89 152
Fax: +49 2505 89 119
E-Mail: Nadine.Aversch@wessling.de

Prüfbericht

Analytik Machbarkeitsstudie zur Elimination von Spurenstoffen hier: Zentralkläwerk Münster

Prüfbericht Nr.	CAL15-097639-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.		15-114961-03		15-114961-04	
Eingangsdatum		07.08.2015		07.08.2015	
Bezeichnung		Zulauf HKA 72h MP		Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)	
Probenart		Abwasser		Abwasser	
Probenahme		31.08.2015		31.08.2015	
Probenahme durch		Auftraggeber		Auftraggeber	
Probengefäß		1 L Schließflasche		1 L Schließflasche	
Anzahl Gefäße		6		6	
Untersuchungsbeginn		27.08.2015		27.08.2015	
Untersuchungsende		14.09.2015		14.09.2015	

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.		15-114961-04
Bezeichnung		Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
pH-Wert	W/E	8,0
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm W/E	1100



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL 54162-01-00

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 Kundenanlage 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 auszussweise vervielfältigt werden.

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

Prüfbericht Nr.	CAL15-097639-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.				15-114981-04
Bezeichnung				Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Ammonium (NH ₄)	mg/l	WE		1,1
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	WE		0,85
Bromid (Br)	mg/l	WE		0,32
Nitrat (NO ₃)	mg/l	WE		4,9
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	WE		1,1
Nitrit (NO ₂)	mg/l	WE		0,53
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	WE		0,16
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l	WE		<0,03
ortho-Phosphat (P)	mg/l	WE		<0,01
Stickstoff, ges.	mg/l	WE		4,77
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l	WE		3,5
Gesamtposphor (P)	mg/l	WE		0,07
Sulfat (SO ₄)	mg/l	WE		100
Chlorid (Cl)	mg/l	WE		150

Summenparameter

Probe Nr.				15-114981-04
Bezeichnung				Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
BSB ₅ (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE		<3
TOC	mg/l	WE		7,9

Phthalate

Probe Nr.			15-114981-03	15-114981-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	15	<2

Prüfbericht Nr.	CAL15-097639-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Naphthalin	µg/l	WE	< 0,5	< 0,05
Acenaphthylen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Acenaphthen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Fluoren	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Phenanthren	µg/l	WE	0,18	< 0,05
Anthracen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Fluoranthen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Pyren	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Chrysen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Benzo(ghi)perylene	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	< 0,05	< 0,05
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	0,18	-/-

Chemische Untersuchung

Probe Nr.			15-114961-04
Bezeichnung			Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	4,1

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Silber (Ag)	mg/l	WE	< 0,01	< 0,01

Prüfbericht Nr. CAL15-097639-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Nonylphenole

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	0,11	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	1,4	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	0,29	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1	<0,1
Bisphenol A	µg/l	WE	1,7	0,26
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	0,16	<0,1
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1	<0,1
4-Nonylphenol	µg/l	WE	1,7	<0,1

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	WE	<0,0001	<0,0002
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	WE	<0,008	<0,02

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Carbamazepin	µg/l	WE	0,58	0,49
Diclofenac	µg/l	WE	2,2	1,5
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,64	0,36
Bezafibrat	µg/l	WE	0,68	0,21
Atenolol	µg/l	WE	<0,2	<0,2
Metoprolol	µg/l	WE	2,9	2,7
Sotalol	µg/l	WE	0,2	<0,2
Phenazon	µg/l	WE	<0,2	<0,2
Clarithromycin	µg/l	WE	0,28	<0,2
Naproxen	µg/l	WE	0,93	0,29
Bisoprolol	µg/l	WE	0,42	0,35
Oxazepam	µg/l	WE	0,2	<0,2

Prüfbericht Nr. CAL15-097639-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Benzotriazol	µg/l	WE	13	7,9
Atrazin	µg/l	WE		<0,025
Diuron	µg/l	WE	<0,025	<0,025
Isoproturon	µg/l	WE	<0,025	<0,025
Simazin	µg/l	WE		<0,025
Terbutryn	µg/l	WE	0,37	0,22

Süßstoffe

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Acesulfam K	µg/l	WE	32	0,77
Saccharin	µg/l	WE	25	0,67
Cyclamat	µg/l	WE	130	<0,05
Sucralose	µg/l	WE	5,4	4,2

Steroid-Hormone

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	0,06	<0,005
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,005	<0,005
Estron (E1)	µg/l	WE	0,15	0,008

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Iopamidol	µg/l	WE	1	1,6
Iomeprol	µg/l	WE	33	22
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	0,61	2,4
Iopromid	µg/l	WE	55	28

Organozinnverbindungen

Probe Nr.			15-114961-03	15-114961-04
Bezeichnung			Zulauf HKA 72h MP	Ablauf HKA 72h MP (Probe 2)
Tributylzinn	µg/l	WE	0,063	<0,0001

15-114961-03 und -04

Kommentare der Ergebnisse:

Naphthalin: Aufgrund von Matrixstörungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

Silber (Ag): Die Probe war unfiltriert und unstabilisiert und wurde nachträglich im Labor membranfiltriert.

Prüfbericht Nr.	CAL15-097639-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Abkürzungen und Methoden			ausführender Standort		
Phthalate in Wasser/Eluat		EPA 806		Umweltanalytik Altenberge	
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)		DIN 38407 F8 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Metalle/Elemente in Wasser/Eluat		ISO 17284-2 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Nonylphenole in Wasser/Eluat		ISO 18867-2 ^A		Umweltanalytik Bochum	
Polybromierte Diphenylether (PBDE)		EN ISO 22032 mod. ^A		Umweltanalytik Bochum	
Arzneimittelrückstände in Wasser		WES 532		Umweltanalytik Altenberge	
Spezielle org. Stoffe mit LC-MS		WES 778 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Pestizide, Arzneimittel und Metabolite mit LC-MS		DIN 38407-38 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Süßstoffe in Wasser		WES 656		Umweltanalytik Altenberge	
Steroidhormone		WES 889 ^A		Umweltanalytik Rhein-Main	
Röntgenkontrastmittel in Wasser/Eluat mittels LC-MS/MS		WES 438 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Organosilberverbindungen		EN ISO 17353 F13 ^A		Umweltanalytik Oppin	
pH-Wert in Wasser/Eluat		DIN 38404-5 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluat		DIN EN 27888 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Ammonium		DIN 38406 E5-1 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gelöste Anionen in Wasser/Eluat		DIN EN ISO 10304-1 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Nitrit in Wasser/Eluat		EN 26777 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Phosphat in Wasser/Eluat		EN 1186 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Stickstoff gesamt in Wasser/Eluat		DIN 38409 H12		Umweltanalytik Altenberge	
Stickstoff nach Kjeldahl in Wasser/Eluat		EN 25963 H11 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gesamtphosphor in Wasser		EN ISO 6878 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluat		DIN EN ISO 10304-1 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluat		DIN EN ISO 10304-1 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluat		EN 1890-1 H61 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Gesamtorganischer Kohlenstoff (TOC)		EN 1484 (H6) ^A		Umweltanalytik Altenberge	
Säure- und Basekapazität in Wasser/Eluat		DIN 38409 H7 ^A		Umweltanalytik Altenberge	
W/E		Wasser/Eluat			



