

## Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

---

**ABSCHLUSSBERICHT**

**28.10.2020**

**Verfasser:**

**Tobias Ehlers**



**Gefördert durch:**

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



Auftraggeber:

Abwasserwerk der Stadt Niederkassel  
Rathausstraße 19, 53859 Niederkassel  
Frau Dipl.-Ing. Nancy Kitz, 02208-9466-904

---

Unterschrift

Aufgestellt durch:

INGENIEURBÜRO ATEMIS GMBH  
Ingenieurbüro für Abwassertechnik, Energiemanagement und innovative Systementwicklung  
Dennewartstraße 25-27 – 52068 Aachen  
Tel.: 0241 963-1894, Fax: 0241 963-1899, info@atemis.net  
Bearbeiter: Tobias Ehlers B.Eng

Aachen, den \_\_\_\_\_

---

Rainer Biegler

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>12</b>
2.1	Allgemeines .....	12
2.2	Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzliche Rahmenbedingungen .....	15
2.2.1	Umweltqualitätsnormen (UQN).....	16
2.2.2	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW) .....	17
2.2.3	PNEC (predicted no-effect concentration).....	18
<b>3</b>	<b>Ermittlung der Grundlagendaten .....</b>	<b>19</b>
3.1	Beschreibung der Kläranlage Niederkassel .....	19
3.2	Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik .....	21
3.3	Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Niederkassel .....	22
3.3.1	Einzugsgebiet der Kläranlage Niederkassel.....	22
3.3.2	Qualität des Vorfluters .....	22
3.3.3	Zustand der Grundwasserkörper .....	26
3.3.4	Landwirtschaft.....	26
3.3.5	Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet .....	28
<b>4</b>	<b>Verfahren zur Mikroschadstoffelimination.....</b>	<b>30</b>
4.1	Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle.....	31
4.1.1	Grundlagen der Adsorption .....	31
4.1.2	Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen .....	34
4.1.3	Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen .....	36
4.1.4	Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen .....	40
4.2	Oxidative Verfahren .....	41
4.2.1	Grundlagen der Oxidation.....	41
4.2.2	Einsatz von Ozon auf Kläranlagen .....	43
4.3	Membranverfahren .....	44
4.3.1	Grundlagen der Membrantechnik .....	44
4.3.2	Einsatz von Membranen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen .....	48
4.4	Sonstige Verfahren .....	49
4.4.1	AOP Advanced Oxidation Processes .....	49
4.4.2	Weitere Verfahren.....	49
4.5	Photolyse .....	51
4.6	Ultraschall .....	51
4.7	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen.....	51
4.7.1	Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen .....	53
<b>5</b>	<b>Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Niederkassel.....</b>	<b>55</b>
5.1	Zulauf der Kläranlage .....	55
5.2	Belebung.....	56
5.3	Kläranlagenablauf.....	57
5.4	Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe .....	62
5.5	Untersuchung des Vorfluters .....	62

5.5.1	Erweitertes Screening des Vorfluters .....	62
5.6	Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und –zulaufs .....	65
5.6.1	Erweitertes Screening des Kläranlagenablaufs und -zulaufs .....	65
5.6.2	Reduziertes Monitoring des Kläranlagenablaufs und -zulaufs .....	68
5.7	Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel .....	71
<b>6</b>	<b>Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Niederkassel .....</b>	<b>73</b>
6.1	Vorauswahl der Behandlungsverfahren .....	73
6.2	Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe .....	74
6.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe .....	77
6.4	Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte .....	78
6.4.1	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand .....	79
6.4.2	Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung .....	80
6.4.3	Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken .....	85
6.4.4	Variante 3: Ozonbehandlung .....	89
6.4.5	Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration) .....	94
6.4.6	Wahl und Auslegung der Flockungsfiltration .....	97
<b>7</b>	<b>Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte .....</b>	<b>100</b>
7.1	Investitionen .....	100
7.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten .....	101
7.3	Jahreskosten .....	103
7.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation .....	103
7.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer vierten Reinigungsstufe am Standort Niederkassel .....	105
7.6	Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe .....	110
7.7	Auswahl Vorzugsverfahren .....	111
7.8	Fazit und weiteres Vorgehen .....	112
<b>8</b>	<b>Anhang A - Untersuchungsergebnisse .....</b>	<b>114</b>
8.1	Untersuchungsergebnisse Vorfluter .....	114
8.1.1	Screening-Ergebnisse .....	114
8.1.2	Auswertung Screening-Ergebnisse .....	127
8.2	Untersuchungsergebnisse Kläranlage .....	128
8.2.1	Screening-Ergebnisse .....	128
8.2.2	Auswertung Screening-Ergebnisse .....	145
8.2.3	Monitoring-Ergebnisse .....	146
8.2.4	Auswertung Monitoring-Ergebnisse .....	156
8.2.5	Statistische Auswertung OWL .....	157
<b>9</b>	<b>Anhang B – Investitionen .....</b>	<b>158</b>
9.1	Investitionen Variante 1 .....	158
9.2	Investitionen Variante 2 .....	160
9.3	Investitionen Variante 3 .....	162
9.4	Investitionen Variante 4 .....	164
9.5	Energiebedarf .....	166
9.6	Betriebskosten .....	168
9.7	Jahreskosten Variante 1 und 2 .....	169

9.8	Jahreskosten Variante 3 und 4 .....	172
<b>10</b>	<b>Anhang C – Pläne .....</b>	<b>175</b>
10.1	Hydraulischer Schnitt (Bestand) .....	175
10.2	Lageplan Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung) .....	176
10.3	Lageplan Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) .....	177
10.4	Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung).....	178
10.5	Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration) .....	179

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	<b>E</b> lektronisches <b>W</b> asserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW
GAK oder GAC	granulierte Aktivkohle
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ	Mittlerer Abfluss
OGewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK oder PAC	Pulveraktivkohle
PNEC	Predicted no efficient concentration
Q	Wassermenge in m <sup>3</sup> /d, m <sup>3</sup> /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.** *Bericht: Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW.* Düsseldorf : s.n., 2014.
3. **Christian Götz, Juliane Hollender, Robert Kase.** *Mikroverunreinigungen - Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU.* Dübendorf : Eawag, 2010.
4. **Bayerisches Landesamt für Umwelt.** [Online] [Zitat vom: 01. 07 2016.] [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/anzneimittelwirkstoffe/faq/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/anzneimittelwirkstoffe/faq/index.htm).
5. **Ina Ebert, Sabine Konrade, Arne Hein, Riccardo Amato.** *Arzneimittel in der Umwelt - vermeiden, reduzieren, überwachen.* s.l. : Umweltbundesamt, 2014.
6. **Ternes, T.** Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf - Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen. *Wasser Berlin.* 2006.
7. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern - Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge.* 2015.
8. **Ralf Bertling.** Mikroplastik in der aquatischen Umwelt. *WWT.* 2015.
9. **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), Biologische Anstalt Helgoland.** *Mikroplastik in ausgewählten Kläranlagen des Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverbandes (OOWV) in Niedersachsen : Probenanalyse mittels Mikro-FTIR Spektroskopie.* Helgoland : s.n., 2014.
10. **Götz, C. et al.** *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, 2012.
11. **Oberflächengewässerverordnung.** [Online] Stand 19. 09. 2020. [http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv\\_2016/OGewV.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/OGewV.pdf).
12. **BIO Intelligence Service.** *Study on the environmental risks of medicinal products, Final report prepared for Executive Agency for Health and Consumers.* 2013.
13. **Hillenbrand, T., Tettenborn, F. und Bloser, M.** *Ergebnispapier Ergebnisse der 2. Phase des Stakeholder-Dialogs "Spurenstoffstrategie des Bundes" zum Umsetzung von Maßnahmen für die Reduktion von Spurenstoffeinträgen in die Gewässer".* [Hrsg.] BMU/UBA. Bonn : s.n., 2019.

14. **Umweltbundesamt.** REACH - Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals. *Informationsportal.* [Online] [Zitat vom: 28. August 2019.] <http://www.reach-info.de/>.
15. **ELWAS-WEB.** [Online] <http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>.
16. **Abwasserwerk Niederkassel.** [Online] [Zitat vom: 07. 08 2020.] <https://www.abwasserwerk-niederkassel.de>.
17. **Stadt Niederkassel.** [Online] [Zitat vom: 16. 08 2020.] <https://www.niederkassel.de/staticsite/staticsite.php?menuid=49&topmenu=35>.
18. **Wikipedia.** [Online] [Zitat vom: 28. 08. 2019.] <https://de.wikipedia.org/wiki/Niederkassel>.
19. **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.
20. **Schleswig-Holstein - Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume.** *Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein.*
21. **Wasserblick/BfG, Berichtsportal Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.** [Online] [Zitat vom: 26. 08 2020.] <http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewasser/fluesse-und-seen/zustand-der-oberflaechengewasser/>.
22. **Ergebnisbericht Rheingraben Nord.** s.l. : Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, 2005.
23. **Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).** *Zahlen zur Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen 2017 - Strukturen und Produktionsmethoden der nordrhein-westfälischen Landwirtschaft nach der Agrarstrukturerhebung 2016* -. Münster, 2017.
24. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** *Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland - Methodik, Ergebnisse und Minderungsmaßnahmen* -. Dessau-Roßlau : s.n., 2019.
25. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern : Bundesamt für Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.
26. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.* 2016.
27. **Zwickenpflug, B. et al.** *Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon (ergänzende Untersuchungen zum Projekt Strategie MicroPoll) - Abschlussbericht* -. Dübendorf : s.n., 2011.



- 28. Bornemann, C. et al.** *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROFlock).* 2012.
- 29. Benström, F. et al.** Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen – Überblick über halb- und großtechnische Untersuchungen – Teil 2: Methoden, Ergebnisse und Ausblick. *Korrespondenz Abwasser, Abfall.* 63 Nr.4, 2016.
- 30. Kolisch, G. et al.** Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes. *Korrespondenz Abwasser* 63. 2016.
- 31. Kienle, C. et al.** *Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach Ozonung – ReTREAT: Teilprojekt Biotests - Abschlussbericht* -. Dübendorf : Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL, 2017.
- 32. Böhler, M. et al.** Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach ozonung - ReTREAT. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser.* 2016, Bd. 239.
- 33. Rößler, A. und Launay, M.** *Durchführung von Vergleichsmessungen zur Spurenstoffelimination beim Ausbau von Kläranlagen um eine 4. Reinigungsstufe - Abschlussbericht* -. Stuttgart : Kompetenzzentrum Spurenstoffe-BW, 2019.
- 34. Remy, C. und Mieke, U.** Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von AktivkohleadSORption und Ozonung zur Spurenstoff-Entfernung in Berlin. [Hrsg.] KomS BW. *Tagungsband: 5 Jahre Kompetenzzentren Spurenstoffe KomS BW, KOM-M.NRW und VSA Plattform.* 2017, S. 37-59.
- 35. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? - Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.
- 36. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen.** [Online] Stand 19. 09. 2020. <https://www.flussgebiete.nrw.de/monitoringleitfaden-oberflaechengewaesser-anlage-d4-7724>.
- 37. Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer.** *Studie - Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp.* 2013.
- 38. Nöthe, T. et al.** *Einsatz und Wirkungsweise oxidativer Verfahren zur Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen, Teil 2a - Versuche zur Elimination relevanter Spurenschadstoffe.* 2005.
- 39. K. Gantner, M. Barjenbruch.** *Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen.* 2012.
- 40. Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon.* Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
- 41. Triebkorn, R. 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.

- 42. 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.
- 43. Thomann, M.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch.* [Vortrag] Wetzikon : s.n., 2013.
- 44. Henning, S. et al.** *Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen - Abschlussbericht -.* Dresden/Oppin : s.n., 2012.
- 45. 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.
- 46. Rau, W. und Metzger, S.** *Bestandsaufnahme der Spurenstoffsituation von Kläranlagen in Baden-Württemberg.* s.l. : Kompetenzzentrum Spurenstoffe-BW, 2017. UM-Vorhaben Nr. 367/2014.
- 47. Metzger, S. et al.** Statusbericht "Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen in Deutschland". *Korrespondenz Abwasser, Abfall.* Oktober, 2020, Bd. 67, 10.
- 48. DWA-M 285.** *Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung - Entwurf -.* Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2020.
- 49. Rödel, S. et al.** *Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen (Pilotprojekt 4. Reinigungsstufe).* Augsburg : Bayrisches Landesamt für Umwelt, Universität der Bundeswehr München, 2019.
- 50. Wunderlin, P., Meier, A. und Grelot, J. Pulveraktivkohle: Verfahren und Abtrennstufen.** s.l. : Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), 2019.
- 51. Frank, K. et al.** PAK im Belebtschlammbecken – Elimination von Mikroverunreinigungen in der ARA mit Pulveraktivkohle im Belebtschlammbecken. [Online] 2015. <https://micropoll.ch/publikationen/>.
- 52. Obrecht, J. et al.** PAK-Dosierung ins Belebungsbecken - Alternative zur nachgeschalteten Pulveraktivkohleadsorption. *Aqua & Gas.* 2015, Bd. 2.
- 53. DWA-A 203.** *Abwasserfiltration durch Raumfilter nach biologischer Reinigung.* Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2019.
- 54. DWA-M 274.** *Einsatz organischer Polymere in der Abwasserreinigung.* Hennef : Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2018.
- 55. Meier, A.** *Betrieb von GAK-Raumfiltern basierend auf Erfahrungen A. Nahrstedt, IWW.* [Präsentation] Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute : Horgen, 2019.

- 56. Pinnekamp, J. et al.** *Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle.* : Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015.
- 57. Benström, B. et al.** Granulierte Aktivkohle - Ein Review halb- und großtechnischer Untersuchungen. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser.* 2016, Bd. 239.
- 58. Pinnekamp, J. et al.** *Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen - Phase 2 - . Abschlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt.* s.l. : Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2015.
- 59. Gawel, E. et al.** *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l. : Umweltbundesamt, 2015.

# 1 Veranlassung

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. Ein großer Teil dieser Mikroverunreinigungen kann in der konventionellen Abwasserbehandlung nicht abgebaut werden, sodass die Implementierung einer „vierten Reinigungsstufe“ zur weitergehenden Spurenstoffelimination auf Kläranlagen immer mehr in den Blickpunkt der Medien, der Politik und der Öffentlichkeit gerät. In den letzten Jahren wurden dazu verschiedene Verfahrenskombinationen auch im großtechnischen Maßstab untersucht, sodass verschiedene Konzepte zur Elimination der genannten Stoffe zur Verfügung stehen und bewertet werden können.

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. Das Abwasserwerk Niederkassel hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für die Kläranlage Niederkassel in Auftrag zu geben. Die vorliegende Studie soll die aktuelle Situation der Kläranlage beurteilen und die Notwendigkeit einer weitergehenden Spurenstoffelimination abschätzen. Weiterhin soll eine Entscheidungsgrundlage für das Abwasserwerk Niederkassel geschaffen werden, um die zukünftige Auswahl eines möglichen Verfahrens zu unterstützen.

## 2 Einleitung

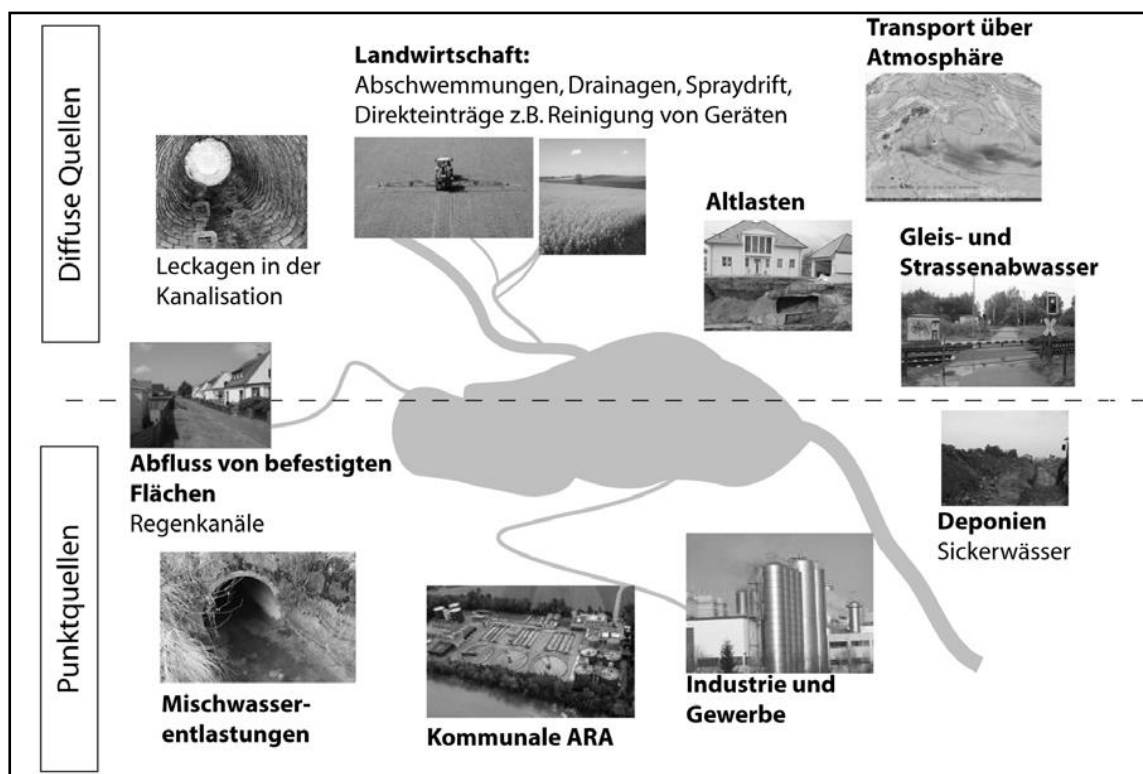
### 2.1 Allgemeines

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 Mikroschadstoffen oder Spurenstoffen.

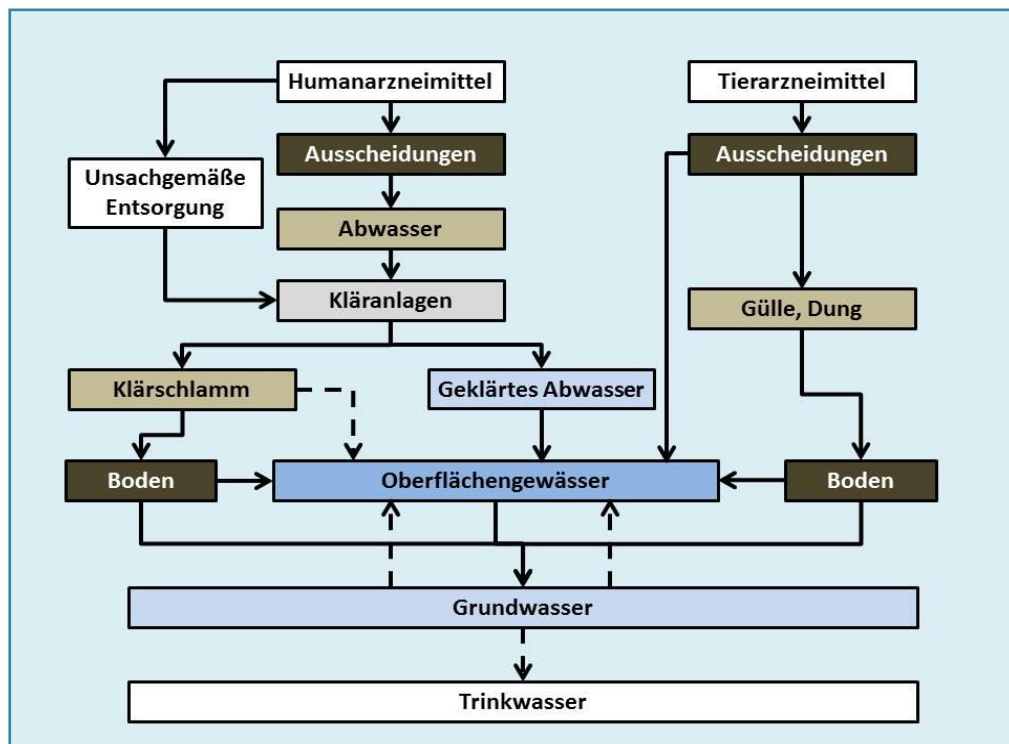
Die Mikroschadstoffe bzw. Spurenstoffe können dabei über verschiedene Eintragspfade in die Umwelt bzw. ins Gewässer gelangen. Eintragspfade ins Gewässer sind exemplarisch in der folgenden Abbildung 2-1 gezeigt.



**Abbildung 2-1: 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. 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 2-2.



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

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

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

Neben den Mikroschadstoffen wird immer mehr Mikroplastik (synthetische Polymere < 5mm) in der aquatischen Umwelt gefunden, welches die Ökosysteme belastet und über den natürlichen Wasserkreislauf in die Nahrungskette gelangen kann. Problematisch sind hierbei die Persistenz des Mikroplastiks und seine hydrophoben Eigenschaften, wodurch organische Schadstoffe und Schwermetalle adsorbiert werden können. Die Kläranlage bildet dabei ein zentrales Element zwischen der Freisetzung im Haushalt und der Einleitung im Gewässer und ist eine wesentliche punktuelle Eintragsquelle für Mikroplastik in die Umwelt (8; 9). Die Kläranlage könnte somit auch als Abscheider dienen, besonderes Potential hat hier die vierte Reinigungsstufe. Momentan sind die meisten Kläranlagen aber nicht in der Lage Mikroplastik vollständig aus dem Abwasser herauszufiltern. Aufgrund der geringen Partikelgröße kann Mikroplastik teilweise ungehindert die konventionellen Reinigungsstufen passieren (8). Neben den ohnehin schon eingetragenen Mikropartikeln (z.B. durch Abwässer von Wasch- oder Spülmaschinen), erfahren Plastikpartikel beispielsweise

durch Pumpwerke oder Mazeratoren, welche aufgrund der Feuchtpapierproblematik eingesetzt werden, eine weitere Zerkleinerung, sodass eine Abtrennung weiter erschwert wird.

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“ (10)) 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).

## **2.2 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 relevanten 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 (Oberflächengewässerverordnung, OGeWV). Die OGeWV regelt die Einstufung und Überwachung des ökologischen und des chemischen Zustands von Gewässern.

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 OGeWV vom 20.06.2016 wurde die europäische Richtlinie 2013/39/EU in deutsches Recht überführt. In der novellierten OGeWV wurden die Vorgaben bzgl. des Gewässerzustands aktualisiert und vereinheitlicht, so wurden die Umweltqualitätsnormen (UQN) überarbeitet, die Anforderungen an den guten Gewässerzustand europaweit vereinheitlicht sowie neue Vorgaben für Stickstoffverbindungen in Gewässern festgelegt (11).

Als strategischer Ansatz zur Verhinderung der Verschmutzung von Wasser und Boden durch pharmazeutische Wirkstoffe ist eine Studie (12) erstellt worden, in der die folgenden Ansätze zur Reduzierung des Mikroschadstoffeintrags in Gewässer festgelegt sind:

- 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. vierte Reinigungsstufe)

Die Spurenstoffstrategie des Bundes berücksichtigt daher neben der „end-of-pipe“-Lösung der Mikroschadstoffelimination in der Kläranlage den gesamten Lebenszyklus der Mikroschadstoffe, also z.B. auch eine Minderung an der Quelle direkt beim Hersteller und Anwender. (13)

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

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

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

Neben den europaweit geregelten Stoffen zur Festlegung des „guten chemischen Zustands“ sind von den EU-Mitgliedstaaten für weitere sogenannte flussgebietspezifische Stoffe nationale Umweltqualitätsnormen rechtlich festzulegen, um den „guten ökologischen Zustand“ der Oberflächengewässer zu definieren. Die Liste der in der OGewV aus dem Jahre 2016 enthaltenen Umweltqualitätsnormen für derartige flussgebietspezifische Stoffe kommt im Vergleich zur Version von 2011 deutlich gekürzt daher 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 OGewV jedoch keine einzuhaltenden Gewässerkonzentrationen festgelegt. Im Wesentlichen werden EU-weite Vorgaben umgesetzt, die vielfach heute in Deutschland nicht mehr relevante Chemikalien betreffen (2).

### 2.2.2 Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)

Für Einzugsgebiete von Trinkwassergewinnungsanlagen hat das Umweltbundesamt (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 eine Bewertung des Stoffes und ggf. die Erarbeitung eines Vorsorgekonzeptes.

### 2.2.3 PNEC (predicted no-effect concentration)

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

Im Rahmen der Registrierung von Stoffen gemäß REACH-Verordnung (Europäische Chemikalienverordnung REACH „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“), für die ein Stoffsicherheitsbericht erstellt wird, muss der PNEC bestimmt werden. Im UBA-Informationportal wird die Vorgehensweise wie folgt beschrieben: „Gemäß REACH müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender ihre Chemikalien registrieren und sind für deren sichere Verwendung selbst verantwortlich. Die Registrierungsunterlagen werden von den Behörden allerdings nur stichprobenartig inhaltlich überprüft. Ausgewählte Stoffe werden von den Behörden bewertet und ggf. einer Regelung zugeführt. Besonders besorgniserregende Stoffe kommen in das Zulassungsverfahren. Als weitere Regulierungsmöglichkeit sieht REACH das Instrument der Beschränkung vor. Schließlich enthält REACH Bestimmungen zur Informationsweitergabe in der Lieferkette und Auskunftsrechte für Verbraucher“ (14).

### 3 Ermittlung der Grundlagendaten

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

#### 3.1 Beschreibung der Kläranlage Niederkassel

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

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt laut dem Fachinformationssystem ELWAS (15):

- Ausbaugröße 64.000 EW
- Trockenwetterzufluss ( $Q_{T,d}$ ) 4.500 m<sup>3</sup>/d (Angabe Betreiber)
- Trockenwetterzufluss Spitze ( $Q_{T,h,max.}$ ) 786 m<sup>3</sup>/h
- Mischwasserzufluss ( $Q_M$ ) 1.141 m<sup>3</sup>/h

Nach Angaben des Betreibers ist die Anlage zurzeit mit 53.255 EW belastet. Die Jahresabwassermenge (JAM) beläuft sich im Mittel der Jahre 2014-2017 auf 2.384.700 m<sup>3</sup>/a (15).

Die Kläranlage Niederkassel verfügt über eine mechanische und eine biologische Abwasserbehandlungsstufe. Die mechanische Vorbehandlung des Abwassers erfolgt über einen Feinrechen und eine Siebanlage. Zudem verfügt die Anlage über einen belüfteten Sand- und Fettfang (Volumen: 110 m<sup>3</sup>) sowie zwei sedimentativ arbeitende Vorklärbecken mit einem Gesamtvolumen von 720 m<sup>3</sup>. Die Belebungsstufe ist auf drei Becken aufgeteilt, hat ein Gesamtvolumen von ca. 7.000 m<sup>3</sup> und ist auf ein Schlammalter von 18 d bemessen. Es wird neben dem Kohlenstoffabbau auch nitrifiziert und denitrifiziert. Phosphor wird chemisch simultan gefällt. Die Nachklärung der Anlage besteht aus vier Becken und hat ein Gesamtvolumen von ca. 4.900 m<sup>3</sup>.

Der Klärschlamm wird mit einem anaeroben Schlammbehandlungsverfahren auf der Anlage behandelt. Das gewonnene Klärgas wird in zwei Blockheizkraftwerken mit einer elektrischen Leistung von jeweils 65 kW verstromt. Die anschließende Entwässerung des Faulschlammes erfolgt mittels Kammerfilterpresse.

In Abbildung 3-1 ist ein vereinfachtes Fließschema der KA Niederkassel dargestellt.

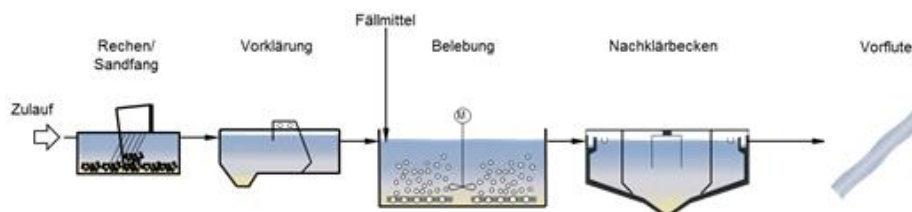


Abbildung 3-1: Vereinfachtes Fließschema der KA Niederkassel

Ein detaillierteres Anlagenschema zeigt Abbildung 3-2.

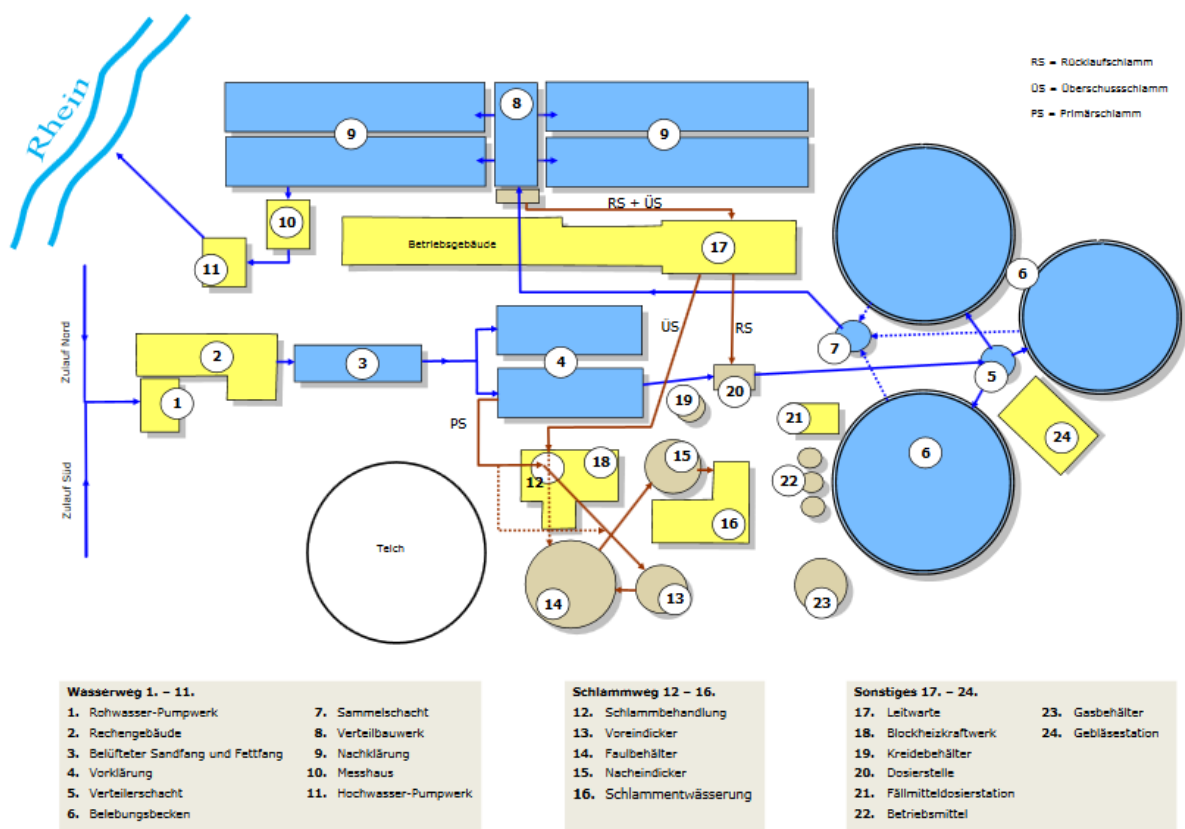


Abbildung 3-2: Schema KA Niederkassel (16)

Für den Ablauf der Kläranlage gelten die folgenden Überwachungswerte (Tabelle 3-1).

Parameter	Überwachungswert [mg/l]	Erklärter Wert [mg/l]
CSB	80	60
BSB <sub>5</sub>	20	
N <sub>ges</sub> (Summe NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> und NO <sub>3</sub> -N; gilt nur bei T > 12 °C)	18	
NH <sub>4</sub> -N (gilt nur bei T > 12 °C)	10	
P <sub>ges.</sub>	2	1,2
pH-Wert	6,0-8,5	

Tabelle 3-1: Überwachungswerte im Ablauf der KA Niederkassel

Die Überwachungswerte werden i.d.R. deutlich unterschritten, so dass die Kläranlage Niederkassel für einige Parameter freiwillig niedrigere Werte erklärt hat.

### 3.2 Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik

Die Kläranlage Niederkassel arbeitet im Belebungsverfahren mit folgenden Verfahrensstufen:

- Rohwasser-Pumpwerk, 3 Schneckenpumpen,
- Rechen,
- belüfteter Sand- und Fettfang,
- Vorklärung (2 x 360 m<sup>3</sup>)
- 3 Belebungsbecken mit fest installierten Rohrbelüftern, Belebungsbecken 1 und 2: je 2.438 m<sup>3</sup>, Belebungsbecken 3: 2.160 m<sup>3</sup>,
- 4 Nachklärbecken (Fläche je 336 m<sup>2</sup>, Volumen je 1.226 m<sup>3</sup>),
- Vorfluter: Rhein
- Hochwasser-Pumpwerk,
- Schlammbehandlung (Voreindicker, Faulbehälter, Nacheindicker, Kammerfilterpresse),
- 2 BHKW (je 65 kW)

Ein Foto der KA Niederkassel ist in Abbildung 3-3 gezeigt.



**Abbildung 3-3: Foto der KA Niederkassel (16)**

Das Abwasser passiert die Rechenanlage und gelangt dann in den Sand- und Fettfang, wo die mineralischen Bestandteile durch Sedimentation abgetrennt werden, während die leichten Stoffe an die Wasseroberfläche gelangen und ebenfalls abgetrennt werden. Nach der mechanischen Vorreinigung gelangt das Abwasser in die Vorklärung. Hier erfolgt eine Teilelimination von CSB, BSB<sub>5</sub>, absetzbaren Stoffen sowie Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Der anfallende Bodenschlamm wird der Schlammbehandlung zugeführt.

Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird der biologischen Stufe – bestehend aus drei Nitrifikations-/Denitrifikationsbecken – zugeleitet. In diesen Becken erfolgt die biologische Abwasserreinigung (hochgradiger Kohlenstoffabbau, weitestgehende Stickstoffelimination) nach dem Verfahren der simultanen Nitrifikation/Denitrifikation.

Nach der biologischen Reinigung gelangt das Abwasser zu den vier Nachklärbecken und wird im Anschluss in den Rhein abgeleitet.

### **3.3 Beschreibung des Einzugsgebietes der Kläranlage Niederkassel**

Die Stadt Niederkassel liegt im Rhein-Sieg-Kreis, im Süden Nordrhein-Westfalens. In Niederkassel leben Stand 2019 fast 40.800 Einwohner (17) auf einer Fläche von ca. 35,8 km<sup>2</sup> (18). Niederkassel liegt zwischen Köln und Bonn, die Umgebung ist eher städtisch geprägt.

#### **3.3.1 Einzugsgebiet der Kläranlage Niederkassel**

Die Kläranlage Niederkassel liegt direkt am Rhein, zwischen den Stadtteilen Niederkassel und Rheidt. Sie leitet in den Rhein ein. Das Einzugsgebiet umfasst das gesamte Stadtgebiet der Stadt Niederkassel einschließlich mehrerer Gewerbegebiete sowie einen kleineren Bereich von Troisdorf-Bergheim (16). Geprägt wird das Einzugsgebiet durch Wohnungsbebauung und Gewerbeflächen. Aus dem Indirekteinleiterkataster ist zu entnehmen, dass u.a. die Abwässer von Arzt- und Zahnarztpraxen, Waschplätze, sowie metall- und kunststoffverarbeitende Betriebe behandelt werden. Nach Angabe des Betreibers ist der Einfluss der industriellen Einleiter gering. Insgesamt befinden sich elf Pflegeeinrichtungen, darunter drei Seniorenheime im Einzugsgebiet.

Die Abwässer werden im Mischsystem zur KA Niederkassel geleitet und anschließend nach erfolgter Behandlung in den Rhein eingeleitet (15). Da es sich bei dem in der KA Niederkassel behandelten Abwasser überwiegend um kommunales Abwasser handelt, werden im Abwasserstrom der Kläranlage keine oder nur geringe Mengen an Industriechemikalien vermutet. Durch die einleitenden Pflegeeinrichtungen kann es jedoch zu einem erhöhten Eintrag von Medikamentenrückständen kommen.

#### **3.3.2 Qualität des Vorfluters**

Die Kläranlage Niederkassel leitet über einen Ablaufkanal nördlich der Kläranlage in den Rhein ein (s. Abbildung 3-4).

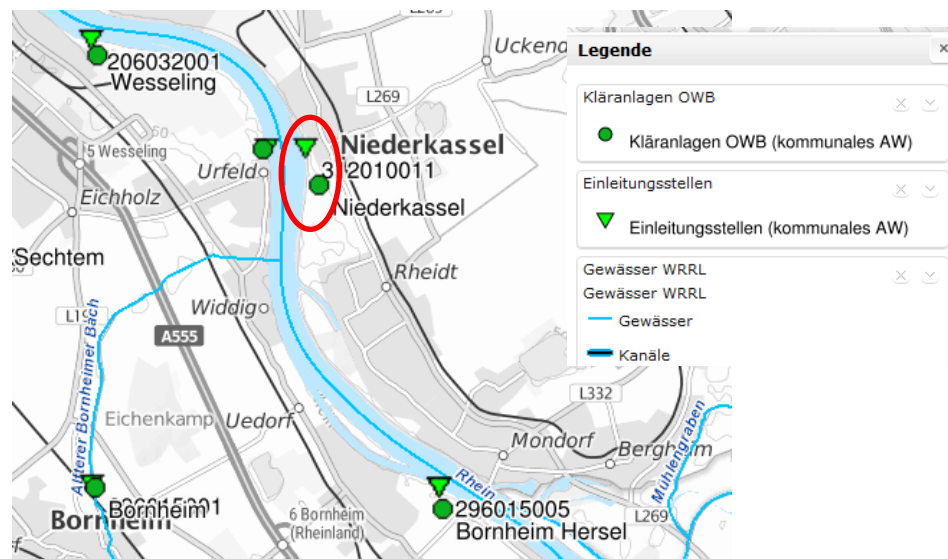


Abbildung 3-4: Lage der Kläranlage Niederkassel (Kläranlage und Einleitstelle: rotes Oval) (15)

Einige Stoffe, die sogenannten ubiquitären Stoffe, sind in geringen Konzentrationen europaweit in der Umwelt vorhanden. Unter Berücksichtigung dieser Stoffe (zum Beispiel Nitrat und Quecksilber) weisen quasi alle Oberflächengewässer einen „nicht guten“ chemischen Zustand auf. Der chemische Zustand des Rheins ist bei Untersuchungen des Landes Nordrhein-Westfalen (OFKW, 4. Zyklus, 2015-2018) sowohl ober- als auch unterhalb der KA Niederkassel als „nicht gut“ beurteilt worden (s. Abbildung 3-5).