Kai Dexheimer
Dipl.-Landschaftsökologe
Leiter Geschäftsfeld Wasser



Deutsche
Akkreditierungsgesellschaft
D-PL 44162-01-00

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:
Dr. Michaela Nowak, Hans-Dieter
Bossmeyer, Florian Welling
AG Steinfurt HRB 1953

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

BERATUNG | ANALYTIK | PLANUNG



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

WESSLING GmbH, Oststr. 7, 48341 Altenberge

Ingenieurbüro Frilling GmbH
Rombergstraße 46
49377 Vechta

Geschäftsfeld: Wasser

Ansprechpartner: N. Aversch
Durchwahl: +49 2505 89 152
Fax: +49 2505 89 119
E-Mail: Nadine.Aversch@wessling.de

Prüfbericht

Analytik Machbarkeitsstudie zur Elimination von Spurenstoffen hier: Zentralklärwerk Münster

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-01				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probenehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schliff 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-01		
Bezeichnung	vor Einleitung Aa		
pH-Wert	WE	7,5	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	350	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-01		
Bezeichnung	vor Einleitung Aa		
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE	0,15	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE	0,12	
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE	10	
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE	2,3	
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE	0,19	

Seite 1 von 18



DAkkS
Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL 54162-01 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:
Dr. Michaela Nowak, Hans-Dieter
Bussmeyer, Florian Wedling
AG Steinfurt HRB 1953

Prüfbericht Nr. **CAL15-097713-2** Auftrag Nr. **CAL-09536-15** Datum **15.09.2015**

Probe Nr.				15-125454-01
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	WE		0,058
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l	WE		0,15
ortho-Phosphat (P)	mg/l	WE		0,05
Stickstoff, ges.	mg/l	WE		4,62
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l	WE		2,3
Gesamtposphor (P)	mg/l	WE		0,14
Sulfat (SO ₄)	mg/l	WE		39
Chlorid (Cl)	mg/l	WE		18

Summenparameter

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
BSB ₅ (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE		<3
TOC	mg/l	WE		8,8

Phthalate

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE		<2

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.				15-125454-01
Bezeichnung				vor Einleitung Aa
Naphthalin	µg/l	WE		<0,02
Acenaphthylen	µg/l	WE		<0,02
Acenaphthen	µg/l	WE		<0,02
Fluoren	µg/l	WE		<0,02
Phenanthren	µg/l	WE		<0,02
Anthracen	µg/l	WE		<0,02
Fluoranthen	µg/l	WE		<0,02
Pyren	µg/l	WE		<0,02
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE		<0,02
Chrysen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(a)pyren	µg/l	WE		<0,02
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE		<0,02
Benzo(ghi)perylen	µg/l	WE		<0,02
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE		<0,02
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE		-/-



Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	W/E	2		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
Silber (Ag)	mg/l	W/E	<0,01		

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
4-tert.-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
Bisphenol A	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Butylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-01				
Bezeichnung	vor Einleitung Aa				
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	W/E	<0,0001		
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	W/E	<0,005		

Arzneimittel-Rückstände

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Carbamazepin	µg/l	WE	<0,025		
Diclofenac	µg/l	WE	<0,025		
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	<0,025		
Bezafibrat	µg/l	WE	<0,025		
Atenolol	µg/l	WE	<0,05		
Metoprolol	µg/l	WE	<0,025		
Sotalol	µg/l	WE	<0,025		
Phenazon	µg/l	WE	<0,025		
Clarithromycin	µg/l	WE	<0,025		
Naproxen	µg/l	WE	<0,025		
Bisoprolol	µg/l	WE	<0,025		
Oxazepam	µg/l	WE	0,081		
Pflanzenschutzmittel-Rückstände					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Benzotriazol	µg/l	WE	0,11		
Atrazin	µg/l	WE	<0,025		
Diuron	µg/l	WE	<0,025		
Isoproturon	µg/l	WE	<0,025		
Simazin	µg/l	WE	<0,025		
Terbutryn	µg/l	WE	<0,025		
Süßstoffe					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Acesulfam K	µg/l	WE	0,15		
Saccharin	µg/l	WE	0,1		
Cyclamat	µg/l	WE	0,16		
Sucralose	µg/l	WE	0,036		
Steroid-Hormone					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	<0,005		
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,005		
Estron (E1)	µg/l	WE	<0,005		
Röntgenkontrastmittel					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Iopamidol	µg/l	WE	<0,025		
Iomeprol	µg/l	WE	0,028		
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	<0,025		

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.					15-125454-01
Iopromid		µg/l	WE	<0,025	
Organozinnverbindungen					
Probe Nr.					15-125454-01
Bezeichnung					vor Einleitung Aa
Tributylzinn		µg/l	WE	<0,00005	



Prüfbericht Nr.	CAL 15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-02				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schließ 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
pH-Wert	WE	7,4	
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm WE	570	

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
Ammonium (NH ₄)	mg/l WE	0,27	
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l WE	0,21	
Nitrat (NO ₃)	mg/l WE	7,6	
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l WE	1,7	
Nitrit (NO ₂)	mg/l WE	0,59	
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l WE	0,18	
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l WE	0,14	
ortho-Phosphat (P)	mg/l WE	0,05	
Stickstoff, ges.	mg/l WE	3,90	
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l WE	2	
Gesamtphosphor (P)	mg/l WE	0,18	
Sulfat (SO ₄)	mg/l WE	53	
Chlorid (Cl)	mg/l WE	59	

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3		
TOC	mg/l	WE	8,4		

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	3		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoren	µg/l	WE	<0,02		
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02		
Anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Pyren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Chrysen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(ghi)perylen	µg/l	WE	<0,02		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-		

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	2,5		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-02				
Bezeichnung	nach Einleitung Aa				
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01		

Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1
Bisphenol A	µg/l	WE	0,13
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	WE	<0,0001
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	WE	<0,0001
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	WE	<0,005