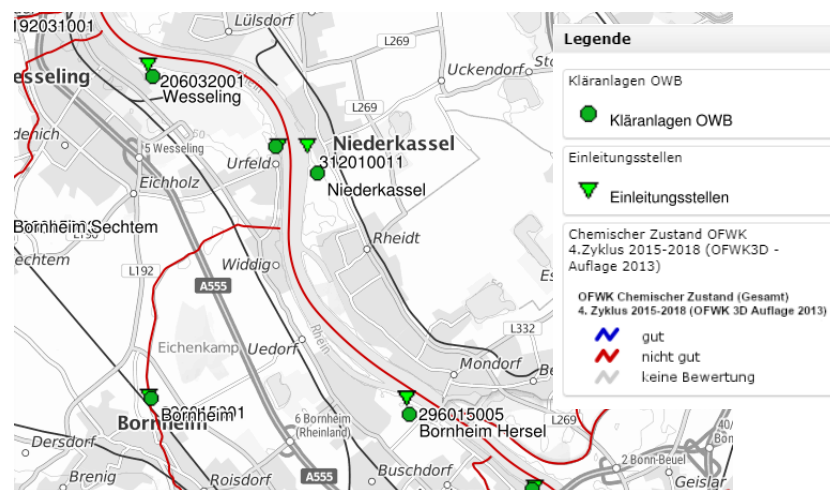


Abbildung 3-5: Chemischer Zustand des Rheins mit Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (15)

Seit dem vierten Bewirtschaftungszyklus wird der chemische Zustand auch ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle als „nicht gut“ bewertet (s. Abbildung 3-6).

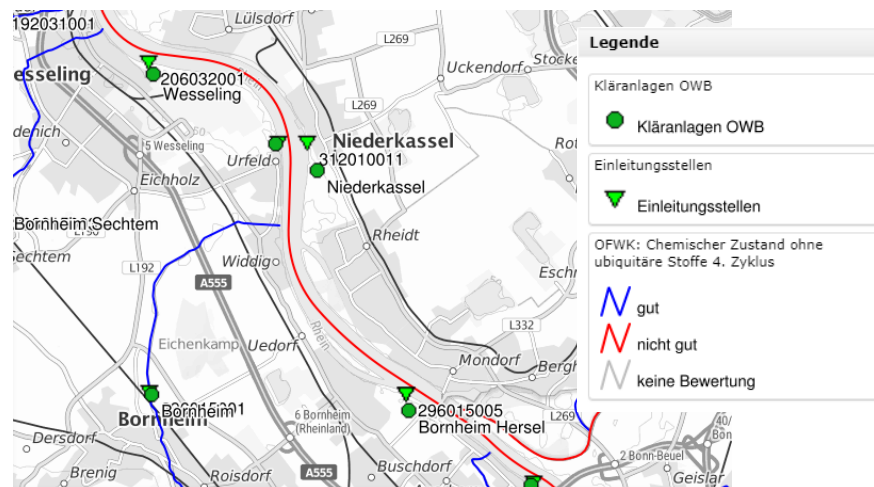


Abbildung 3-6: Chemischer Zustand des Rheins unter Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (15)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand des Rheins ist „mäßig“. Dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage (Abbildung 3-7).

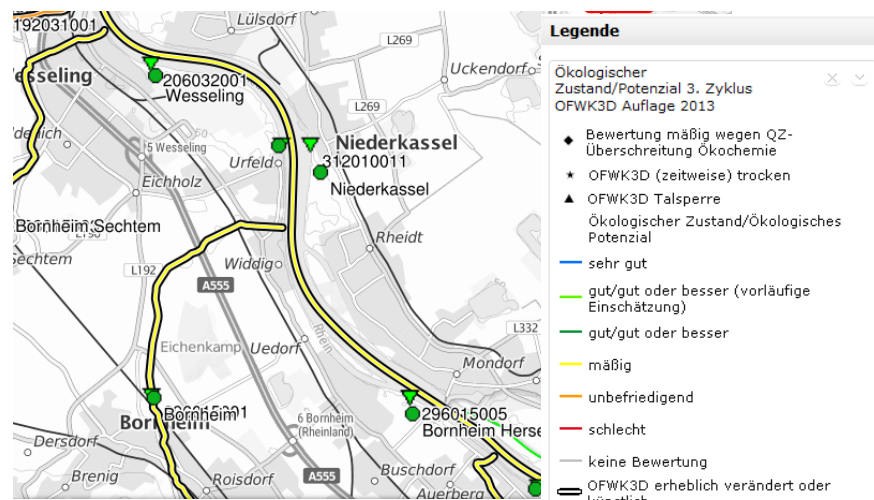


Abbildung 3-7: Ökologischer Zustand des Rheins (15)

Im Bereich der Einleitstelle der KA Niederkassel liegt das FFH-Gebiet DE-4405-301 „Rhein-Fischschutzzonen zwischen Emmerich und Bad Honnef“ (Abbildung 3-8). Der Rhein durchfließt unterhalb noch einige andere Schutzgebiete, betrachtet werden jedoch nur die Gebiete bis zur Einleitstelle der nächsten größeren Kläranlage (Wesseling).



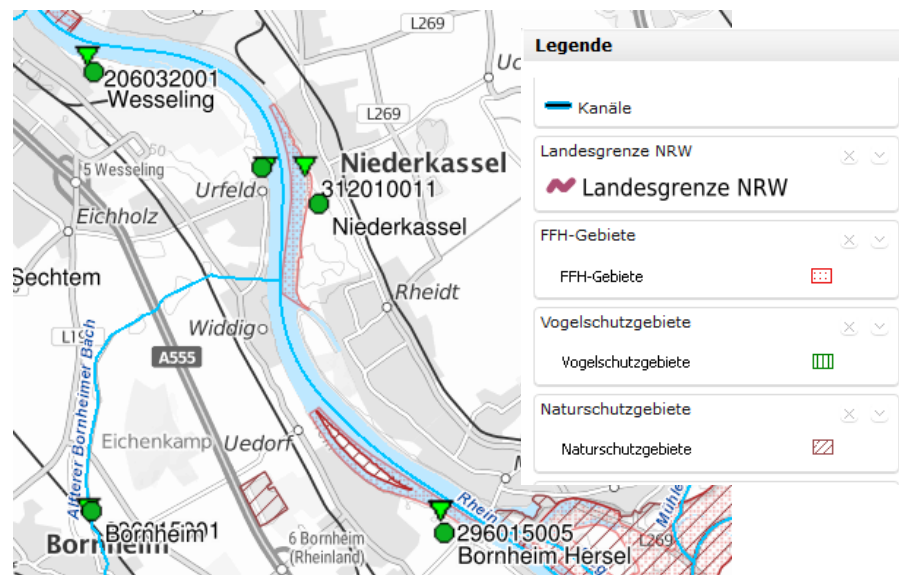


Abbildung 3-8: Schutzgebiete in der Umgebung der Kläranlage (15)

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (siehe Abbildung 3-9). 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 (19), PCB oder Nitrat (20), absieht.

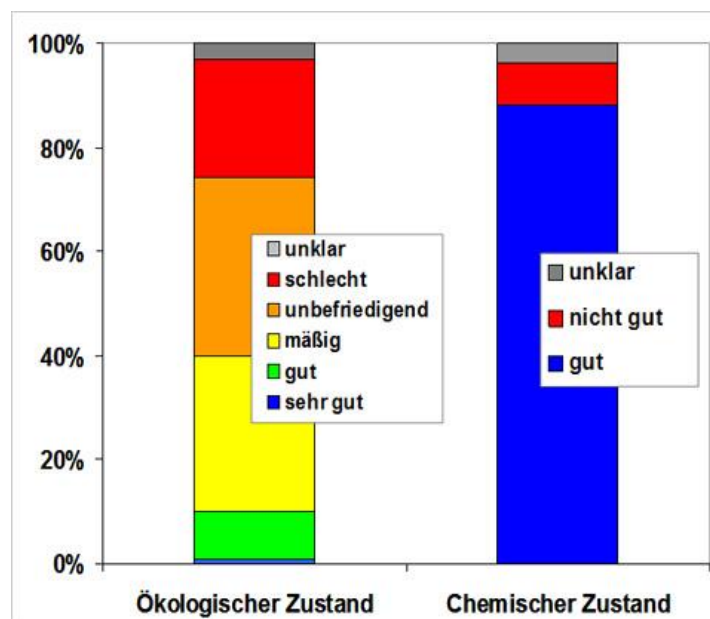


Abbildung 3-9: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (21))

Angaben zum Anteil des Ablaufs der KA Niederkassel am mittleren Niedrigwasserabfluss des Rheins finden sich im „Ergebnisbericht Rheingraben Nord“ (22). Oberhalb der Kläranlage Niederkassel wird der MNQ des Rheins mit 935.545 l/s, angegeben. Die mittlere Abflussmenge der Kläranlage Niederkassel beträgt etwa 89,3 l/s. Hieraus ergibt sich ein Verhältnis der Einleitmenge zum MNQ von unter 0,01 %. Damit leitet die KA Niederkassel in einen starken Vorfluter ein.

### 3.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Die Kläranlage Niederkassel liegt im Bereich der Grundwasserkörper 27\_25 und 27\_22 (Niederungen des Rheins). Der Grundwasserkörper 27\_25 hat eine Fläche von 256 km<sup>2</sup>, der Grundwasserkörper 27\_22 kommt auf 100 km<sup>2</sup>. Beide liegen vollständig in Nordrhein-Westfalen. Zuständige Stelle ist das Land NRW. Mengenmäßig sind beide Grundwasserkörper mit „gut“ bewertet. Der chemische Zustand wird jedoch jeweils als „schlecht“ beurteilt. Es werden die Schwellenwerte für einige Substanzen überschritten, nämlich für Pestizide und Trichloroethylene/Tetrachlorethylene im Grundwasserkörper 27\_25 sowie für BTEX und Nitrat im Grundwasserkörper 27\_22. (15)

### 3.3.4 Landwirtschaft

Die Umgebung der Stadt Niederkassel ist, wie weite Teile des Rhein-Sieg-Kreises, von der Landwirtschaft geprägt. Die landwirtschaftlichen Daten werden von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen auf Kreisebene zusammengestellt, weswegen keine genauen Angaben für die Stadt Niederkassel vorliegen. Im Folgenden werden entsprechend die Daten des Rhein-Sieg-Kreises betrachtet, um einen Einblick auf das Umland zu bekommen.

Laut der Agrarstrukturerhebung im Jahr 2016 werden etwa 43.500 ha bzw. ca. 37 % der gesamten Fläche des Rhein-Sieg-Kreises landwirtschaftlich genutzt (23). Die Nutzung erfolgt sowohl durch Tierhaltung als auch durch Ackerbau. In der nachfolgenden Tabelle 3-2 sind die erfassten Tierbestände dargestellt. Mit Stand 2016 gibt es im gesamten Kreis 804 Haltungen mit insgesamt 130.266 Tieren.

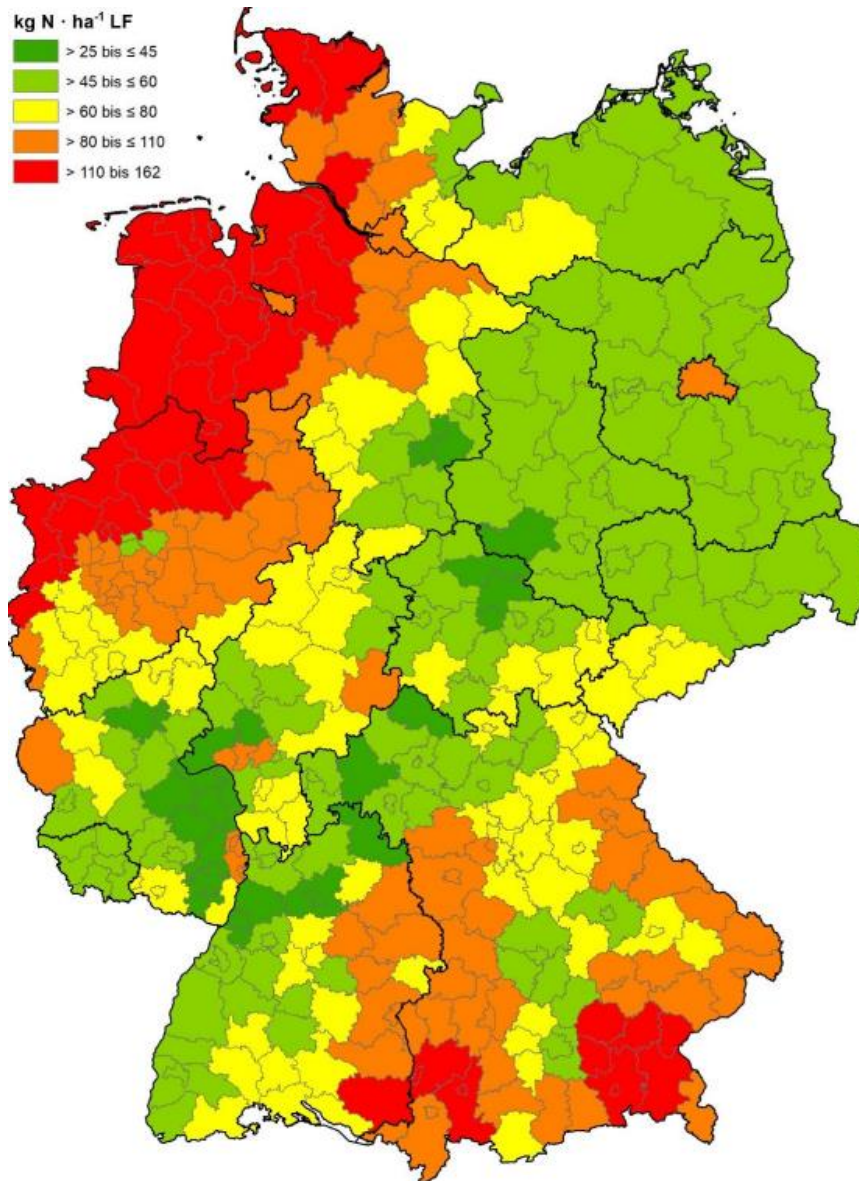
<b>Tierbestände Rhein-Sieg-Kreis</b>		
<i>Tierart</i>	<i>Haltungen [Stk.]</i>	<i>Tiere [Stk.]</i>
Rinder	398	35.711
Schweine	23	6.236
Schafe	66	6.553
Ziegen	20	464
Hühner	91	73.233
Mastgeflügel	26	4.429
Einhufer	180	3.640
Gesamt	804	130.266

**Tabelle 3-2: Tierbestände im Rhein-Sieg-Kreis (nach (23))**

Die jährliche Überdüngung der landwirtschaftlich genutzten Flächen führt dazu, dass hohe Einträge von Stickstoff in die Gewässer bzw. ins Grundwasser geraten. In einem Bericht vom Umweltbundesamt aus dem Jahr 2019 ist die Stickstoff-Flächenbilanz der Landwirtschaft in Deutschland untersucht worden (24). Im landesweiten Durchschnitt ergibt sich demnach für die Jahre 2015 bis 2017 ein jährlicher Stickstoffüberschuss von 77,4 kg pro Hektar Landfläche.

In Abbildung 3-10 sind die Stickstoffüberschüsse in Deutschland für die einzelnen Kreise farblich abgestuft dargestellt. Für den Rhein-Sieg-Kreis wird eine jährliche Überdüngung von 60 bis 80 kg Stickstoff pro Hektar Landfläche angegeben. Bezogen auf die Gesamtfläche summiert sich der überschüssige Stickstoff demnach auf 2.610 bis fast 3.500 t Stickstoff pro Jahr. Auch wenn nur ein geringer Anteil des durch die Landwirtschaft ausgebrachten Stickstoffüberschusses tatsächlich in den Wasserkreislauf gelangt, ist in landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit einem Eintrag von Stickstoff in die Gewässer zu rechnen.

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



---

**Abbildung 3-10: Stickstoffüberschüsse in Deutschland 2015 bis 2017 (24)**

### 3.3.5 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet

Wie in Kap. 3.3.1 ausgeführt, sind im behandelten Abwasser der Kläranlage Niederkassel keine allzu großen industriellen Schadstofffrachten zu erwarten. Durch die einleitenden Arztpraxen und Pflegeeinrichtungen wird jedoch ein Eintrag von Medikamentenrückständen erwartet.

Insbesondere Medikamentenrückstände können mit dem kommunalen Abwasserstrom eingetragen werden. Durch die Arzneimittelaufnahme der Bevölkerung sowie die ggf. nicht fachgerechte Entsorgung von Arzneimitteln ist mit einem Eintrag dieser Stoffe ins Abwasser und damit in die Kläranlage zu rechnen. Weitere Chemikalien- und Mikroschadstoffeinträge ins Abwasser sind möglich, z.B. durch Reinigungsmittel, Körperpflegeprodukte oder durch Imprägniermittel, die aus Kleidung ausgewaschen werden. Des Weiteren

ist z.B. durch die Auswaschung von Bioziden aus Fassadenanstrichen oder durch das Abspülen von Abrieb auf Straßen mit einem Eintrag von Stoffen in die Kanalisation oder in die Umwelt zu rechnen.

Ein Eintrag verschiedener Stoffe in den Rhein wird u.a. durch die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen verursacht. Dabei sind vor allem Nährstoffe zu erwarten, darüber hinaus aber auch der Eintrag von Tierarzneien durch den Austrag von Gülle in der Landwirtschaft. Der Eintrag wird durch das eingeleitete Abwasser der KA Niederkassel zwar verstärkt, jedoch ist eine Verbesserung des chemischen Zustandes durch eine vierte Reinigungsstufe nur bedingt möglich.

## 4 Verfahren zur Mikroschadstoffelimination

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 Mikroschadstoffen 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 Mikroschadstoffen 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 Mikroschadstoffen erreichen, dann müssen Kläranlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe ausgestattet werden. Ein Verfahren zur Elimination von organischen Mikroschadstoffen aus kommunalem Abwasser muss dabei folgenden Anforderungen genügen (25):

*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 Mikroschadstoffen 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 Mikroschadstoffelimination relevanten Stoffen um Einzelmoleküle handelt, müssten zu deren Elimination mindestens Nano- und Ultrafiltrationsmodule eingesetzt werden. Dabei wird das Abwasser mit hohen 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. 4.3).

### **4.1 Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle**

#### **4.1.1 Grundlagen der Adsorption**

Bei der Adsorption handelt es sich um ein physikalisch-chemisches Trennverfahren. Unter Adsorption versteht man die Anlagerung einer Komponente (Adsorptiv) aus einem gasförmigen oder flüssigen Gemisch an der Oberfläche eines festen Stoffes (Adsorbens). Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 4-1 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.

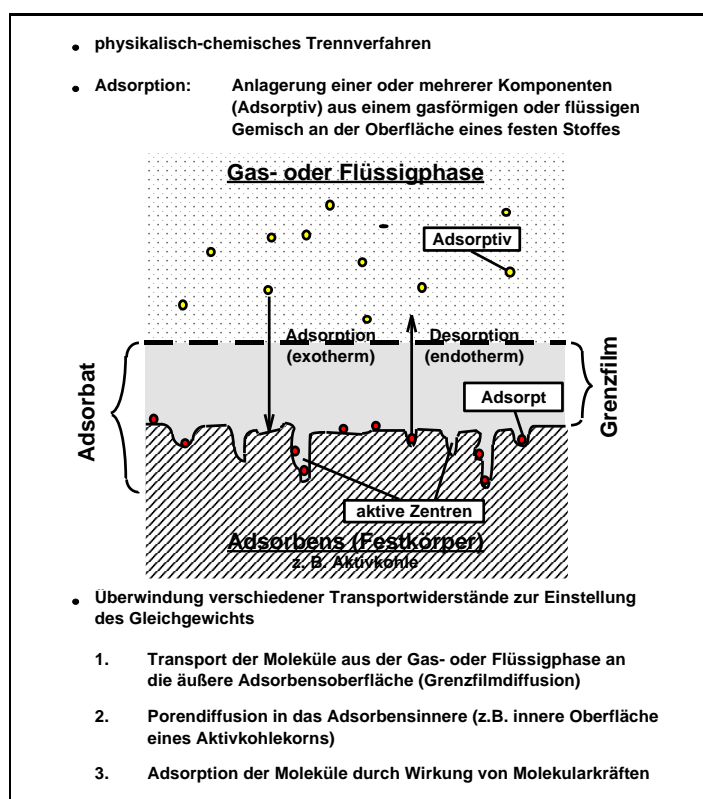


Abbildung 4-1: Grundlagen der Adsorption

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

Aktivkohle wird vorwiegend aus Stein- oder Holzkohle, (Kokos-)Nussschalen oder Torf hergestellt. Für die Herstellung von Aktivkohle wird das Grundprinzip Aktivierung mit hohen Temperaturen (bis 1000°C) mit Hilfe von Wasserdampf benutzt. Unter bestimmten, geeigneten Bedingungen werden Teile des Kohlenstoffgerüsts selektiv abgebaut. Durch die dabei entstehenden Poren, Spalten und Risse wird die auf die



Masseneinheit bezogene Oberfläche erheblich größer. Die innere Oberfläche handelsüblicher Sorten liegt zwischen 400 und 1.500 m<sup>2</sup>/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 m<sup>2</sup>/g

Mittel aktiver Bereich: spezifische Oberfläche: 800-1200 m<sup>2</sup>/g

Hoch aktiver Bereich: spezifische Oberfläche: 1200-1500 m<sup>2</sup>/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 4-2 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.

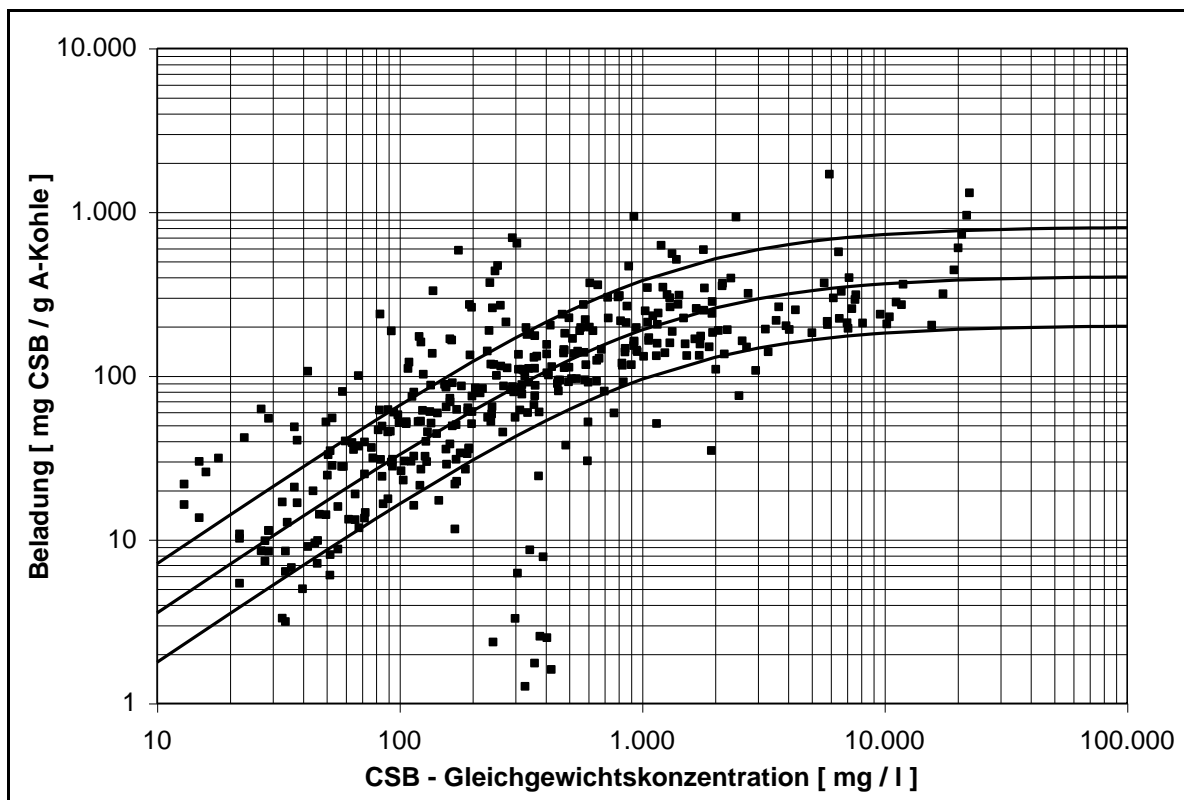


Abbildung 4-2: Adsorptionsisothermen für den Parameter CSB

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/m<sup>2</sup> ideal ist, da nicht ausschließlich die spezifische Oberfläche, sondern auch die Porengrößenverteilung von entscheidender Bedeutung ist.

Der Einsatz der Aktivkohle erfolgt entweder granuliert oder pulverförmig:

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

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

#### 4.1.2 Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen

In Abbildung 4-3 sind die prinzipiellen Verfahren der Aktivkohleadsorption dargestellt. Im Rührreaktor wird die Aktivkohle in suspendierter oder pulveriger Form in ein Reaktionsbecken gegeben und im Absetzbecken abgetrennt. Im Reaktionsbecken stellt sich eine mit der Restkonzentration korrespondierende Gleichgewichtsbeladung ein. Theoretisch wäre durch mehrstufige Anwendung der Pulverkohle im Gegenstrom eine optimale Ausnutzung möglich. In der Praxis hat sich eine Rückführung eines Teilstroms der vorbeladenen Aktivkohle von der Abscheideeinrichtung zurück in das Reaktionsbecken bewährt, um die Adsorptionskapazität besser ausnutzen zu können.

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

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

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

Am Eintritt der ersten Filterstufe (Säule) weist das Adsorbens entsprechend der Zulaufkonzentration die höchste Beladung auf. Für die Auslegung einer mehrstufigen Säulenanlage kann die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Zulaufkonzentration zugrunde gelegt werden. Die mögliche Beladung im

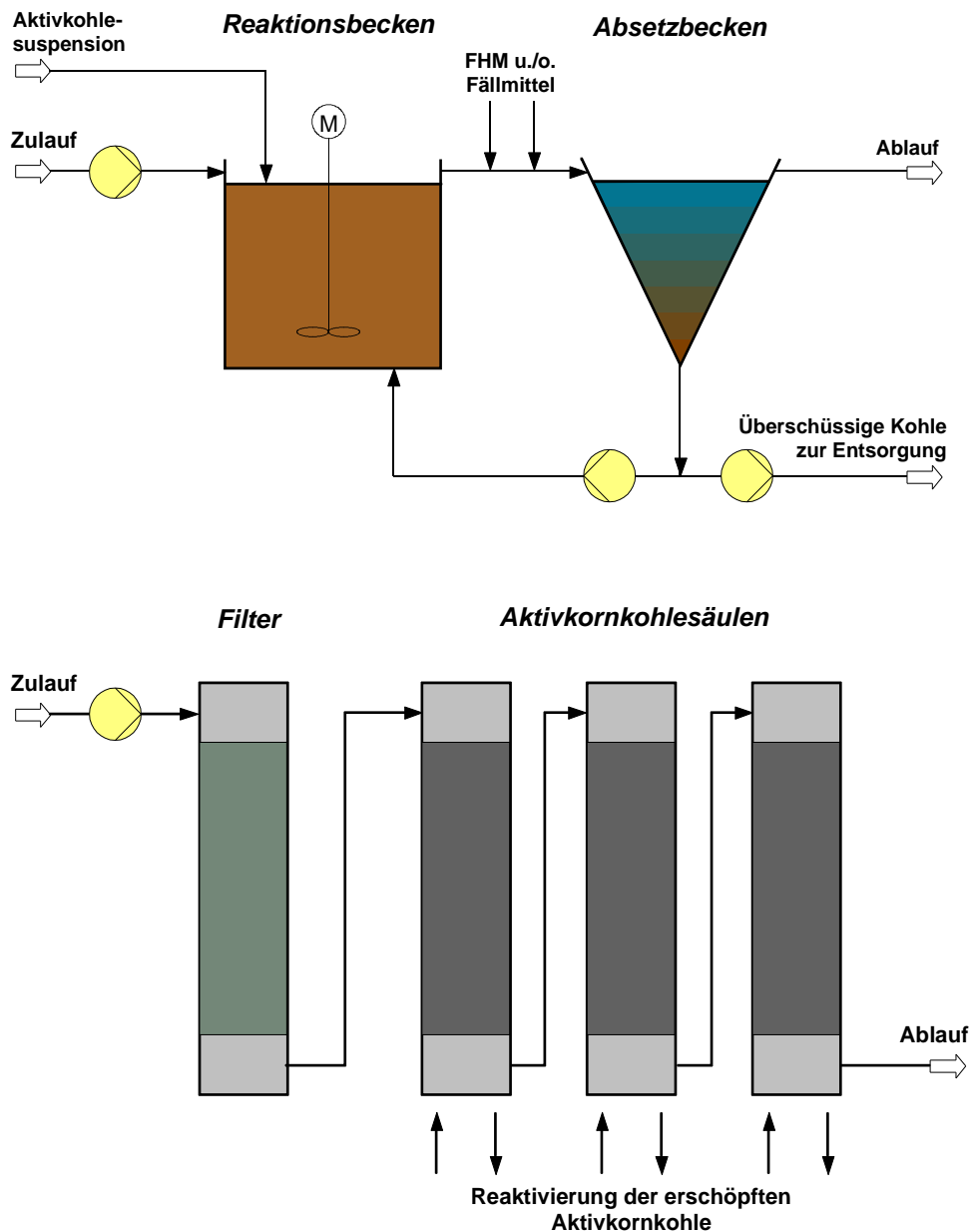
Filterverfahren ist daher theoretisch immer höher als die im Einrührverfahren, bei dem die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Ablaufkonzentration benutzt werden muss.

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

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

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

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



**Abbildung 4-3: Verfahrensprinzip Aktivkohleadsorption**

#### 4.1.3 Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Auf Kläranlagen erfolgt der Einsatz von Pulveraktivkohle zur Mikroschadstoffelimination über das Einmischen in den Abwasserstrom. In einer anschließenden Kontaktphase lagern sich die Mikroschadstoffe 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> mit einer PAK Menge von ca. 15 Tonnen mit. Insofern sind Silogrößen von etwas mehr als 50 m<sup>3</sup> (bzw. Vielfache von 50 m<sup>3</sup> 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.

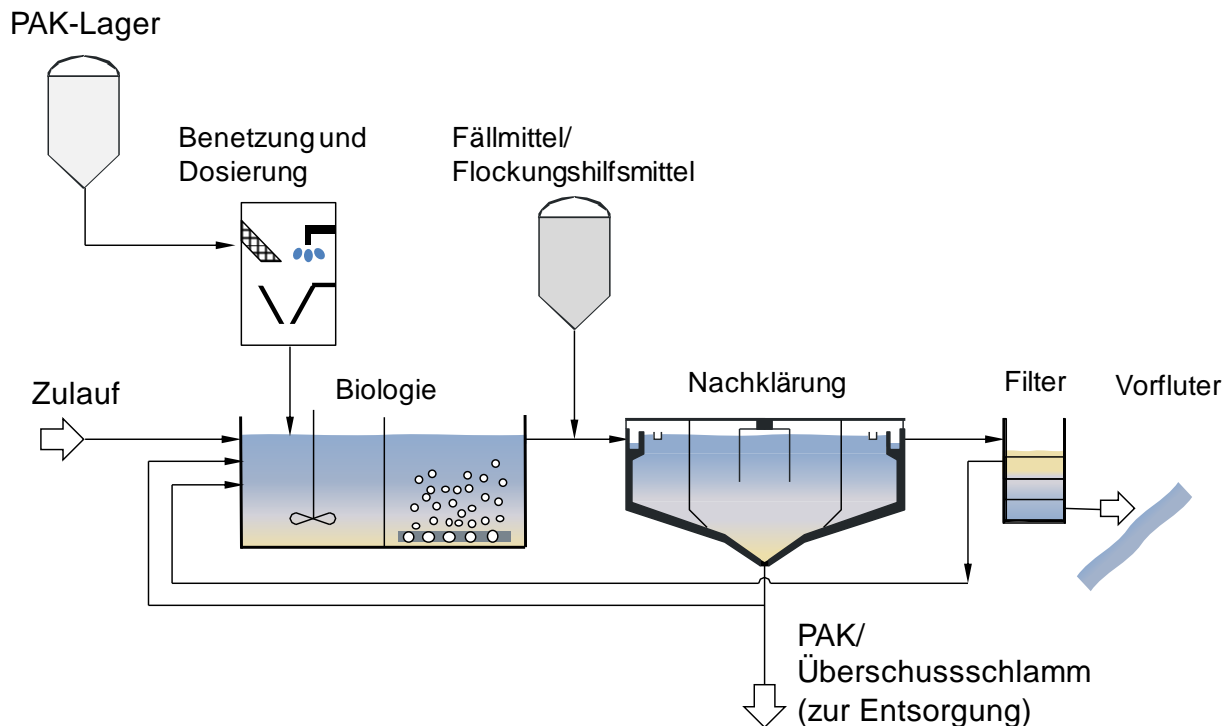
Wichtig ist die vollständige Trennung von eindosierter, beladener Pulveraktivkohle und gereinigtem Abwasser im Anschluss. Die Aktivkohle selber hat dabei voraussichtlich keine negativen Auswirkungen auf die Gewässer, jedoch ist sie mit den Mikroschadstoffen beladen, die nicht ins Gewässer gelangen sollen.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

Das Verfahren der PAK-Abtrennung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fällmittelmenge. Die Anforderungen an die Flockenstruktur unterscheiden sich, je nachdem, ob die Abtrennung mittels Sedimentation oder Raumfiltration erfolgt. Für die Sedimentation sind größere Flocken anzustreben, die leicht absinken. Dies wird mit einer Dosierung von ca. 0,4 g Fe / g PAK erreicht. Bei der Abtrennung im Sandfilter dürfen die Flocken weder zu groß, da sie sich dann auf der Oberfläche ansammeln (Flächenfiltration), noch zu klein sein, weil sie dann den Filter passieren. In der ARA Kloten/Opfikon hat sich eine Dosierung von 0,1 g Fe / g PAK bewährt (25).

#### 4.1.3.1 Einmischen der Pulveraktivkohle in die biologische Stufe

Pulveraktivkohle kann auf Kläranlagen direkt in das Belebungsbecken dosiert und vermischt werden. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 4-4 gezeigt. Die Abtrennung der PAK erfolgt zusammen mit dem Belebtschlamm in der Nachklärung sowie in der nachgeschalteten Filtrationsstufe. Um eine möglichst vollständige Abscheidung der beladenen Aktivkohle zu erreichen, werden in den Zulauf zur Nachklärung oder vor der Filtrationsstufe Fällmittel und Flockungshilfsmittel dosiert. 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 weitestgehend gereinigte Abwasser im Ablauf der Nachklärung. Die Ursache liegt in der Konkurrenzsituation um die freien Adsorptionsflächen der Aktivkohle. In der Belebungsstufe 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 4-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung**

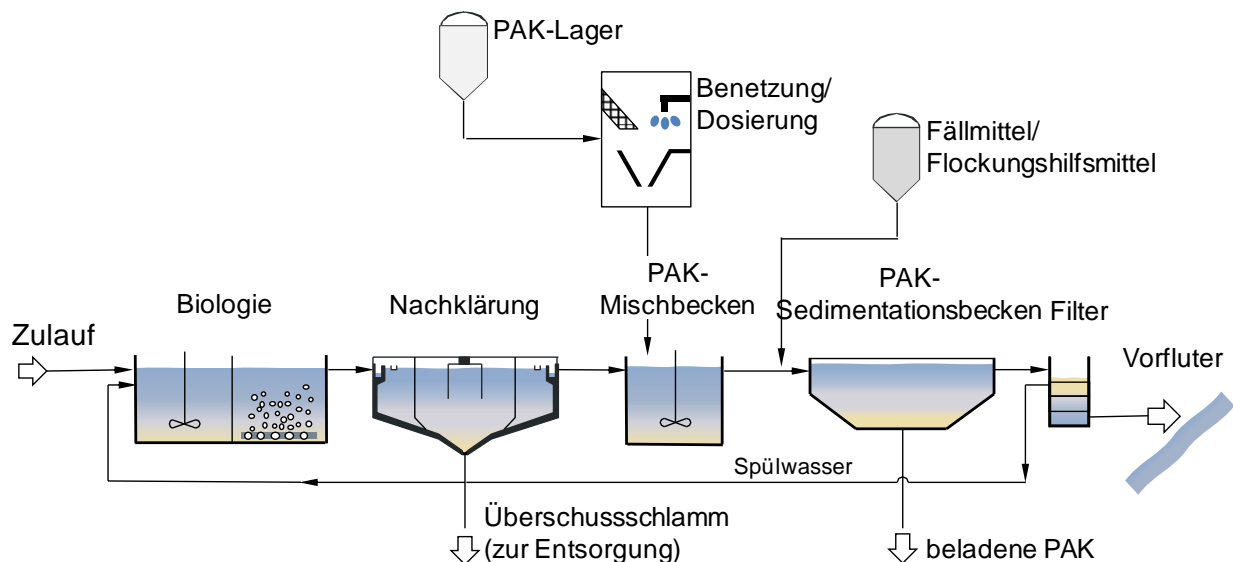
#### 4.1.3.2 Dosierung von Pulveraktivkohle in ein separates Kontaktbecken

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 4-5 gezeigt. Die Überschussskohle kann entweder aus dem Sedimentationsbecken oder mit dem Überschussschlamm aus der Belebung entnommen werden. Eine Regeneration der Kohle wird nicht durchgeführt.