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-02		
Bezeichnung	nach Einleitung Aa		
Carbamazepin	µg/l	WE	0,1
Diclofenac	µg/l	WE	0,4
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,11
Beza fibrat	µg/l	WE	<0,025
Atenolol	µg/l	WE	0,069
Metoprolol	µg/l	WE	0,59
Sotalol	µg/l	WE	0,037
Phenazon	µg/l	WE	0,057
Clarithromycin	µg/l	WE	<0,025
Naproxen	µg/l	WE	0,066
Bisoprolol	µg/l	WE	0,087
Oxazepam	µg/l	WE	0,077



Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.				15-125454-02
Bezeichnung				nach Einleitung Aa
Benzotriazol	µg/l	WE		2,6
Atrazin	µg/l	WE		<0,025
Diuron	µg/l	WE		<0,025
Isoproturon	µg/l	WE		<0,025
Simazin	µg/l	WE		<0,025
Terbutryn	µg/l	WE		0,05

Süßstoffe

Probe Nr.				15-125454-02
Bezeichnung				nach Einleitung Aa
Acesulfam K	µg/l	WE		0,4
Saccharin	µg/l	WE		0,94
Cyclamat	µg/l	WE		0,083
Sucralose	µg/l	WE		1,1

Steroid-Hormone

Probe Nr.				15-125454-02
Bezeichnung				nach Einleitung Aa
17 beta-Estradiol	µg/l	WE		<0,005
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE		<0,005
Estron (E1)	µg/l	WE		<0,005

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.				15-125454-02
Bezeichnung				nach Einleitung Aa
Iopamidol	µg/l	WE		1,1
Iomeprol	µg/l	WE		8,3
Amidotrizoensäure	µg/l	WE		1,6
Iopromid	µg/l	WE		8,1

Organozinnverbindungen

Probe Nr.				15-125454-02
Bezeichnung				nach Einleitung Aa
Tributylzinn	µg/l	WE		<0,00005

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-03				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schliff 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 60 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-03		
Bezeichnung	nach Einleitung Ems		
pH-Wert	WE		7,8
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm	WE	770

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-03		
Bezeichnung	nach Einleitung Ems		
Ammonium (NH ₄)	mg/l	WE	0,08
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	WE	0,062
Nitrat (NO ₃)	mg/l	WE	15
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	WE	3,4
Nitrit (NO ₂)	mg/l	WE	0,13
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	WE	0,04
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l	WE	0,24
ortho-Phosphat (P)	mg/l	WE	0,08
Stickstoff, ges.	mg/l	WE	3,43
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l	WE	<2
Gesamtphosphor (P)	mg/l	WE	0,18
Sulfat (SO ₄)	mg/l	WE	74
Chlorid (Cl)	mg/l	WE	78

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3	
TOC	mg/l	WE	7,3	

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	<2	

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02	
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02	
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02	
Fluoren	µg/l	WE	<0,02	
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02	
Anthracen	µg/l	WE	<0,02	
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02	
Pyren	µg/l	WE	<0,02	
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02	
Chrysen	µg/l	WE	<0,02	
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02	
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02	
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02	
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02	
Benzo(ghi)perylene	µg/l	WE	<0,02	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02	
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-	

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	3,7	

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-03			
Bezeichnung	nach Einleitung Ems			
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01	

Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
4-tert.-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	W/E	<0,1		
Bisphenol A	µg/l	W/E	<0,1		
4-tert.-Butylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-n-Octylphenol	µg/l	W/E	<0,1		
4-Nonylphenol	µg/l	W/E	<0,1		

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	W/E	<0,0001		
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	W/E	<0,0001		
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	W/E	<0,005		

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Carbamazepin	µg/l	W/E	0,092		
Diclofenac	µg/l	W/E	0,13		
Sulfamethoxazol	µg/l	W/E	0,055		
Beza fibrat	µg/l	W/E	<0,025		
Atenolol	µg/l	W/E	<0,05		
Metoprolol	µg/l	W/E	0,32		
Sotalol	µg/l	W/E	0,026		
Phenazon	µg/l	W/E	<0,025		
Clarithromycin	µg/l	W/E	<0,025		
Naproxen	µg/l	W/E	<0,025		
Bisoprolol	µg/l	W/E	0,039		
Oxazepam	µg/l	W/E	<0,025		



Prüfbericht Nr.	CAL15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	----------------	-------------	--------------	-------	------------

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Benzotriazol	µg/l	W/E	1,4		
Atrazin	µg/l	W/E	<0,025		
Diuron	µg/l	W/E	<0,025		
Isoproturon	µg/l	W/E	<0,025		
Simazin	µg/l	W/E	<0,025		
Terbutryn	µg/l	W/E	<0,025		

Süßstoffe

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Acesulfam K	µg/l	W/E	0,61		
Saccharin	µg/l	W/E	0,064		
Cyclamat	µg/l	W/E	0,11		
Sucralose	µg/l	W/E	0,59		

Steroid-Hormone

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
17 beta-Estradiol	µg/l	W/E	<0,005		
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	W/E	<0,005		
Estron (E1)	µg/l	W/E	<0,005		

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Iopamidol	µg/l	W/E	0,99		
Iomeprol	µg/l	W/E	1,2		
Amidotrizoesäure	µg/l	W/E	0,6		
Iopromid	µg/l	W/E	0,85		

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	15-125454-03				
Bezeichnung	nach Einleitung Ems				
Tributylzinn	µg/l	W/E	0,0003		

Prüfbericht Nr.	CAL 15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
Probe Nr.	15-125454-04				
Eingangsdatum	28.08.2015				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Probenart	Fließgewässer				
Probenahme	28.08.2015				
Probenahme durch	WESSLING GmbH				
Probennehmer	Herr Winter				
Probenmenge	15040 ml				
Probengefäß	2000 ml Flasche 10x 1000 + 4x 250 ml Schliff 1000 + 3x 250 + 50 ml PE 2x 80 + 3x 40 ml HS				
Anzahl Gefäße	25				
Untersuchungsbeginn	28.08.2015				
Untersuchungsende	14.09.2015				

Physikalische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
pH-Wert	WE		7,7
Leitfähigkeit [25°C], elektrische	µS/cm	WE	770

Kationen, Anionen und Nichtmetalle

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Ammonium (NH ₄)	mg/l	WE	0,06
Ammonium-Stickstoff (NH ₄ -N)	mg/l	WE	0,047
Nitrat (NO ₃)	mg/l	WE	15
Nitrat-Stickstoff (NO ₃ -N)	mg/l	WE	3,4
Nitrit (NO ₂)	mg/l	WE	0,09
Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	WE	0,027
ortho-Phosphat (PO ₄)	mg/l	WE	0,24
ortho-Phosphat (P)	mg/l	WE	0,08
Stickstoff, ges.	mg/l	WE	3,42
Kjeldahlstickstoff (N)	mg/l	WE	<2
Gesamtphosphor (P)	mg/l	WE	0,15
Sulfat (SO ₄)	mg/l	WE	73
Chlorid (Cl)	mg/l	WE	76