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 (26).

Untersuchungen in Baden-Württemberg zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg PAK/l die gut adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie Carbamazepin und Metoprolol, zu 80 % eliminiert werden können (26).

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



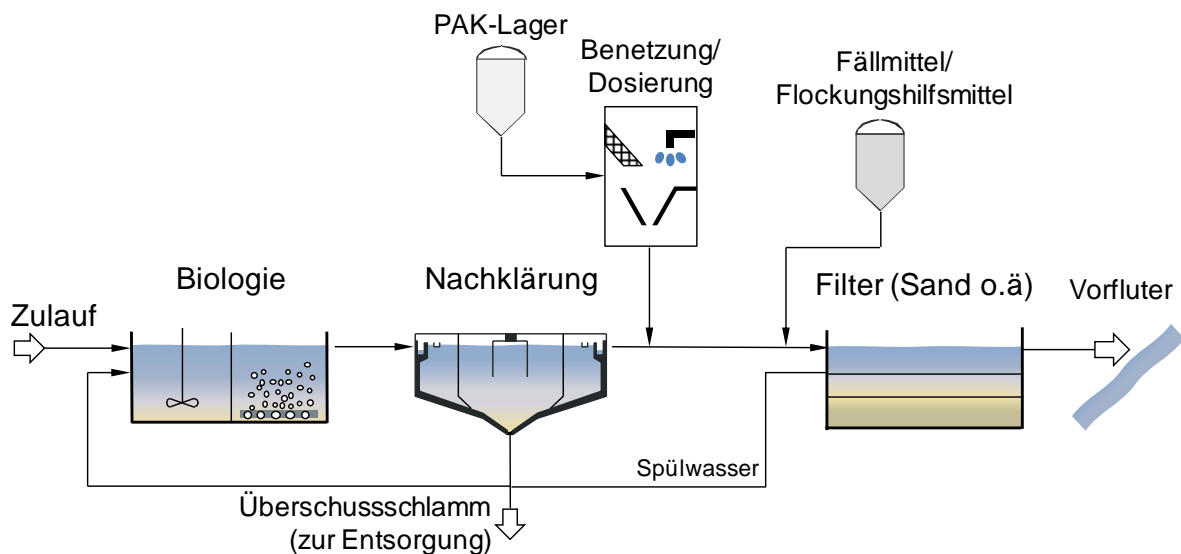
**Abbildung 4-5: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken**

#### 4.1.3.3 Dosierung von Pulveraktivkohle in den Überstau einer Flockungsfiltration

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 (27; 28).

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



**Abbildung 4-6: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum**

#### 4.1.4 Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Mikroschadstoffelimination 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 4-7.

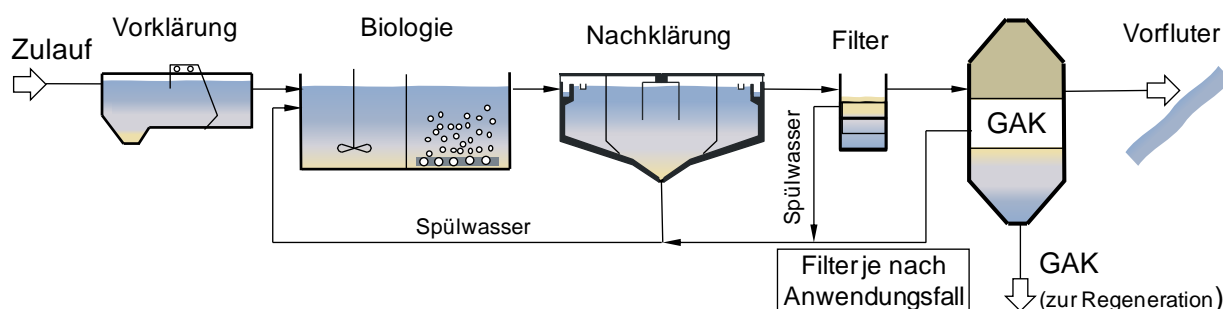
Frische Kohle weist eine sehr hohe Adsorptionsfähigkeit auf, mit zunehmender Laufzeit nimmt diese ab. Die Durchbruchzeiten sind für verschiedene Stoffe sehr unterschiedlich, sodass sich u.U. sehr geringe Standzeiten der Filter ergeben können. In der Sickerwasserreinigung ist es deshalb üblich mehrere 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 – 24.000 BVT schwanken (26; 29). Für einzelne Stoffe kann auch nach einer wesentlich längeren Standzeit von bis zu 32.000 BVT eine gute Elimination erreicht werden (30). Laut Benström et al. liegen die durchsetzbaren Bettvolumina in Abhängigkeit vom DOC-Gehalt des Abwassers bei 5.000 bis 10.000 BVT (DOC 14 bis 17 mg/l) bzw. 4.700 bis 24.000 BVT (5 bis 11 mg/l DOC) (29).

Weiterhin kann die Standzeit der GAK-Filter durch eine Parallelschaltung mehrerer Filter verlängert werden, weil diese zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK führt. Für einzelne Stoffe



ist dadurch eine Standzeitverlängerung von bis zu 70 % möglich (29). Mit dieser optimierten Betriebsweise und der einhergehenden Filterstandzeitverlängerung gewinnt die GAK-Filtration als Verfahren zur Mikroschadstoffelimination zunehmend an Bedeutung.

Bei einer GAK-Filtration zu jedoch 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. Daher sollten hohe AFS-Gehalte, gegebenenfalls durch eine vorgeschaltete Filtration, vermieden werden.



**Abbildung 4-7: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter**

## 4.2 Oxidative Verfahren

### 4.2.1 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 4-8).

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  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV-Strahlen oder gewisse organische Verbindungen (z.B. die im Abwasser vorkommenden Huminstoffe) werden  $\text{O}_2^- \cdot / \text{HO}_2^-$ -Radikale gebildet; über Zwischenschritte entsteht das äußerst reaktive  $\text{OH} \cdot$ -Radikal. Die  $\text{OH} \cdot$ -Radikale reagieren mit den organischen Inhaltsstoffen (C), wobei Peroxylradikale entstehen, die ihrerseits  $\text{O}_2^- \cdot / \text{HO}_2^-$ -Radikale abspalten und den Kreis damit schließen. Hohe Konzentrationen an "Radikalfängern" wie Carbonate/Hydrogencarbonate ( $\text{CO}_3/\text{HCO}_3$ ) oder Alkylverbindungen wirken hier hemmend auf die Reaktionsgeschwindigkeit, da sie die Kettenreaktion durch Verbrauch von  $\text{OH} \cdot$ -Radikalen unterbrechen können.

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

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

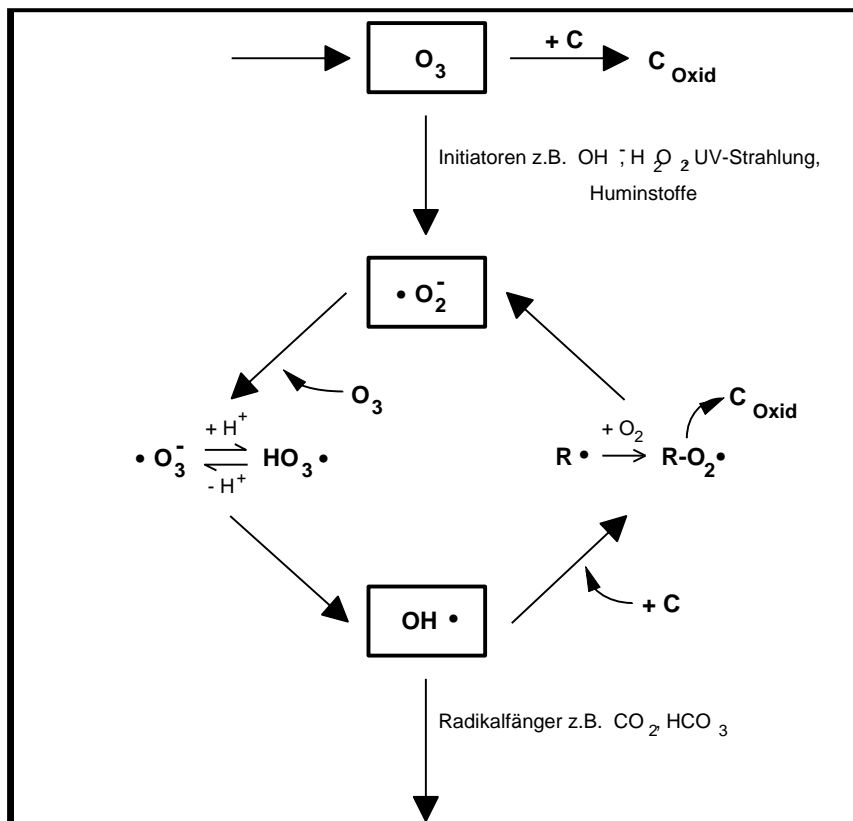


Abbildung 4-8: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

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

von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt. Es reagiert einerseits mit den Mikroverunreinigungen, aber auch mit der organischen Hintergrundmatrix (DOC) und anderen anorganischen Abwasserinhaltsstoffen (z.B. Nitrit). Zweifelhaft ist allerdings, ob die Ozonung einen Effekt auf die Elimination von Mikroplastik hat. Allenfalls könnte Mikroplastik in einer nachgeschalteten Filtrationsstufe zurückgehalten werden.

#### 4.2.2 Einsatz von Ozon auf Kläranlagen

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

Da durch die Behandlung mit chemischen Oxidationsmitteln aus langkettigen, schwer abbaubaren Stoffen kurzkettige und leicht abbaubare Stoffe entstehen, bevor sie durch weitere Oxidationsmittelzugabe vollständig mineralisiert werden, ist eine Nachbehandlung in Form einer biologisch aktiven Filtration oder eines GAK-Filters hinter der Ozonung erforderlich. Durch eine biologisch aktive Nachbehandlung (z.B. durch eine Sandfiltration oder ein Wirbelbett) lässt sich ein Großteil der Transformationsprodukte eliminieren (31). Dies gilt jedoch nicht für die aus tertiären Aminen entstehenden N-Oxide. Diese benötigen eine Nachbehandlung mit Aktivkohle (nachgeschalteter GAK-Filter) (32). Bei der Ozonisierung kann außerdem im Abwasser enthaltenes Bromid mit Ozon reagieren und Bromat entstehen, das in der Trinkwasserverordnung stark reguliert ist.

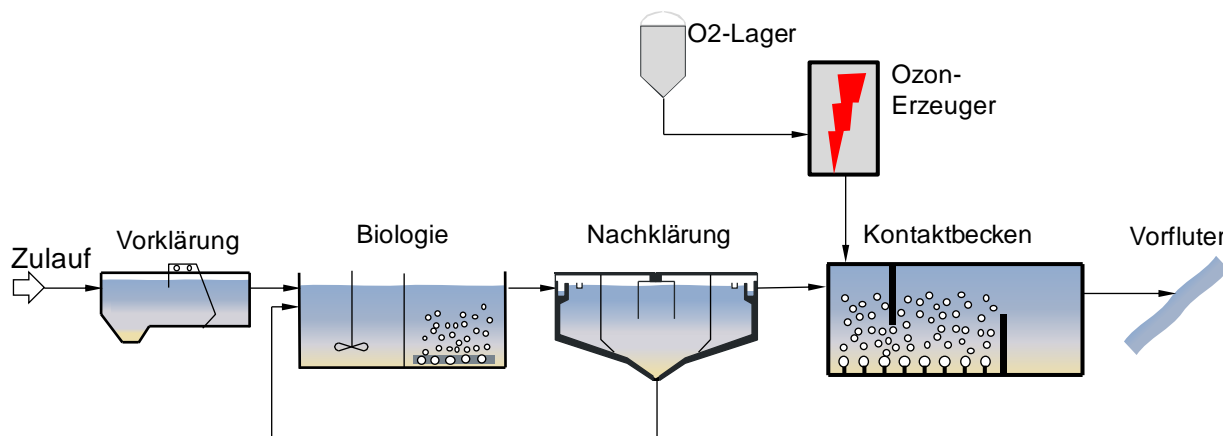
##### 4.2.2.1 Apparative Ausführung der Ozonierung für die Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

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

Das zu behandelnde Abwasser wird in einen Ozonreaktor eingeleitet. Der Ozoneintrag kann entweder über am Reaktorboden installierte Keramikbelüfter (siehe Abbildung 4-9) oder über ein Injektorsystem, mit dem das Ozon in das Abwasser eingedüst wird, erfolgen. Der Ozonreaktor muss ausreichend groß dimensioniert sein, damit das Ozon mit den Abwasserinhaltsstoffen ausreichend lang reagieren kann.

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

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

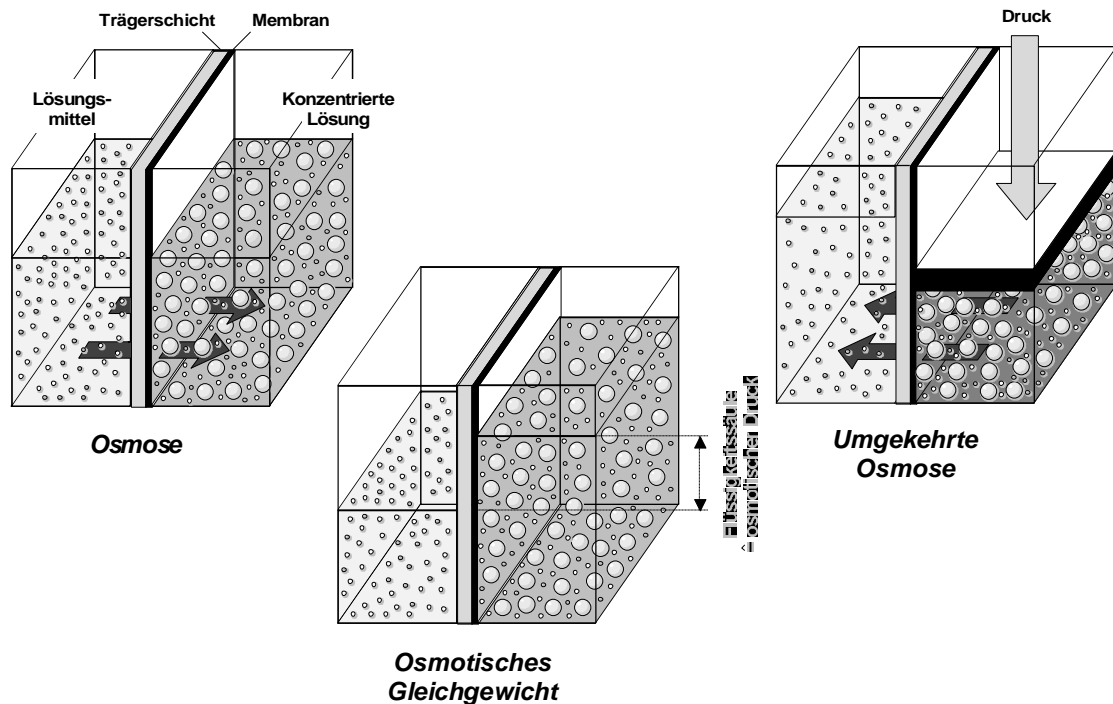


**Abbildung 4-9: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung**

### 4.3 Membranverfahren

#### 4.3.1 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 4-10 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 4-10: 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.

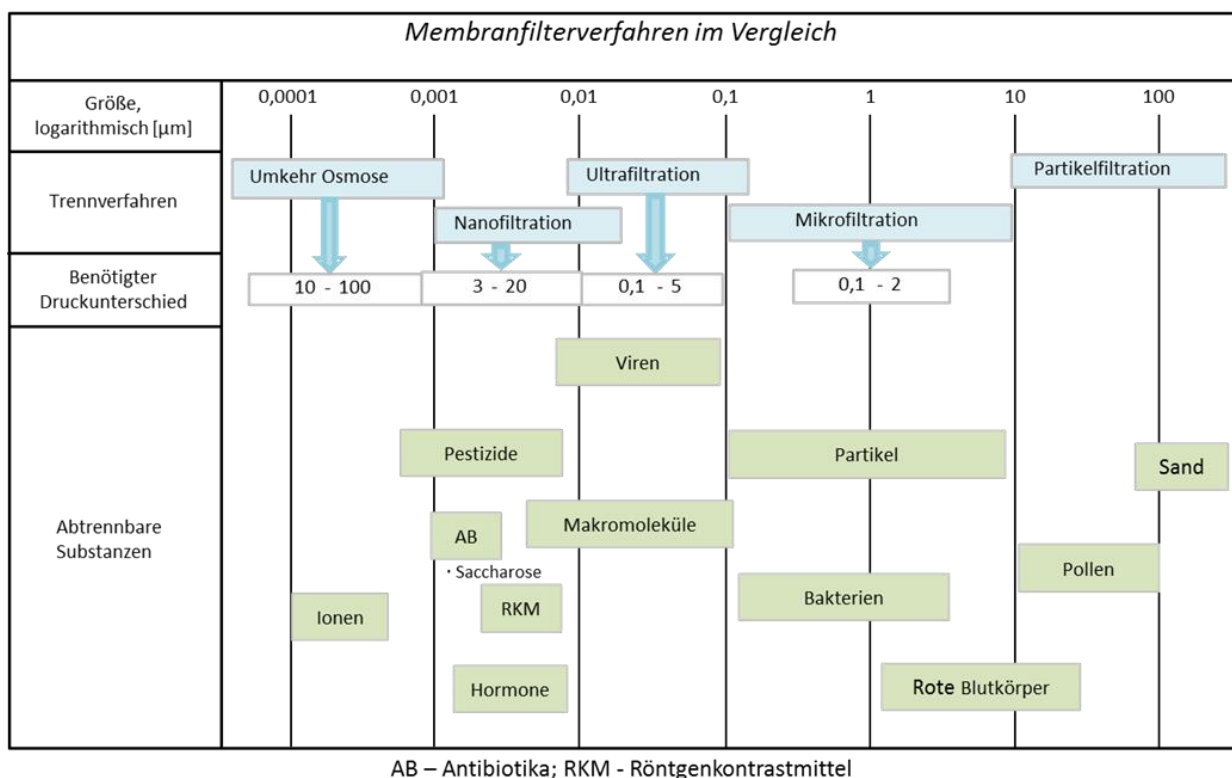
Durch das Aufprägen eines den osmotischen Druck übersteigenden Druckes kann dieser Prozess umgekehrt werden, so dass die konzentriertere Lösung entwässert, d. h. aufkonzentriert werden kann. Dieser Prozess wird in der technischen Anwendung dementsprechend Umkehrosmose genannt. Der Zulaufstrom (Feed) 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 4-11. Nanofiltrations- und Umkehrosmoseverfahren können ein sehr breites Spektrum an Substanzen nahezu vollständig zurückhalten. Viele Mikroschadstoffe, wie Arzneimittel, bewegen sich im Trennbereich der Nanofiltration und Umkehrosmose.



**Abbildung 4-11: 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 vergleichsweise geringen Drücken, je nach System und Anwendung ca. 1-10 bar, betrieben werden. Bei der Umkehrosmose muss zuerst der osmotische Druck der Lösung überwunden werden, bevor eine Auftrennung der Lösung stattfinden kann. Daher sind vor allem bei der Umkehrosmose erheblich höhere Drücke erforderlich. Für die Nanofiltration gilt dies nur bedingt, da die einwertigen Neutralsalze zum

größten Teil die Membran passieren und somit eine geringere Konzentrationsdifferenz zwischen der Konzentrat- und der Permeatseite vorhanden ist als bei der Umkehrosmose. Daher können Nanofiltrationsanlagen in der Regel mit deutlich niedrigeren Betriebsdrücken betrieben werden.

Der Betriebsdruck der eingesetzten Membranen und Modulen war lange Zeit auf etwa 60 bis 80 bar für die Umkehrosmose und auf ca. 40 bar für die Nanofiltration begrenzt. Mittlerweile sind Systeme verfügbar, deren Konstruktionen Betriebsdrücke zwischen 120-300 bar für die Umkehrosmose erlauben. Der Trennvorgang wird dabei an der Membran von einer nur ca. 0,1-0,2 mm dicken aktiven Schicht geleistet, während die darunter liegende poröse 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 4-12 sind einige dieser Faktoren und deren Einflüsse auf die Anlage dargestellt.

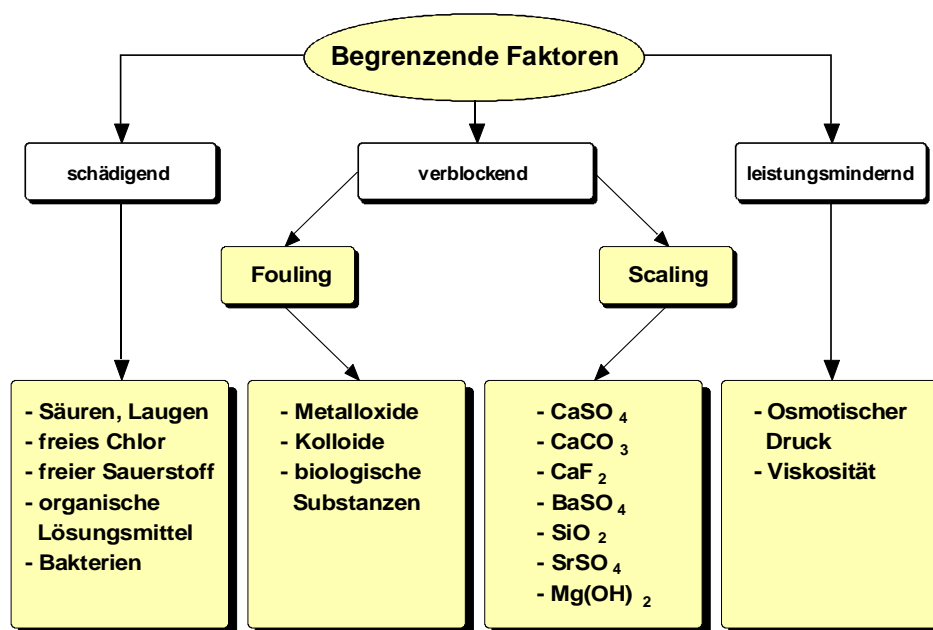


Abbildung 4-12: Begrenzende Faktoren

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.

Nanofiltration und Umkehrosmose 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.

#### 4.3.1.1 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.

#### 4.3.2 Einsatz von Membranen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Nanofiltration und Umkehrosmose können ein breites Stoffspektrum der Mikroverunreinigungen nahezu vollständig zurückhalten. Um kommunales Abwasser jedoch mittels Nanofiltration oder Umkehrosmose be-



handeln zu können, ist eine sehr gute Vorreinigung (z.B. Ultrafiltration) die Voraussetzung, da die eingesetzten Membranen insbesondere vor ungelösten Stoffen gut geschützt werden müssen, um Belagbildung und Verstopfungen zuverlässig zu vermeiden.

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

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

#### **4.4 Sonstige Verfahren**

##### 4.4.1 AOP Advanced Oxidation Processes

Unter „Advanced Oxidation Processes“ (AOP) versteht man beispielsweise den Einsatz UV und  $\text{H}_2\text{O}_2$ , UV und  $\text{TiO}_2$  (oder einem anderen Halbleiter),  $\text{O}_3$  und  $\text{H}_2\text{O}_2$  und weiteren Oxidationsmitteln. AOP sind grundsätzlich in der Lage, ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. AOP beruhen auf der Oxidation von organischen Inhaltsstoffen durch OH-Radikale ( $\text{OH}\cdot$ ). OH-Radikale müssen vor Ort (im Wasser) erzeugt werden und können nicht gelagert werden. Sie sind hoch reaktiv und reagieren mit praktisch allen organischen Stoffen, d. h. mit Mikroverunreinigungen, aber auch mit Hintergrund-DOC sowie mit einigen anorganischen Verbindungen. Die angegriffenen Substanzen werden wie bei der Ozonung in der Regel nicht zu  $\text{CO}_2$  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.

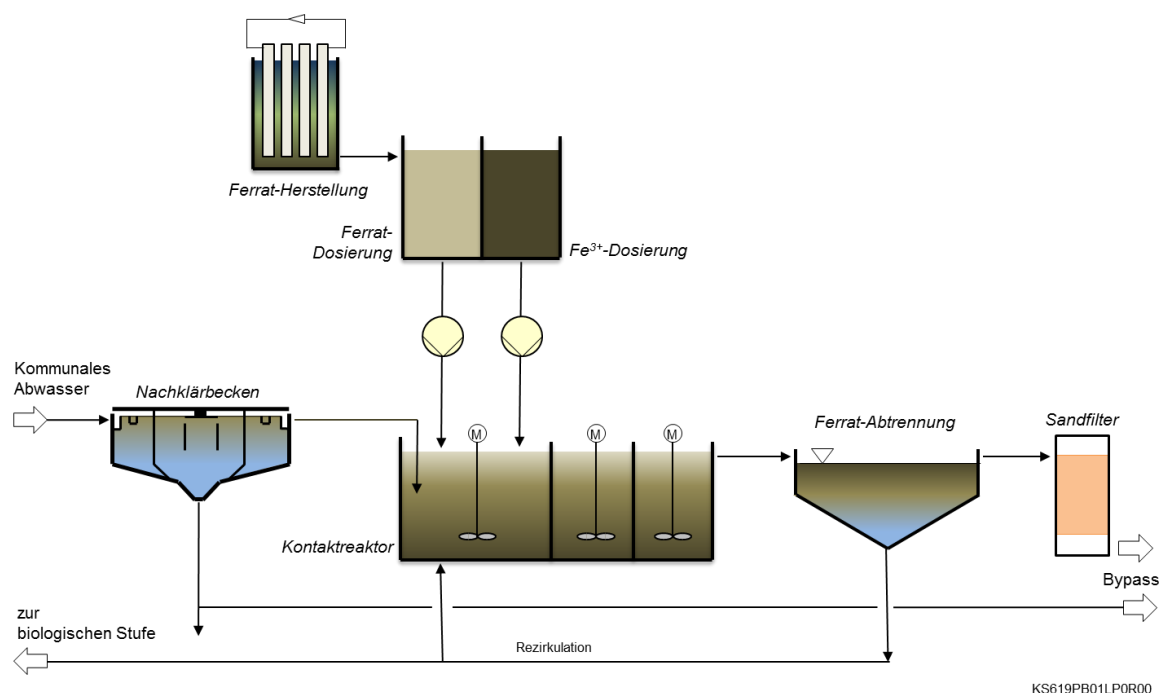
Für den Einsatz in kommunalen Kläranlagen sind diese Verfahren mittelfristig nicht geeignet. Es liegen bisher kaum Betriebserfahrungen in kommunalem Abwasser vor, des Weiterem sind der Energieverbrauch und die Kosten gegenüber der reinen Ozonung oder der Aktivkohlebehandlung höher.

##### 4.4.2 Weitere Verfahren

###### 4.4.2.1 Ferrat

Bei Ferrat handelt es sich um sechswertiges Eisenoxid ( $\text{Fe(VI)O}_4^{2-}$ ), 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 müssen in der kommenden Zeit noch genauer untersucht werden. (25)



**Abbildung 4-13: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Mikroschadstoffelimination (nach (25))**

#### 4.4.2.2 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. (25)

#### **4.5 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 (25).

#### **4.6 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 (25).

#### **4.7 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 Mikroschadstoffelimination aus Abwasser zu bewirken.

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

Die Photolyse scheidet für die Mikroschadstoffelimination aus Abwasser aus, da nur sehr wenige Verbindungen entfernt werden können. Der Einsatz von Chlor und Chlordioxid kommt aus zwei Gründen für die Mikroschadstoffelimination 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 Mikroschadstoffelimination 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 (25). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenen Mikroschadstoffe nicht entfernt, sondern in Transformationsprodukte umgewandelt werden. Aufgrund deren höherer Reaktivität wird für diese eine bessere biologische Abbaubarkeit erwartet, als die ursprünglichen Mikroschadstoffe 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. 4.2.2) (32). Auch im Hinblick auf die Mikroplastikelimination ist eine anschließende Filtration empfehlenswert.

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

Die Aktivkohle kann wie zuvor beschrieben entweder als Pulveraktivkohle (PAK) eingesetzt werden oder als granuliert Aktivkohle (GAK). Beim Einsatz der Pulveraktivkohle werden gute 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 (33). Es ist auch möglich, die PAK in den Flockungsraum eines Filters zu dosieren. Bei einer GAK-Filtration hängt der wirtschaftliche Einsatz neben der AFS- und der DOC-Konzentration im Filterzulauf, maßgeblich von der Betriebsweise ab (vgl. Kapitel 4.1.4). So zeigen Untersuchungen, dass eine Parallelschaltung der GAK-Adsorber zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit zu einer längeren Standzeit der GAK-Filter führt (29).

Eine von Remy und Miehle durchgeführte Untersuchung des ökologischen Einflusses zeigt für das konkrete Beispiel einer Modellkläranlage der Größenklasse 5 eine erheblich bessere ökologische Bilanz der GAK-Filtration im Vergleich zu den anderen Verfahren. Am schlechtesten wird die PAK bewertet, da hier nach aktuellem Stand keine Regeneration der eingesetzten Aktivkohle möglich ist. Die Ozonung liegt zwischen den beiden Methoden. Berücksichtigt werden der Energiebedarf sowie der CO<sub>2</sub>-Footprint, jeweils in Kombination mit einer Raumfiltration (bei GAK vor-, ansonsten nachgeschaltet) und einer abschließenden UV-Behandlung (34). Die Übertragbarkeit auf andere Kläranlagen ist jedoch nicht ohne weiteres gegeben, so dass diese Untersuchungen lediglich einen Hinweis geben.

#### 4.7.1 Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen

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

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

KA Aachen-Soers:	Ozonung
KA Bad Sassendorf:	Ozonung
KA Barntrup:	PAK-Dosierung
KA Duisburg- Vierlinden:	Ozonung
KA Dülmen	PAK - Kombination aus Sedimentation und Filtration
KA Gütersloh- Putzhagen	GAK-Filtration (Teilstrombehandlung)
KA Obere Lutter:	GAK-Filtration
KA Mannheim:	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Schwerte:	PAK-Dosierung und Ozonung
KA Buchenhofen:	PAK- Dosierung in Filterzelle
KA Rietberg	GAK-Filtration
KA Warburg	Ozonung
KA Öhringen	PAK-Dosierung
KA Böblingen-Sindelfingen	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Lahr	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Hechingen	PAK-Dosierung
KA Westerheim	GAK-Filtration
KA Laichingen	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Steinhäule	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Albstadt-Lautlingen	PAK-Dosierung
KA Albstadt-Ebingen	PAK-Dosierung in Ausgleichs- und Kontaktbecken
KA Stockacher Aach	PAK-Dosierung in Kontaktbecken
KA Langwiese	PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Kressbronn-Langenargen    PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Wendlingen                      PAK-Dosierung in Kontaktbecken

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

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

## 5 Auswertung der Betriebsdaten der Kläranlage Niederkassel

Die Auswertung der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Betriebstagebücher der Kläranlage Niederkassel erfolgt für den Zeitraum 01.01.2017 bis 31.12.2019.

### 5.1 Zulauf der Kläranlage

Die Tageszulaufmengen für die Jahre 2017 bis 2019 sind in Abbildung 5-1 gezeigt. Die mittlere Zulaufmenge, aufsummiert aus Stundenwerten, beträgt etwa 6.450 m<sup>3</sup>/d. Da an einigen Tagen Messausfälle festzustellen sind, werden zur Ermittlung der mittleren Jahresabwassermenge (JAM) Annahmen für die fehlenden Werte getroffen. Abhängig von den jeweiligen Witterungsverhältnissen am Tag der Messstörung, werden dazu Mittelwerte für Regen- bzw. Trockenwettertagen angesetzt. Damit ergibt sich über den Betrachtungszeitraum eine mittlere Jahresabwassermenge von 2.354.841 m<sup>3</sup>/a.

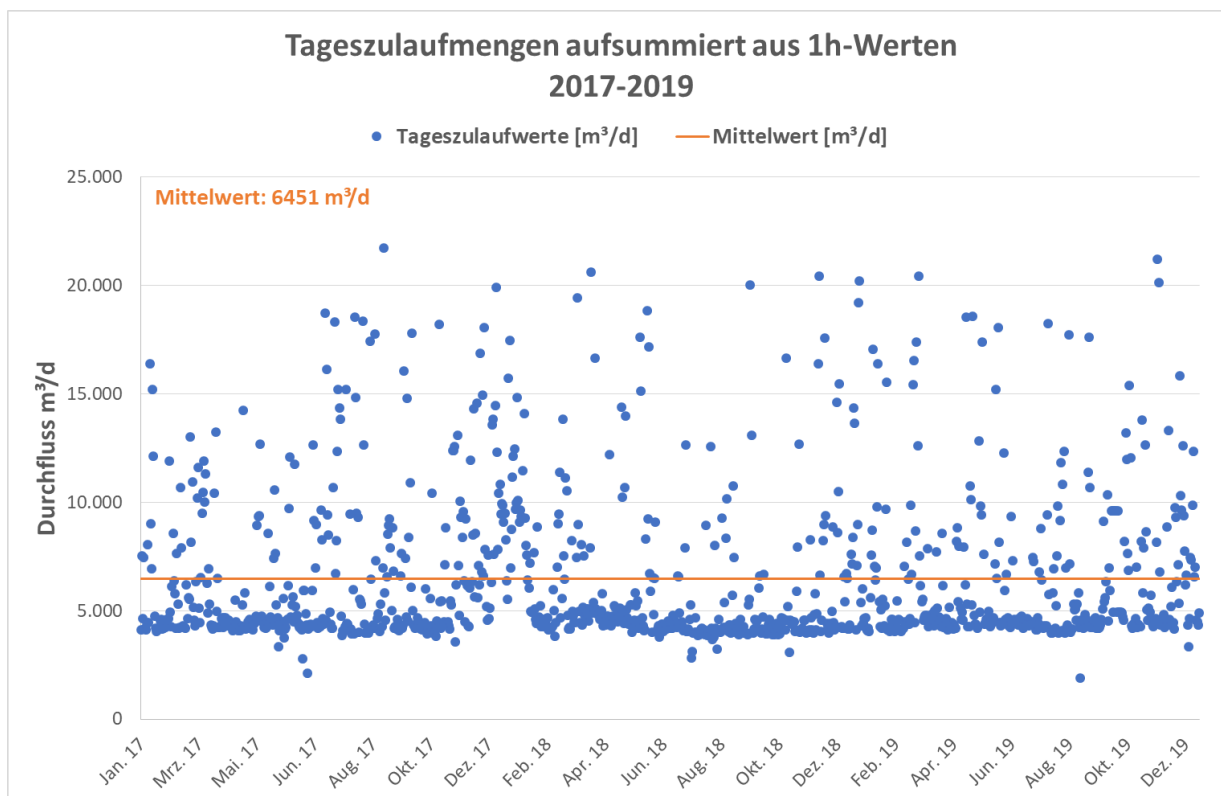


Abbildung 5-1: Tageszulaufmenge der KA Niederkassel 2017-2019

In Tabelle 5-1 sind die Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage Niederkassel sowie die aus dem bemessungsrelevanten 85 %-Perzentil ermittelten angeschlossenen Einwohnerwerte (EW) und die sich daraus ergebene Auslastung für die Jahre 2017 bis 2019 zusammengefasst.

<b>2017</b>				
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil	Auslastung bei 64.000 EW Ausbaugröße
Einheit	kg/d	kg/d	EW	
BSB <sub>5</sub>	2.857	3.342	55.695	87%
CSB	6.066	7.262	60.516	95%
NH <sub>4</sub> -N	364,1	479	68.423	107%
PO <sub>4</sub> -P	64,5	75	41.658	65%
<b>2018</b>				
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil	Auslastung bei 64.000 EW Ausbaugröße
Einheit	kg/d	kg/d	EW	
BSB <sub>5</sub>	2.418	3.174	52.899	83%
CSB	5.375	6.983	58.195	91%
NH <sub>4</sub> -N	386,5	532	75.937	119%
PO <sub>4</sub> -P	65,3	71	39.639	62%
<b>2019</b>				
	Durchschnittliche Tagesfracht	85 %-Perzentil Tagesfracht	Ermittelte Einwohnerzahl 85 %-Perzentil	Auslastung bei 64.000 EW Ausbaugröße
Einheit	kg/d	kg/d	EW	
BSB <sub>5</sub>	2.691	3.324	55.407	87%
CSB	5.778	7.444	62.037	97%
NH <sub>4</sub> -N	355,5	481	68.784	107%
PO <sub>4</sub> -P	63,5	90	49.911	78%

**Tabelle 5-1: Berechnung der Einwohnerwerte**

Die Kläranlage Niederkassel ist im Vergleich zu ihrer Ausbaugröße von 64.000 EW in Bezug auf den bemessungsrelevanten Parameter CSB zu 91 bis 97% ausgelastet. Für den Parameter PO<sub>4</sub>-P ergibt sich eine Auslastung von 62 bis 78%. In Bezug auf Ammoniumstickstoff zeigen die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Berechnungen eine durchschnittliche Auslastung von 111%. Grund für die hohen Stickstoff Frachten können die landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Gewerbebetriebe im Einzugsgebiet der Kläranlage Niederkassel sein.

## 5.2 Belebung

Der Schlammindex und der Trockensubstanzgehalt sind in Abbildung 5-2 gezeigt. Der Schlammindex schwankt über den Betrachtungszeitraum in der Regel im Bereich von 50 bis 150 ml/g und erreicht im Mittel einen Wert von 99 ml/g. Von April bis Juni 2017 können die höchsten Werte beobachtet werden mit einem Maximalwert von 249 mg/l. Der Trockensubstanzgehalt unterliegt in den Jahren 2017 bis 2019 ebenfalls



Schwankungen. Im Frühjahr 2018 und 2019 werden Werte bis 5 g/l gemessen, während in den Herbstmonaten Werte unterhalb von 2,5 bis minimal 2,2 g/l auftreten. Der maximale gemessene Gehalt an Trockensubstanz beträgt 5,9 g/l (Dezember 2017).