Summenparameter

Prüfbericht Nr.	CAL 15-097713-2	Auftrag Nr.	CAL-09536-15	Datum	15.09.2015
-----------------	-----------------	-------------	--------------	-------	------------

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
BSB5 (homogenisiert, mit ATH)	mg/l	WE	<3		
TOC	mg/l	WE	6,8		

Phthalate

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	2,9		

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Naphthalin	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthylen	µg/l	WE	<0,02		
Acenaphthen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoren	µg/l	WE	<0,02		
Phenanthren	µg/l	WE	<0,02		
Anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Pyren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Chrysen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(a)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	WE	<0,02		
Benzo(ghi)perylene	µg/l	WE	<0,02		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	WE	<0,02		
Summe nachgewiesener PAK	µg/l	WE	-/-		

Chemische Untersuchung

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Säurekapazität, pH 4,3	mmol/l	WE	3,7		

Gesamtgehalt

Elemente

Probe Nr.	15-125454-04				
Bezeichnung	vor Einleitung Ems				
Silber (Ag)	mg/l	WE	<0,01		

Prüfbericht Nr. CAL15-097713-2 Auftrag Nr. CAL-09536-15 Datum 15.09.2015

Nonylphenole

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1
Bisphenol A	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
2,4,4-Tribromdiphenylether (BDE 28)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4-Tetrabromdiphenylether (BDE 47)	µg/l	WE	<0,0001
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether (BDE 99)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,6-Pentabromdiphenylether (BDE 100)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenylether (BDE 153)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenylether (BDE 154)	µg/l	WE	<0,0001
2,2,3,4,4,5,6-Heptabromdiphenylether (BDE 183)	µg/l	WE	<0,0001
Decabromdiphenylether (BDE 209)	µg/l	WE	<0,005

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Carbamazepin	µg/l	WE	0,088
Diclofenac	µg/l	WE	0,15
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,057
Bezafibrat	µg/l	WE	<0,025
Atenolol	µg/l	WE	<0,05
Metoprolol	µg/l	WE	0,3
Sotalol	µg/l	WE	<0,025
Phenazon	µg/l	WE	<0,025
Clarithromycin	µg/l	WE	<0,025
Naproxen	µg/l	WE	<0,025
Bisoprolol	µg/l	WE	0,033
Oxazepam	µg/l	WE	<0,025

Prüfbericht Nr. **CAL 15-097713-2** Auftrag Nr. **CAL-09536-15** Datum **15.09.2015**

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Benzotriazol	µg/l	WE	1,2
Atrazin	µg/l	WE	<0,025
Diuron	µg/l	WE	<0,025
Isoproturon	µg/l	WE	<0,025
Simazin	µg/l	WE	<0,025
Terbutryn	µg/l	WE	<0,025

Süßstoffe

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Acesulfam K	µg/l	WE	0,63
Saccharin	µg/l	WE	0,048
Cyclamat	µg/l	WE	0,11
Sucralose	µg/l	WE	0,52

Steroid-Hormone

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	<0,005
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,005
Estron (E1)	µg/l	WE	<0,005

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Iopamidol	µg/l	WE	0,76
Iomeprol	µg/l	WE	0,36
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	0,49
Iopromid	µg/l	WE	0,19

Organozinnverbindungen

Probe Nr.	15-125454-04		
Bezeichnung	vor Einleitung Ems		
Tributylzinn	µg/l	WE	<0,00005

Abkürzungen und Methoden

		ausführender Standort
pH-Wert in Wasser/Eluent	DIN 38404-9 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Leitfähigkeit, elektrisch in Wasser/Eluent	DIN EN 27888 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Ammonium	DIN 38406 ES-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen in Wasser/Eluent	DIN EN ISO 10804-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Nitrit in Wasser/Eluent	EN 26777 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phosphat in Wasser/Eluent	EN 1189 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff gesamt in Wasser/Eluent	DIN 38409 H12	Umweltanalytik Altenberge
Stickstoff nach Kjeldahl in Wasser/Eluent	EN 26688 H1-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamtphosphor in Wasser	EN ISO 6878 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Sulfat in Wasser/Eluent	DIN EN ISO 10804-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gelöste Anionen, Chlorid in Wasser/Eluent	DIN EN ISO 10804-1 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB) mit ATH in Wasser/Eluent	EN 1899-1 H91 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Gesamt organischer Kohlenstoff (TOC)	EN 1484 (H3) ^A	Umweltanalytik Altenberge
Phthalate in Wasser/Eluent	EPA 605	Umweltanalytik Altenberge
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	DIN 38407 F8 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Säure- und Basikapazität in Wasser/Eluent	DIN 38409 H7 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Metalle/Elemente in Wasser/Eluent	ISO 17294-2 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Nonyphenole in Wasser/Eluent	ISO 18857-2 ^A	Umweltanalytik Bochum
Polybromierte Diphenylether (PBDE)	EN ISO 22032 mod ^A	Umweltanalytik Bochum
Arzneimittelrückstände in Wasser	WES 932	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
Süßstoffe in Wasser	WES 666	Umweltanalytik Altenberge
Steroide	WES 686 ^A	Umweltanalytik Rhein-Main
Röntgenkontrastmittel in Wasser/Eluent mittels LC-MS/MS	WES 436 ^A	Umweltanalytik Altenberge
Organosilberverbindungen	EN ISO 17363 F13 ^A	Umweltanalytik Oppin
WE	Wasser/Eluent	



Kai Dexheimer
Dipl.-Landschaftsökologe
Leiter Geschäftsfeld Wasser

8 Anhang B – Investitionen

8.1 Investitionen Variante 1

PAK-Dosierung in die Belegung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen				
Baustelleneinrichtung				105.000,00 €
Vorbereitende Arbeiten:				
Baufeldräumung	5.000	m ²	5,00 €	25.000,00 €
Umlenschacht, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m ³	450,00 €	36.000,00 €
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.700	m ³	200,00 €	340.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Abaufritten inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.900	m ³	400,00 €	760.000,00 €
Ablaufmengenmessanlage, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	130	m ³	800,00 €	104.000,00 €
Fundamentplatte für PAK-Silos mit Dosierhaus (UR = 140 m ³)				65.000,00 €
Fundamente für Fällmittelbehälter inkl. Abtankplatz nach WHG und Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel				80.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 1.800	55	m	1.600,00 €	88.000,00 €
DN 200	130	m	200,00 €	26.000,00 €
Leerrohre	20	m	100,00 €	2.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	1.550	m ²	120,00 €	186.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen				30.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				1.847.000,00 €
Maschinelle Maßnahmen				
2 x PAK-Silos (V = 100 m ³) inkl. Dosiereinheiten				540.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerke				50.000,00 €
2 x Fällmitteltank (V = 25 m ³) mit Dosieranlagen				150.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
16 Filtereinheiten à 90 m ² mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher				2.640.000,00 €
16 Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb				128.000,00 €
16 Gewindeschieber DN 300				64.000,00 €
1 Lager- / Dosierstationen für FHM				25.000,00 €
Summe maschinell netto				3.597.000,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 20 % der Kosten der Maschinenteknik				719.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				719.000,00 €
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)				92.000,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				924.000,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1,0 % der Investitionskosten)				62.000,00 €
Summe Nebenkosten netto				1.078.000,00 €
Gesamtkosten netto				7.241.000,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				1.375.790,00 €
Zwischensumme brutto				8.616.790,00 €

8.2 Investitionen Variante 2

PAK-Dosierung in Kontaktbecken				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen				
Baustelleneinrichtung				236.900,00 €
Vorbereitende Arbeiten:				
Baufeldräumung	10.200	m ²	5,00 €	51.000,00 €
Regelschacht, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m ³	450,00 €	36.000,00 €
Kontaktbecken I und II, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	2.620	m ³	150,00 €	393.000,00 €
Sedimentationsbecken I und II, Stahlbetonrundbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	2x4.550	m ³	125,00 €	1.137.500,00 €
Trennbauwerk, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	60	m ³	500,00 €	30.000,00 €
Nachfüllung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.700	m ³	200,00 €	340.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl Zu- und Ablaufritten inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.900	m ³	400,00 €	760.000,00 €
Ablaufmengenmessanlage, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	130	m ³	800,00 €	104.000,00 €
Rückführschneckenpumpwerk, Stahlbetonschachtbauwerk und Schneckenrötre inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	350	m ³	400,00 €	140.000,00 €
Fundamentplatte für PAK-Silos mit Dosierhaus (UR = 140 m ³)				65.000,00 €
Fundamente für Fällmittelbehälter inkl. Abtankplatz nach WHG und Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel				80.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 1.800	32	m	1.600,00 €	51.200,00 €
DN 1.500	28	m	1.300,00 €	36.400,00 €
DN 1.000	90	m	900,00 €	81.000,00 €
DN 900	108	m	800,00 €	86.400,00 €
DN 800	130	m	720,00 €	93.600,00 €
DN 600	50	m	540,00 €	27.000,00 €
DN 200	170	m	200,00 €	34.000,00 €
Leerrohre	20	m	100,00 €	2.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	3.000	m ²	120,00 €	360.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen				50.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				4.195.000,00 €
Maschinelle Maßnahmen				
Ausrüstung Regelschacht				
Gewindeschieber DN 1.000 mit E-Antrieb				10.000,00 €
Ausrüstung Kontaktbecken:				
4 Absenkrinnenschieber mit E-Antrieb				36.000,00 €
Rührwerke				100.000,00 €
2 PAK-Silos (V = 50 m ³) inkl. Dosieranlagen				460.000,00 €
Ausrüstung Sedimentationsbecken:				
2 Räumbrücken mit Vorräumschild				240.000,00 €
2 Ablaufritten aus Edelstahl (L = je 97 m)				150.000,00 €
Ausrüstung Nachfüllung:				
Rührwerke				50.000,00 €
2 x Fällmitteltank (V = 25 m ³) mit Dosieranlagen				150.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
16 Filtereinheiten à 90 m ² , mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher				2.640.000,00 €
16 Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb				128.000,00 €
16 Gewindeschieber DN 300				64.000,00 €
Rückführschneckenpumpwerk				
Rohrleitungen und Armaturen für die Messstrecken				32.000,00 €
3 Trogförderschnecken (D = 1.200 mm)				126.000,00 €
Schlammumpwerk mit 2 Tauchmotorpumpen, Armaturen und Rohrleitungen				24.000,00 €
1 Lager- / Dosierstationen für FHM				25.000,00 €
Summe maschinell netto				4.235.000,00 €

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 20 % der Kosten der Maschinentechnik				847.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				847.000,00 €
Ingenieurleistungen und sonstiges				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)				139.000,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				1.392.000,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1,0 % der Investitionskosten)				93.000,00 €
Zwischensumme netto				1.624.000,00 €
Gesamtkosten netto				10.901.000,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				2.071.190,00 €
Zwischensumme brutto				12.972.190,00 €

8.3 Investitionen Variante 3

Ozonung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen				170.400,00 €
Baustelleneinrichtung				
Vorbereitende Arbeiten:				
Baufeldräumung	6.000	m ²	5,00 €	30.000,00 €
Regelschacht, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m ³	450,00 €	36.000,00 €
Ozonkontaktbecken, Stahlbetonbecken einschl Zu- und Ablaufschächte inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	2.120	m ³	400,00 €	848.000,00 €
Maschinenhaus für Ozongenerator und Kühlung in Massivbauweise inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	200	m ³	600,00 €	120.000,00 €
Fundamentplatte für Sauerstofftanks und Verdampferanlage				10.000,00 €
Trennbauwerk, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	60	m ³	500,00 €	30.000,00 €
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.700	m ³	200,00 €	340.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.900	m ³	400,00 €	760.000,00 €
Ablaufmengenmessanlage, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	130	m ³	800,00 €	104.000,00 €
Fundamente für Fällmittelbehälter inkl. Abtankplatz nach WHG und Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel				80.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 1.800	32	m	1.600,00 €	51.200,00 €
DN 1.500	28	m	1.300,00 €	36.400,00 €
DN 1.000	80	m	900,00 €	72.000,00 €
DN 200	130	m	200,00 €	26.000,00 €
Leerrohre	20	m	100,00 €	2.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	2.250	m ²	120,00 €	270.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen				30.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				3.016.000,00 €
Maschinelle Maßnahmen				
Ausrüstung Regelschacht				
Gewindeschieber DN 1.000 mit E-Antrieb				10.000,00 €
Ozonkontaktbecken:				
4 Absenkrinnenschieber mit E-Antrieb				36.000,00 €
Keramikdiffusoren in nachfolgender Position enthalten				
Ozonanlage bestehend aus Ozongenerator, Keramikdiffusoren, Kühlwassersystem und Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage				1.300.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerke				50.000,00 €
2 x Fällmitteltank (V = 25 m ³) mit Dosieranlagen				150.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
16 Filtereinheiten à 90 m ² , mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher				2.640.000,00 €
16 Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb				128.000,00 €
16 Gewindeschieber DN 300				64.000,00 €
1 Lager- / Dosierstationen für FHM				25.000,00 €
Summe maschinell netto				4.403.000,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinenteknik				881.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				881.000,00 €