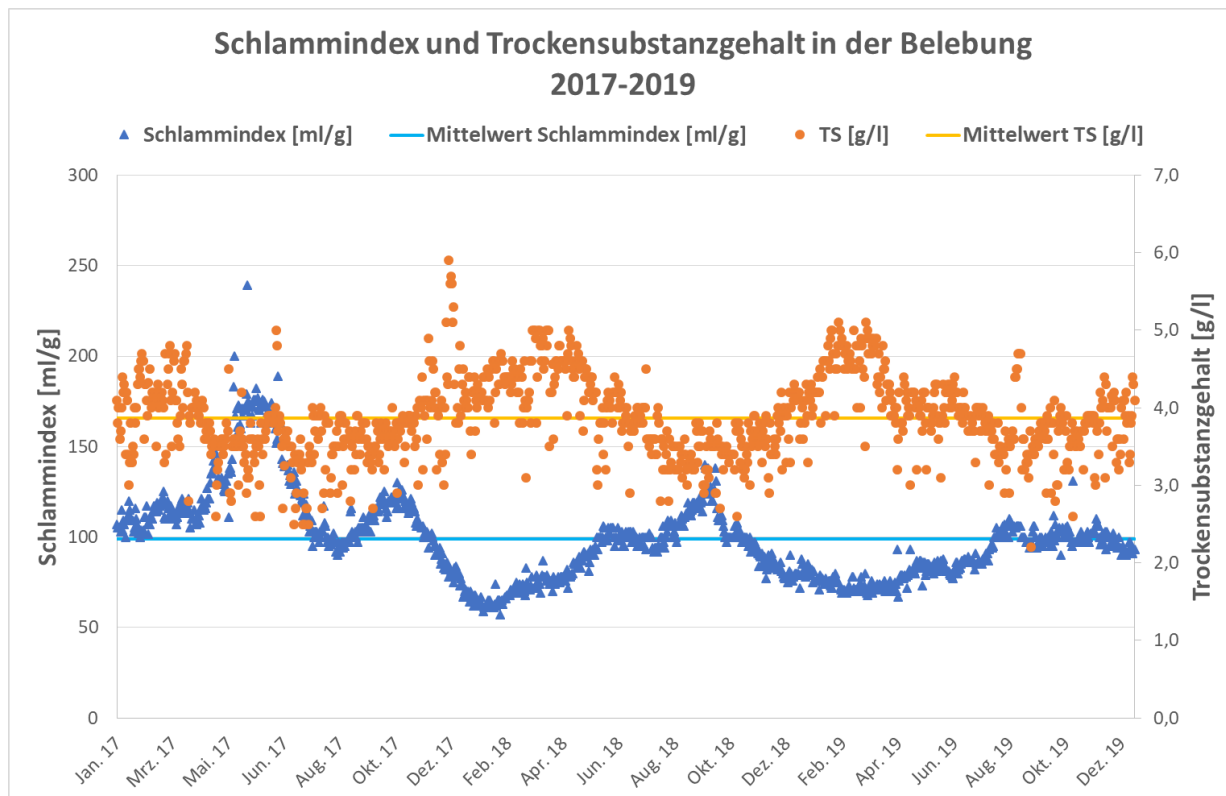
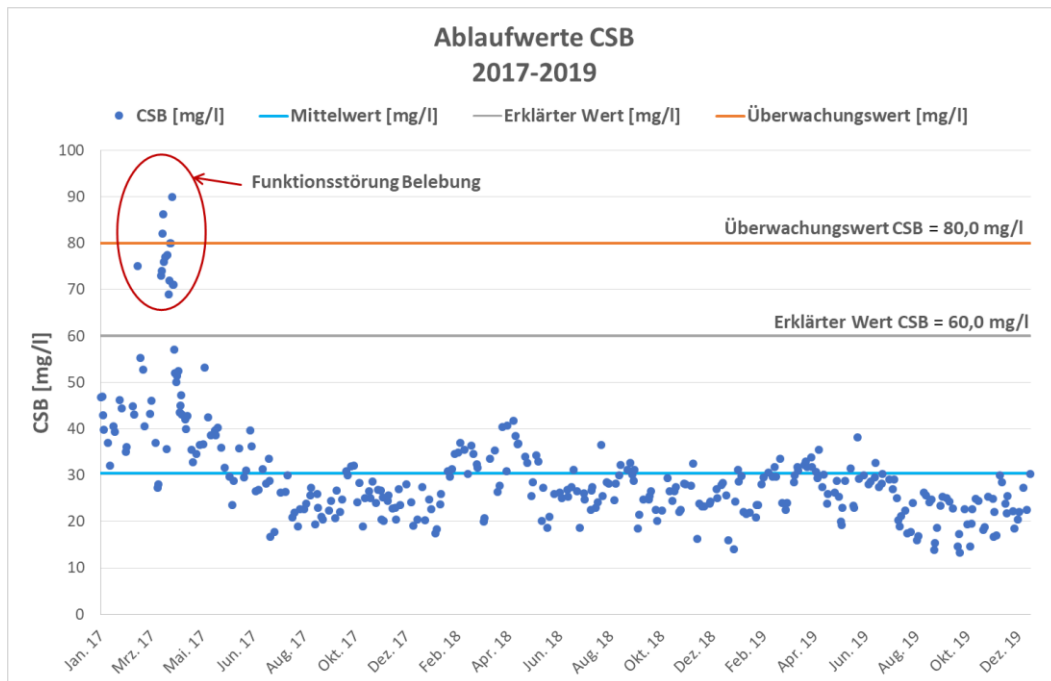


Abbildung 5-2: Schlammindex und Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken

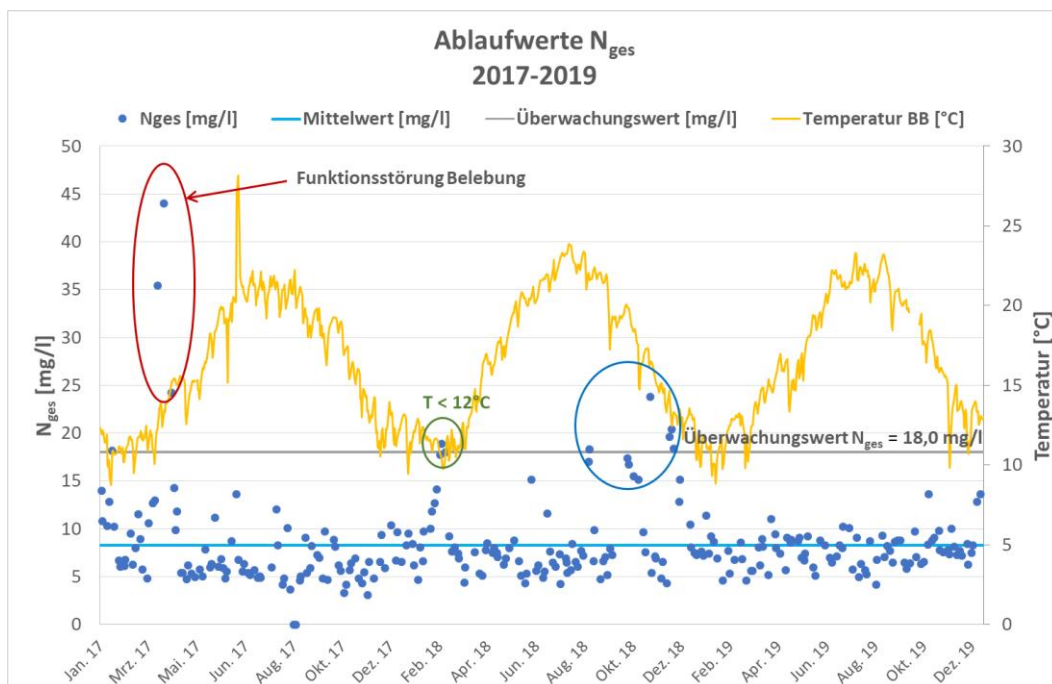
### 5.3 Kläranlagenablauf

In Abbildung 5-3 ist die CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Niederkassel über die Jahre 2017 bis 2019 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 30,4 mg/l. Maximal kann eine Konzentration von 90 mg/l im März 2017 festgestellt werden. Im Frühjahr 2017 kam es zu einer Funktionsstörung der Belebung durch Vermehrung eines neuen Bakteriums „Nitrotoga Arctica“ in der Biologie. Diese kommen eher in kälteren Regionen vor, weswegen es zu Störungen im Übergang von der kalten zur wärmeren Jahreszeit gekommen ist, was die hohen Ablaufwerte zu dieser Zeit erklärt (s. Abbildung 5-3, roter Kreis). Abgesehen von dieser Periode, werden sowohl der Überwachungswert von 80 mg/l als auch der selbsterklärte Wert von 60 mg/l sicher eingehalten.



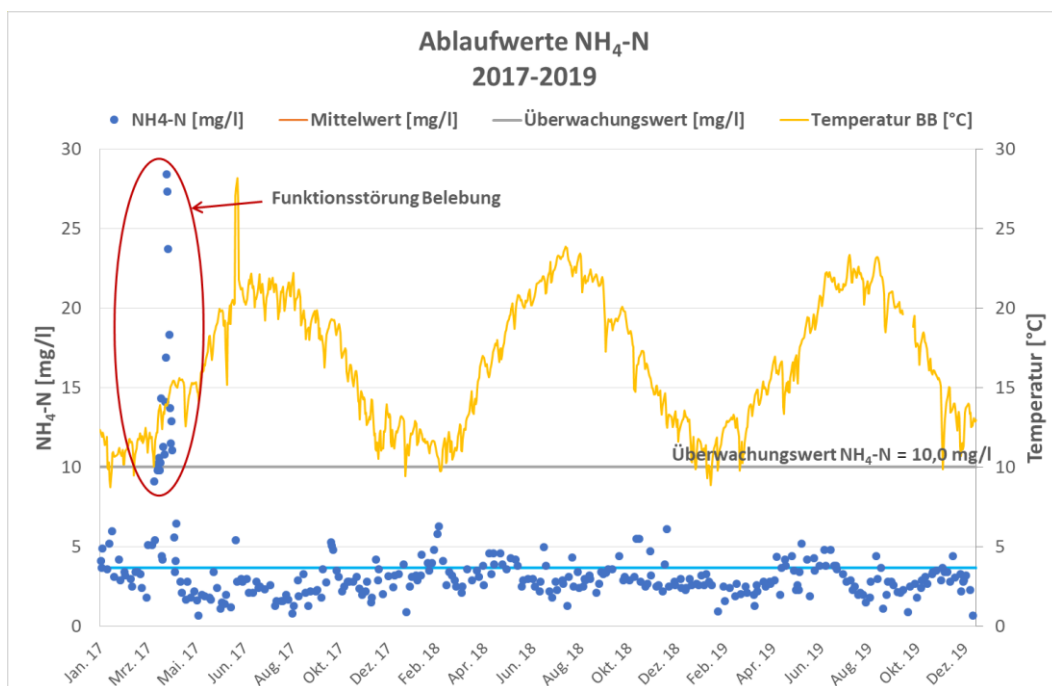
**Abbildung 5-3: CSB-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung**

In der nachfolgenden Abbildung 5-4 ist der Gehalt an Gesamtstickstoff im Ablauf der Kläranlage und der Temperaturverlauf im Belebungsbecken für die Jahre 2017 bis 2019 dargestellt. Bei Betrachtung der Ablaufwerte für Gesamtstickstoff ( $N_{ges}$ ) werden erneut die Auswirkungen der Funktionsstörung im Frühjahr 2017 deutlich. In dieser Periode wird der Höchstwert von 44 mg/l erreicht. Weiterhin sind stellenweise Überschreitungen des Überwachungswertes zu beobachten. In der zweiten Jahreshälfte 2018 ist der einzuhaltende Wert von 18 mg/l Gesamtstickstoffgehalt, bei Temperaturen im Belebungsbecken  $>12^{\circ}\text{C}$ , fünfmal überschritten worden (s. Abbildung 5-4, blauer Kreis). Bei den Ablaufkonzentrationen von Februar (grüner Kreis) lag die Temperatur im Belebungsbecken unterhalb von  $12^{\circ}\text{C}$ . Im Mittel liegt die Ablaufkonzentration allerdings bei ca. 8,3 mg/l und kann größtenteils sicher eingehalten werden.



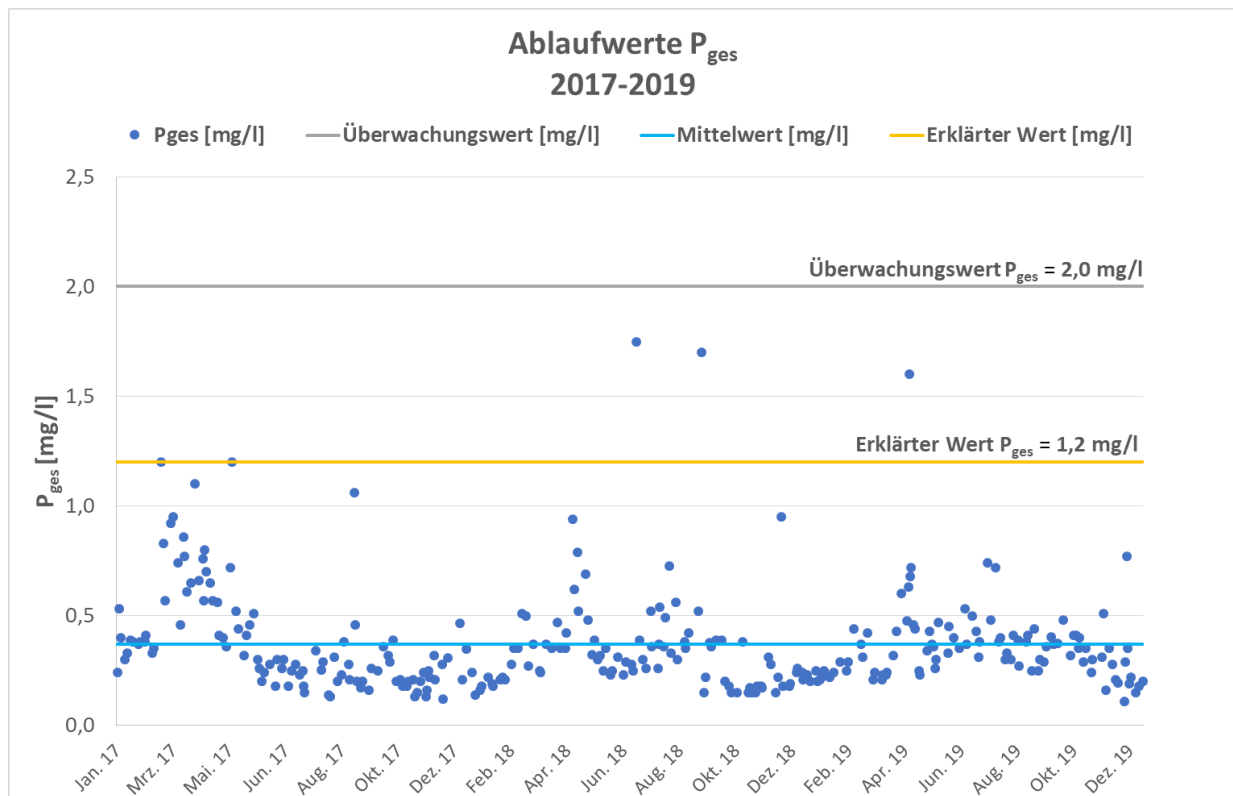
**Abbildung 5-4: N<sub>ges</sub>-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung**

Abbildung 5-5 zeigt die NH<sub>4</sub>-N-Konzentration im Ablauf der Kläranlage. Der Maximalwert von 28,4 mg/l ist während der Funktionsstörung im Frühjahr 2017 erfasst worden. Im Betrachtungszeitraum verhält sich die Konzentration relativ konstant und erreicht im Mittel 3,8 mg/l. Der Überwachungswert von 10 mg/l bei Temperaturen im Belebungsbecken  $\geq 12$  °C wird sicher eingehalten.



**Abbildung 5-5: NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung**

Die  $P_{ges}$ -Konzentration im Ablauf der Nachklärung ist in Abbildung 5-6 dargestellt. Die Konzentration liegt im Mittel bei 0,37 mg/l. Der Überwachungswert von 2 mg/l wird sicher eingehalten, allerdings sind vereinzelt Überschreitungen des erklärten Wertes von 1,2 mg/l festzustellen.



**Abbildung 5-6:  $P_{ges}$ -Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung**

Die Ablaufkonzentrationen von  $NO_2$ -N und  $NO_3$ -N sind in Abbildung 5-7 und Abbildung 5-8 dargestellt. Durch die Funktionsstörung der Belebung im Frühjahr 2017 kam es zu sehr hohen Nitrit-Ablaufkonzentrationen von bis zu 30 mg/l. Diese hohen Werte führen dazu, dass für die Jahre 2017 bis 2019 ein Mittelwert von fast 1,2 mg/l erreicht wird. Um die Reinigungsleistung besser bewerten und darstellen zu können, bleiben die Ausreißer unberücksichtigt und für die Ermittlung des Mittelwertes werden nur die Jahre 2018 und 2019 in Betracht gezogen. Im ungestörten Betrieb werden in der überwiegenden Zeit  $NO_2$ -Konzentrationen von 0,2 mg/l unterschritten. Im Mittel liegt der Ablaufwert bei 0,16 mg/l. Für die Jahre 2018 und 2019 beträgt der Maximalwert 0,9 mg/l.

Die  $NO_3$ -Ablaufkonzentration erreicht im Mittel den Wert 2 mg/l. Größtenteils werden Werte von 2 mg/l unterschritten, allerdings sind Konzentrationsanstiege insbesondere in den Wintermonaten bis 11 mg/l zu beobachten. Der Maximalwert von 14 mg/l wurde während der Funktionsstörung im Frühjahr 2017 gemessen.