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

Ingenieurleistungen und sonstiges				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)				125.000,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				1.245.000,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1,0 % der Investitionskosten)				83.000,00 €
Zwischensumme netto				1.453.000,00 €
Gesamtkosten netto				9.753.000,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				1.853.070,00 €
Zwischensumme brutto				11.606.070,00 €

8.4 Investitionen Variante 4

GAK-Filtration				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen				
Baustelleneinrichtung				253.000,00 €
Vorbereitende Arbeiten:				
Baufeldräumung	7.000	m ²	5,00 €	35.000,00 €
Umlenschacht, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m ³	450,00 €	36.000,00 €
GAK-Filterbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufgerinne, Rohrkanal, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	4.730	m ³	400,00 €	1.892.000,00 €
Maschinenhaus für Filterspülanlagen inkl. Rückspülwasservorlage, Spülabwasserspeicher und Schneckenpumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.000	m ³	400,00 €	400.000,00 €
Trennbauwerk, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	60	m ³	500,00 €	30.000,00 €
Nachfällung, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.700	m ³	200,00 €	340.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufgerinne inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.900	m ³	400,00 €	760.000,00 €
Ablaufmengenmessanlage, Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	130	m ³	800,00 €	104.000,00 €
Fundamente für Fällmittelbehälter inkl. Abtankplatz nach WHG und Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel				80.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 1.800	55	m	1.600,00 €	88.000,00 €
DN 1.000	120	m	900,00 €	108.000,00 €
DN 200	155	m	200,00 €	31.000,00 €
Leerrohre	20	m	100,00 €	2.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	2.400	m ²	120,00 €	288.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen				35.000,00 €
Zwischensumme baulich netto				4.482.000,00 €
Maschinelle Maßnahmen				
Ausrüstung Trennbauwerk				
Überfallwehr mit E-Antrieb				10.000,00 €
GAK-Filterbecken:				
16 Filterböden à 36 m ²	16x36	m ²	450,00 €	259.200,00 €
Aktivkohle, Erstbefüllung (1.152 m ³ x 0,3 Mg/m ³ x 1.250 €/Mg)				432.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung				220.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung				160.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung				160.000,00 €
Rückspülanlagen:				
2 Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				75.000,00 €
2 Spülluftgebläse				60.000,00 €
Rohrleitungen und Armaturen				100.000,00 €
Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen				30.000,00 €
Zwischenpumpwerk				
3 Trogförderschnecken (D = 1.600 mm)				165.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Rührwerke				50.000,00 €
2 x Fällmittelbehälter (V = 25 m ³) mit Dosieranlagen				150.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
16 Filtereinheiten à 90 m ² , mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher				2.640.000,00 €
16 Absperrschieber DN 300 mit E-Antrieb				128.000,00 €
16 Gewindegewichte DN 300				64.000,00 €
1 Lager- / Dosierstationen für FHM				25.000,00 €
Summe maschinell netto				4.728.200,00 €
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 20 % der Kosten der Maschinentechnik				946.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				946.000,00 €

Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 20 % der Kosten der Maschinenteknik				946.000,00 €
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				946.000,00 €
Ingenieurleistungen und sonstiges				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)				152.000,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				1.523.000,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1,0 % der Investitionskosten)				102.000,00 €
Zwischensumme netto				1.777.000,00 €
Gesamtkosten netto				11.933.200,00 €
+ 19 % Mehrwertsteuer				2.267.308,00 €
Zwischensumme brutto				14.200.508,00 €

8.5 Energiebedarf

		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK
Zwischenpumpwerk					
Anzahl	Stück	0	0	0	2
	kW	0,0	0,0	0,0	18,2
Laufzeit	h/d	0	0	0	24
Energiebedarf	kWh/a	0	0	0	319.565
PAK-Rezirkulationspumpen					
Anzahl	Stück		2,0		
Leistung	kW		6,5		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		113.530		
PAK Dosiereinheit					
Leistung	kW	7,5	3,8		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	65.700	32.850		
Dosierpumpe Fällmittel					
Anschlussleistung	kW	6,0	3,0		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	52.560	26.280		
Dosierpumpe FHM					
Anschlussleistung	kW	8,0	4,0		
Laufzeit	h/d	24	24		
Energiebedarf	kWh/a	70.080	35.040		
Rührwerke Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		4,0		
Anschlussleistung	kW		5,0		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		175.200		
Räumer Kontaktbecken PAK					
Anzahl	Stück		2		
Anschlussleistung	kW		2,5		
Laufzeit	h/d		24		
Energiebedarf	kWh/a		43.800		
Spülwasserpumpen					
Anzahl	Stück				2
Anschlussleistung	kW				39
Laufzeit	h/d				3
Energiebedarf	kWh/a				85.410
Spülluftgebläse					
Anzahl	Stück				2
Anschlussleistung	kW				45
Laufzeit	h/d				0,5
Energiebedarf	kWh/a				16.425

Ozonanlage					
Energiebedarf	kWh/a			2.744.578	
Sonstiges (Messtechnik etc)					
Energiebedarf	kWh/a	7.500	7.500	7.500	7.500
Betrieb Tuchfiltration					
Energiebedarf je Filtrationseinheit	kWh/d	8	8	8	8
Energiebedarf	kWh/a	46.353	46.353	46.353	46.353
Rührwerke Nachfällung					
Anzahl	Stück	2	2	2	2
Anschlussleistung	kW	3	3	3	3
Laufzeit	h/d	24	24	24	24
Energiebedarf	kWh/a	52.560	52.560	52.560	52.560
Summe Energiebedarf	kWh/a	294.753	533.113	2.850.991	527.813

8.6 Betriebskosten

Betriebskosten					
		PAK in Belebung	PAK in Kontaktbecken	Ozon	GAK
Energiekosten					
Menge/a	kWh/a	294.753	533.113	2.850.991	527.813
spezifische Kosten pro kWh	Euro/kWh	0,168	0,168	0,168	0,168
Summe Energiekosten	Euro/a	49.518,49	89.562,90	478.966,49	88.672,54
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	18.470,0	41.950,0	30.160,0	44.820,0
Maschinentechnik (3,0 % vom Invest)	€/a	107.910,0	127.050,0	132.090,0	141.846,0
Elektrotechnik (5,0 % vom Invest)	€/a	35.950,0	42.350,0	44.050,0	47.300,0
Versicherungen (0,5 % vom Invest)	€/a	30.815,0	46.385,0	41.500,0	50.781,0
Summe Wartung / Versicherungen	€/a	193.145,0	257.735,0	247.800,0	284.747,0
Kosten Sauerstoff (inkl. Miete Lagerbehälter)					
Menge/a	kg O2/a			1.248.529	
spezifische Kosten pro kg	Euro/kg			0,22	
Summe Kosten Sauerstoff	Euro/a			274.676	
Kosten Aktivkohle					
Menge/a	kg/a	384.317	176.982		454.254
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.500	1.500		1.300
Summe Kosten Aktivkohle	Euro/a	576.476	265.473		590.530
Kosten FHM					
FHM	kg/a	5.765	3.540		
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.400	1.400		
Summe Kosten FHM	Euro/a	8.071	4.956		
Kosten Fällmittel					
Fällmittel	t Fällmittel /a	961	379		
Menge/a	Euro/t	140	140		
Summe Kosten FHM	Euro/a	134.511	53.095		
Schlammehranfall					
Schlammfall (TR) FM	t TR/a	336	133		
Schlammfall (TR) PAK	t TR/a	384	177		
Schlammfall (TR) AFS	t TR/a	192	192		
spezifische Kosten Entsorgung pro t TR	Euro/t TR	320	320		
Entsorgungskosten	Euro/a	292.081	160.601		
Summe Betriebskosten (netto)	Euro/a	1.269.802	851.422	1.017.442,8	979.950
Summe Betriebskosten (brutto)	Euro/a	1.511.064	1.013.192	1.210.757	1.166.141

8.7 Jahreskosten Variante 1 und 2

HKA Münster 4. RS mit Flockungsfiltration					
Datenerhebung und Kostenermittlung					
ALLGEMEINES					
Kläranlage				HKA Münster	HKA Münster
Variante				Variante 1	Variante 2
				PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber				Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer				Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts				2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)				S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN					
Ausbaugröße EW	[E]			300.000	300.000
Anschlussgröße EW	[E]			280.000	280.000
Jahresabwassermenge (JAM)	[m ³ /a]			19.215.851	19.215.851
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m ³ /a]			19.215.851	17.698.216
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]			100	92
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m ³ /h]			9.000	3.000
Frischwassermenge	[m ³ /a]			12.808.525	12.808.525
Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[-]			Ja	Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der Bausubstanz	[-]			Dosierung in vorh. Belebung	
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]			Flockungsfiltration	Flockungsfiltration
Sonstige Anmerkungen					
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION					
Ozon					
Dosiermengen	mg O ₃ /l				
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					
Eintragungspunkt					
Reaktionsvolumen	m ³				
Aufenthaltszeit bei QTW	min				
Maximale Ozonproduktion	kg O ₃ /h				
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃				
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)					
<i>PAK Kontaktbecken</i>					
Dosiermengen	mg/l				10
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					gravimetrisch
Eintragungspunkt					Kontaktbecken
Reaktionsvolumen	m ³				2 x 850
Aufenthaltszeit bei QTW	min				30
Beckentiefe	m				4
Zulauf	l/s				833
<i>PAK Absetzbecken</i>					
Aufenthaltszeit bei QTW	h				120
Gesamtvolumen	m ³				2 x 3000
Oberflächenbeschickung	m/h				2
Polymerdosierung	mg/l				0,2
Fällmitteldosierung	mg Fe/l				3

ALLGEMEINES					
Kläranlage				HKA Münster	HKA Münster
Variante				Variante 1	Variante 2
				PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber				Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer				Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts				2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)				S	S
Granulierte Aktivkohle (GAK)					
Aktivkohlesorte					
Reaktivierungszyklus					
Filtertyp					
Filteranzahl					
Filterfläche je Filter	m ²				
Betthöhe	m				
Bettvolumen	m ³				
Leerbettkontaktzeit	min				
Filtergeschwindigkeit	m/h				
Spülintervall					
Filterspülgeschwindigkeit	m/h				
Spülluftgeschwindigkeit	m/h				
Aufenthaltszeit	min				
STEUERUNG UND REGELUNG					
Zeitproportional					
Mengenproportional					ja
DOC-proportional					
SAK-proportional					
Gelöstozonkonzentration					
Offgasozonkonzentration					
Rezirkulation					
Druckmessung					
INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN					
Investitionskosten					
Bezugsjahr der Kosten				2016	2016
Bautechnik	[€]			1.847.000	4.195.000
Maschinentechnik	[€]			3.597.000	4.235.000
EMSR Technik	[€]			719.000	847.000
Nebenkosten	[€]			1.078.000	1.624.000
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]			7.241.000	10.901.000
Betriebskosten					
Energie	[€/a]			49.518	89.563
Personal	[€/a]			16.000	20.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]			193.145	257.735
Sauerstoff	[€/a]				
PAK/GAK	[€/a]			576.476	265.473
FHM, FM	[€/a]			142.582	58.050
Transport/ Logistik	[€/a]				
Schlammentsorgung	[€/a]			292.081	160.601
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]				
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]			1.269.802	851.422

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

ALLGEMEINES				
Kläranlage			HKA Münster	HKA Münster
Variante			Variante 1	Variante 2
			PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber			Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer			Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts			2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)			S	S
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)				
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten				
Bezugszeitpunkt			2013	2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-3	-3
Zinsen	[%]	3,00%		
AFA Bautechnik, Nebenkosten	[a]	30		
AFA Maschinenteknik	[a]	15		
AFA Elektrotechnik	[a]	10		
Preisentwicklung bis Bezugsjahr			Faktoren LAWA	Faktoren LAWA
Preissteigerung Personal		0,5%	0,98515	0,98515
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,91514	0,91514
Preissteigerung PAK		1,0%	0,97059	0,97059
Preissteigerung O2		1,0%	0,97059	0,97059
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,98515	0,98515
Preissteigerung Maschinenteknik		0,3%	0,99254	0,99254
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,97059	0,97059
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2013	2013
Bautechnik	[€]		1.819.570	4.132.699
Maschinenteknik	[€]		3.570.157	4.203.396
EMSR Technik	[€]		719.000	847.000
Nebenkosten	[€]		1.061.990	1.599.882
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		7.170.717	10.782.976
Betriebskosten				
Energie	[€/a]		45.316	81.963
Personal	[€/a]		15.762	19.703
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		190.277	253.907
Sauerstoff	[€/a]		0	0
PAK/GAK	[€/a]		559.521	257.666
FHM, FM	[€/a]		138.388	56.343
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlamm Entsorgung	[€/a]		283.491	155.877
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		1.232.756	825.459
Reinvestitionskosten in EURO				
			Faktoren LAWA	
Bautechnik	0 [€]		0	0
Maschinenteknik (nach 15 a)	0,66636 [€]		2.379.001	2.822.024
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967 [€]		933.096	1.099.211
Nebenkosten	0 [€]		0	0
Gesamtkosten	[€]		3.312.097	3.921.235
Kapitalkosten				
			Faktoren LAWA	
Bautechnik	0,05102 [€/a]		92.833	210.847
Maschinenteknik	0,05102 [€/a]		303.522	358.432
Elektrotechnik	0,05102 [€/a]		84.289	99.294
Nebenkosten	0,05102 [€/a]		54.182	81.625
Gesamtkosten	[€/a]		534.825	750.198
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)				
Jahreskosten gesamt	[€/a]		1.767.581	1.575.657
Spez. Jahreskosten je m ³ behandeltes Abwasser	[€/(m ³ ·a)]		0,09	0,09
Spez. Jahreskosten je m ³ Frischwasser	[€/(m ³ ·a)]		0,14	0,12
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		6,31	5,63

8.8 Jahreskosten Variante 3 und 4

HKA Münster 4. RS mit Flockungsfiltration					
Datenerhebung und Kostenermittlung					
ALLGEMEINES					
Kläranlage				HKA Münster	HKA Münster
Variante				Variante 3	Variante 4
				Ozon	GAK
Auftraggeber				Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer				Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts				2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)				S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN					
Ausbaugröße EW	[E]			300.000	300.000
Anschlussgröße EW	[E]			280.000	280.000
Jahresabwassermenge (JAM)	[m ³ /a]			19.215.851	19.215.851
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m ³ /a]			17.698.216	17.698.216
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]			92	92
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m ³ /h]			3.000	3.000
Frischwassermenge	[m ³ /a]			12.808.525	12.808.525
Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[-]			Nein	Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der Bausubstanz	[-]				
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]			Flockungsfiltration	Flockungsfiltration
Sonstige Anmerkungen					
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION					
Ozon					
Dosiermengen	mg O ₃ /l			11,88	
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung				Tellerdiffusoren	
Eintragungspunkt				Ozonreaktor	
Reaktionsvolumen	m ³			2 x 690	
Aufenthaltszeit bei QTW	min			25	
Maximale Ozonproduktion	kg O ₃ /h			2 x 18,29	
Sauerstoffbedarf	g O ₂ /gO ₃			10	
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)					
<i>PAK Kontaktbecken</i>					
Dosiermengen	mg/l				
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung					
Eintragungspunkt					
Reaktionsvolumen	m ³				
Aufenthaltszeit bei QTW	min				
Beckentiefe	m				
Zulauf	l/s				
<i>PAK Absetzbecken</i>					
Aufenthaltszeit bei QTW	h				
Gesamtvolumen	m ³				
Oberflächenbeschickung	m/h				
Polymerdosierung	mg/l				
Fällmitteldosierung	mg Fe/l				

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

ALLGEMEINES				
Kläranlage			HKA Münster	HKA Münster
Variante			Variante 3	Variante 4
			Ozon	GAK
Auftraggeber			Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer			Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts			2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)			S	S
Granulierte Aktivkohle (GAK)				
Aktivkohlesorte				
Reaktivierungszyklus				
Filtertyp				offene Filtration
Filteranzahl				16
Filterfläche je Filter	m ²			36
Bethöhe	m			2
Bettvolumen	m ³			72
Leerbettkontaktzeit	min			20
Filtergeschwindigkeit	m/h			6
Spülintervall				
Filterspülgeschwindigkeit	m/h			
Spülluftgeschwindigkeit	m/h			
Aufenthaltszeit	min			23
STEUERUNG UND REGELUNG				
Zeitproportional				
Mengenproportional			ja	
DOC-proportional				
SAK-proportional				
Gelöstozonkonzentration			ja	
Offgasozonkonzentration			ja	
Rezirkulation				
Druckmessung				
INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN				
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2016	2016
Bautechnik	[€]		3.016.000	4.482.000
Maschinentechnik	[€]		4.403.000	4.728.200
EMSR Technik	[€]		881.000	946.000
Nebenkosten	[€]		1.453.000	1.777.000
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		9.753.000	11.933.200
Betriebskosten				
Energie	[€/a]		478.966	88.673
Personal	[€/a]		16.000	16.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		247.800	284.747
Sauerstoff	[€/a]		274.676	
PAK/GAK	[€/a]			590.530
FHM, FM	[€/a]			
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlamm Entsorgung	[€/a]			
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		1.017.443	979.950

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination auf der Hauptkläranlage Münster

ALLGEMEINES				
Kläranlage			HKA Münster	HKA Münster
Variante			Variante 3	Variante 4
			Ozon	GAK
Auftraggeber			Stadt Münster - Tiefbauamt	
Planer			Ing.-Büro Frilling GmbH und ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts			2016	2016
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)			S	S
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)				
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten				
Bezugszeitpunkt			2013	2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-3	-3
Zinsen	[%]	3,00%		
AFA Bautechnik, Nebenkosten	[a]	30		
AFA Maschinentechnik	[a]	15		
AFA Elektrotechnik	[a]	10		
Preisentwicklung bis Bezugsjahr			Faktoren LAWA	Faktoren LAWA
Preissteigerung Personal		0,5%	0,98515	0,98515
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,91514	0,91514
Preissteigerung PAK		1,0%	0,97059	0,97059
Preissteigerung O2		1,0%	0,97059	0,97059
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,98515	0,98515
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	0,99254	0,99254
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,97059	0,97059
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2013	2013
Bautechnik	[€]		2.971.209	4.415.437
Maschinentechnik	[€]		4.370.142	4.692.915
EMSR Technik	[€]		881.000	946.000
Nebenkosten	[€]		1.431.421	1.750.609
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		9.653.772	11.804.961
Betriebskosten				
Energie	[€/a]		438.322	81.148
Personal	[€/a]		15.762	15.762
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		244.120	280.518
Sauerstoff	[€/a]		266.598	0
PAK/GAK	[€/a]		0	573.163
FHM, FM	[€/a]		0	0
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlamm Entsorgung	[€/a]		0	0
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		964.803	950.592
Reinvestitionskosten in EURO				
			Faktoren LAWA	
Bautechnik		0 [€]	0	0
Maschinentechnik (nach 15 a)		0,66636 [€]	2.933.972	3.150.672
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)		1,29776967 [€]	1.143.335	1.227.690
Nebenkosten		0 [€]	0	0
Gesamtkosten		[€]	4.077.308	4.378.362
Kapitalkosten				
			Faktoren LAWA	
Bautechnik		0,05102 [€/a]	151.589	225.272
Maschinentechnik		0,05102 [€/a]	372.651	400.174
Elektrotechnik		0,05102 [€/a]	103.280	110.900
Nebenkosten		0,05102 [€/a]	73.030	89.315
Gesamtkosten		[€/a]	700.549	825.661
Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)				
Jahreskosten gesamt	[€/a]		1.665.352	1.776.253
Spez. Jahreskosten je m ³ behandeltes Abwasser	[€/(m ³ ·a)]		0,09	0,10
Spez. Jahreskosten je m ³ Frischwasser	[€/(m ³ ·a)]		0,13	0,14
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		5,95	6,34

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)