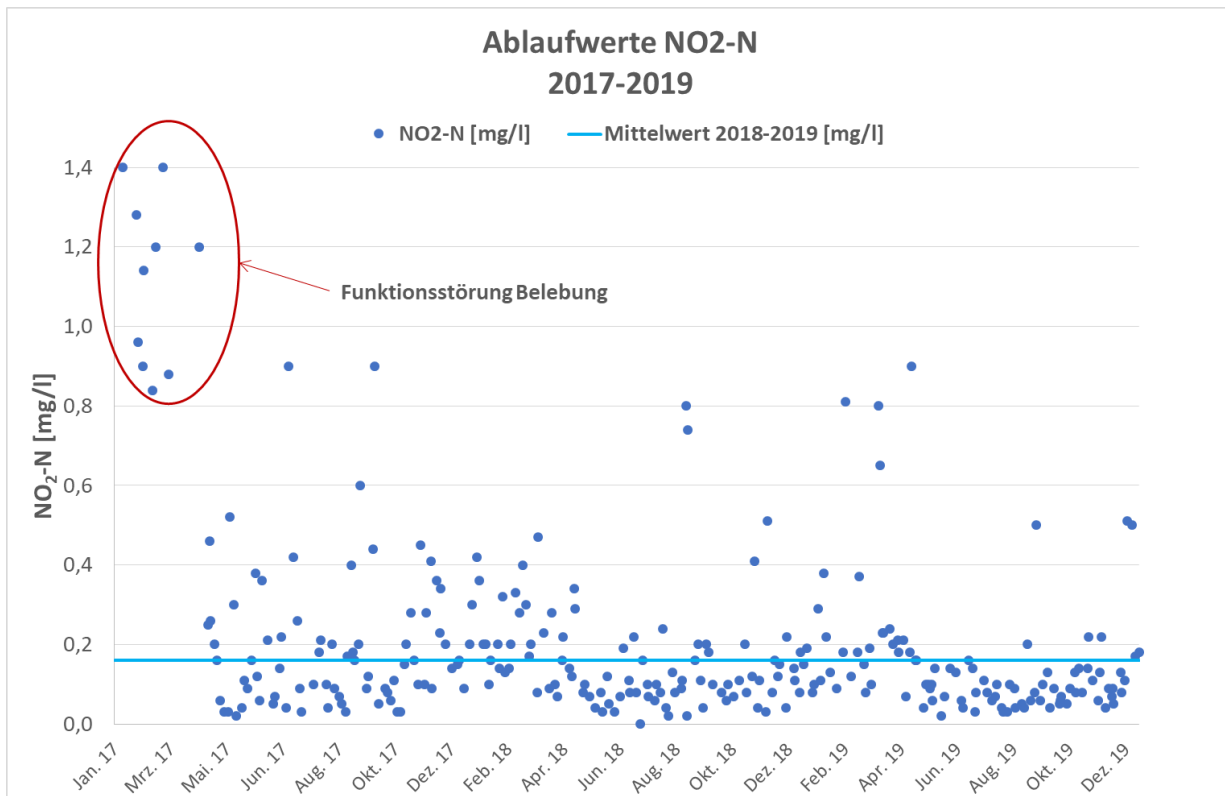


Abbildung 5-7: NO<sub>2</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung

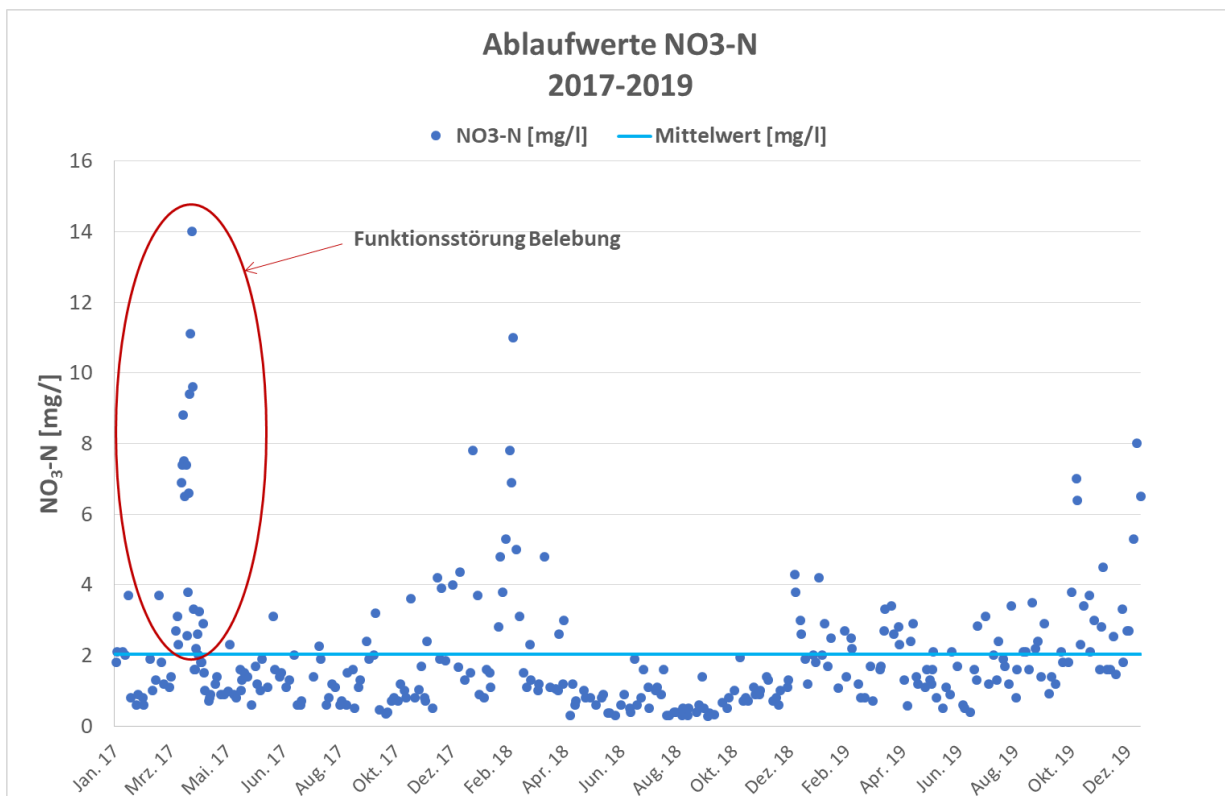


Abbildung 5-8: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung

## **5.4 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe**

Die KA Niederkassel ist bezogen auf den bemessungsrelevanten Parameter CSB nahezu voll ausgelastet. Mit einer Ausbaugröße von 64.000 EW, ergibt sich bezogen auf die Phosphorfracht eine mittlere Auslastung von 68 %. Bei Betrachtung der Ammoniumfrachten ist jedoch eine Auslastung von 111 % festzustellen. Diese Überbelastung zeigt sich auch bei den  $N_{\text{ges}}$ -Ablaufkonzentrationen und resultiert in punktuellen Überschreitungen des Überwachungswertes. Insgesamt ist die Reinigungsleistung der KA Niederkassel jedoch als gut zu bewerten. Bis auf wenige Ausnahmen werden die Überwachungswerte sicher eingehalten.

Generell ist es für den Betrieb einer vierten Reinigungsstufe wünschenswert, dass die Stoffkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung möglichst gering sind. Flockenabtrieb aus der Nachklärung und hohe CSB-(bzw. BSB<sub>5</sub>-)Konzentrationen sind für alle in Frage kommenden Verfahren von Nachteil (vgl. Kapitel 4). Ebenso sind hohe Nitrit-Ablaufkonzentrationen für den Einsatz von Behandlungsverfahren mit Ozon zu vermeiden. Nitrit verursacht eine hohe Ozonzehrung, was sich negativ auf die Betriebskosten auswirkt.

Bei störungsfreiem Betrieb erreicht die CSB-Konzentration nie mehr als 42 mg/l, im Mittel liegt sie bei 30,4 mg/l. Die Reinigungsleistung ist damit als gut einzustufen. Da die NO<sub>2</sub>-N-Konzentrationen schwanken und teilweise stark ansteigen können, ist es wichtig, die Phasen mit erhöhtem Nitritgehalt im Abwasser bei der Auslegung der vierten Reinigungsstufe (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Ozon) zu berücksichtigen.

## **5.5 Untersuchung des Vorfluters**

Für die Untersuchung des Vorfluters wird im Rahmen dieser Studie sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitungsstelle ein Mikroschadstoff-Screening durchgeführt. Vorherige Untersuchungen liegen nicht vor.

### **5.5.1 Erweitertes Screening des Vorfluters**

Auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, vom 20.10.2015 mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016 (35), ist für den Vorfluter, den Zulauf der Biologie und Ablauf der Nachklärung zunächst ein Messprogramm festgelegt worden, welches in Tabelle 5-2 dargestellt ist. Die Durchführung der Analytik übernimmt die OWL Umweltanalytik GmbH. Für den Vorfluter ist ein erweitertes Screening mit jeweils zwei Untersuchungen bei Trocken- und Regenwetter je Messstelle vorgesehen, wobei die Proben als qualifizierte Stichprobe zu ziehen sind. Die Messstellen liegen sowohl ober- als auch unterhalb der Einleitstelle.

Analyseanzahl je Messstelle:

Stoffgruppe	Parameter	Bestimmungsgrenze [µg/l]	Gewässer vor Kläranlage		Gewässer nach Kläranlage		Zulauf Biologie		Ablauf NKB	
			TW*	RW*	TW*	RW*	TW*	RW*	TW*	RW*
Arzneimittelwirkstoffe und Metabolite	Carbamazepin	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Clarithromycin	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Diclofenac	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ibuprofen	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
	Metoprolol	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Sulfamethoxazol	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Valsartan	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Losartan	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Candesartan	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Gabapentin	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ciprofloxacin	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
Guanylharstoff	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2	
Östrogene	Östrogene Aktivität / Estradiol Äquivalente	0,0001	2	2	2	2	2	2	2	2
Pestizide	Terbutryn	0,02	2	2	2	2	2	2	2	2
	Mecoprop P	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Isoproturon	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Flufenacet	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
	Tebuconazol	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Propiconazol	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
Korrosionsschutz	1H-Benzotriazol	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
Moschusduftstoffe	Galaxolid	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Perfluoroctansäure (PFOA)	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
	Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
	H 4-Perfluoroctansulfonsäure (H4- PFOS)	0,01	2	2	2	2	2	2	2	2
Süßstoffe	Acesulfam K	0,03	2	2	2	2	2	2	2	2
sonstige	Bromid	30	2	2	2	2	2	2	2	2
	pH-Wert		2	2	2	2	2	2	2	2
	Leitfähigkeit		2	2	2	2	2	2	2	2
	DOC	1000	2	2	2	2	2	2	2	2
	AFS	1000	2	2	2	2	2	2	2	2
	Nitrit	20	2	2	2	2	2	2	2	2

\*TW: Trockenwetter, RW: Regenwetter

**Tabelle 5-2: Mikroschadstoff-Screening im Rahmen dieser Studie**

Die Probenahmen zum erweiterten Screening des Vorfluters sind jeweils im Spätherbst am 03.12.2019 und 12.12.2019 sowie gegen Mitte des darauffolgenden Jahres am 04.06.2020 und 10.06.2020 erfolgt, sodass unterschiedliche Jahreszeiten bei Regen- und Trockenwetter abgebildet werden können.

Aufgrund der besseren Übersichtlichkeit sind in Tabelle 5-3 lediglich die Mittelwerte der Messergebnisse dargestellt. Eine vollständige Zusammenstellung der Ergebnisse ist dem Anhang 8.1.2 zu entnehmen. Bei Unterschreitung der Bestimmungsgrenze der einzelnen Stoffparameter, wird die jeweilige Bestimmungsgrenze für die weitere Auswertung angesetzt. Die Zunahme der jeweiligen Stoffkonzentration bezieht sich auf die Konzentration oberhalb der Einleitungsstelle in den Rhein und setzt sich aus den Mittelwerten der Stoffkonzentrationen zusammen. Als Referenz zur ersten Einordnung der Ergebnisse sind, soweit vorhanden, gesetzliche oder angestrebte Präventiv- und Orientierungswerte eingetragen, welche der Anlage D4 im „Monitoringleitfaden – Oberflächengewässer“ (36) entnommen werden können. Die kompletten Analyseberichte sind dem Anhang 8.1.1 beigelegt.

			Oberhalb Einleitung Mittelwert <sup>1</sup>	Unterhalb Einleitung Mittelwert <sup>1</sup>	Zunahme Mittelwert <sup>2</sup>	OW bzw. JMW <sup>3</sup>
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin	µg/l	0,0455	0,0415	-9%	0,5
	Clarithromycin	µg/l	0,02	0,02	0%	0,1
	Diclofenac	µg/l	0,0848	0,0853	1%	0,05
	Ibuprofen	µg/l	0,0198	0,014	-29%	0,01
	Metoprolol	µg/l	0,055	0,055	0%	7,3
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,039	0,0383	-2%	0,6
	Valsartan	µg/l	0,175	0,1875	7%	0,1
	Losartan	µg/l	0,0258	0,0265	3%	0,1
	Candesartan	µg/l	0,23	0,2175	-5%	0,1
	Gabapentin	µg/l	0,32	0,3025	-5%	0,1
	Ciprofloxacin	µg/l	0,0175	0,0175	0%	0,1
Östrogene	Guanylharnstoff	µg/l	0,545	0,480	-12%	
	A-YES	ng EEQ/l	0,0825	0,061	-26%	
Pestizide	Terbutryn	µg/l	0,02	0,02	0%	0,065
	Mecoprop	µg/l	0,0358	0,035	-2%	0,1
	Isoproturon	µg/l	0,025	0,025	0%	0,3
	Flufenacet	µg/l	0,015	0,015	0%	0,04
	Tebuconazol	µg/l	0,025	0,025	0%	1
	Propiconazol	µg/l	0,0443	0,0393	-11%	1
Korrosionsschutz	1h-Benzotriazol	µg/l	0,625	0,6275	0%	10
Moschusduftstoffe	Galaxolide (HHCB)	ng/l	63,75	58,75	-8%	
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der			0,1
	Summe PFT NRW-Liste	µg/l	Bestimmungsgrenze			0,1
Süßstoffe	Acesulfam	µg/l	0,125	0,1575	26%	0,1
Sonstige	Bromid (Br)	mg/l	0,0625	0,065	4%	
	PH-Wert		7,9125	7,87	-1%	
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	425,50	462,5	9%	
	DOC	mg/l	2,60	2,75	6%	
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l	57	15,75	-72%	
	Nitrit	mg/l	0,0803	0,0898	12%	
<sup>1</sup> Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen						
<sup>2</sup> Der angegebene Mittelwert der Zunahme setzt sich aus den Mittelwerten der Stoffkonzentrationen zusammen						
<sup>3</sup> Orientierungswerte (OW) bzw. Jahresmittelwerte (JMW)						
						Referenzwert unterschritten
						Referenzwert überschritten

**Tabelle 5-3: Screening-Ergebnisse für den Vorfluter Rhein**

Auffällig ist, dass eine mittlere Zunahme unterhalb der Einleitungsstelle lediglich für die Arzneimittelrückstände Diclofenac (1 %), Valsartan (7 %) und Losartan (3 %), das Korrosionsschutzmittel 1h-Benzotriazol (2 %) sowie hauptsächlich für den Süßstoff Acesulfam mit 26 % Zunahme beobachtet werden kann. Für den Großteil der untersuchten Stoffkonzentrationen ist im Mittel sogar eine Abnahme (negative Zunahme) festzustellen. Bei Betrachtung der einzelnen Probedurchgänge (vgl. Anhang 8.1.2) treten eine maximale Zunahme von 57 % für den Parameter Acesulfam (Probenahme am 10.06.2020, Trockenwettertag) und eine maximale Abnahme von 53 % für den Parameter Ibuprofen (Probenahme am 12.12.2019, Regenwettertag) auf. Wahrscheinlichste Ursache für die gemessenen Konzentrationsabnahmen sind Messungenauigkeiten und statistische Fehler aufgrund der geringen Datendichte.

Überschreitungen der Referenzwerte zeigen sich abgesehen vom Süßstoff Acesulfam ausschließlich bei den Arzneimittelrückständen Diclofenac, Ibuprofen, Valsartan, Candesartan und Gabapentin. Die Konzentrationsüberschreitungen, in Bezug auf die Konzentration unterhalb der Einleitungsstelle, liegen zwischen



dem Faktor 1,4 (Ibuprofen) und ca. 3 (Gabapentin). Die hohe Belastung des Rheins bezüglich dieser Stoffe zeigt sich jedoch schon oberhalb der Einleitung, weshalb hier kein signifikanter Einfluss der Kläranlage Niederkassel zu erkennen ist. Anhand der Messwerte und angesichts des Verhältnisses von Einleitungsmenge und niedrigen Mittelwasserabfluss des Rheins von unter 0,01 % (vgl. Kapitel 3.3.2) ist die zusätzliche Gewässerbelastung der Kläranlage Niederkassel als verhältnismäßig gering einzustufen. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hier nur um Stichproben handelt und auf dieser Basis keine abschließende Bewertung erfolgen kann.

## **5.6 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs**

Für die Untersuchung werden im Rahmen dieser Studie sowohl im Zulauf der Belebung als auch im Ablauf der Kläranlage Messungen durchgeführt. Dazu erfolgt zunächst ein erweitertes Screening auf festgelegte Stoffparameter. Auf Grundlage der Ergebnisse ist anschließend ein reduziertes Monitoring zur Datenverdichtung vorgesehen. Vorherige Untersuchungen stehen nicht zur Verfügung.

### **5.6.1 Erweitertes Screening des Kläranlagenablaufs und -zulaufs**

Auf Grundlage der Broschüre „Mikroschadstoffentfernung machbar?“, veröffentlicht vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW, wird zunächst ein erweitertes Screening mit den in Tabelle 5-2 aufgeführten Stoffparametern analog zur Untersuchung des Vorfluters durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen des Screenings ist nachfolgend ein Monitoring-Programm mit reduziertem Parameterumfang zur Datenverdichtung vorgesehen. Die Untersuchung erfolgt anhand von 24-Stunden-Mischproben jeweils für zwei Trocken- und Regenwettertagen.

Die Probenahmen für das Screening sind jeweils am 03.12.2019, 11.12.2019 bzw. 12.12.2019, 04.06.2020 und 09.06.2020 durch die OWL Umweltanalytik GmbH erfolgt. Die vollständigen Analyseberichte sind dem Anhang 8.2.1 beigelegt. Aus dem Vergleich der Messungen im Zu- und Ablauf können die Eliminationsraten für verschiedene Mikroschadstoffe berechnet werden. Diese Eliminationsraten entsprechen der Verringerung der Mikroschadstoffkonzentrationen während der Behandlung in der Kläranlage. Sie entstehen jedoch teilweise nur in einem sehr geringen Umfang durch den Abbau der Mikroschadstoffe; vielmehr werden sie in einigen Fällen durch eine Adsorption der Mikroschadstoffe an den Klärschlamm verursacht.

Die nachfolgende Tabelle 5-4 zeigt eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse, wobei die Einzelmessungen zu Mittelwerten, aufgrund der besseren Übersichtlichkeit, zusammengefasst sind. Für die Auswertung bleibt die Probenahme vom 11.12.2019 bzw. 12.12.2019 unberücksichtigt. Grund dafür ist der zeitliche Abstand zwischen der Beprobung im Zulauf der Belebung und im Ablauf der Nachklärung von 16 Stunden sowie die Tatsache, dass die Messung in der Belebung bei starkem Dauerregen durchgeführt wurde, während bei der Analyse der Nachklärung ein Witterungswechsel stattgefunden hat. Dies führt zu erheblichen negativen Eliminationsleistungen aufgrund der ungleichen Bedingungen und würde das Gesamtergebnis verfälschen. Die komplette Zusammenstellung der Ergebnisse können Anhang 8.2.2 entnommen werden.

			Zulauf Belebung Mittelwert <sup>1</sup>	Ablauf Kläranlage Mittelwert <sup>1</sup>	mittlere Eliminations- leistung <sup>2</sup>
<b>Arzneimittel-Rückstände</b>	Carbamazepin	µg/l	1,987	0,990	50%
	Clarithromycin	µg/l	0,237	0,133	44%
	Diclofenac	µg/l	5,3	5,367	-1%
	Ibuprofen	µg/l	23,5	0,01	100%
	Metoprolol	µg/l	3,067	2,567	16%
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,707	0,293	58%
	Valsartan	µg/l	13,833	5,800	58%
	Losartan	µg/l	1,01	0,227	78%
	Candesartan	µg/l	7,167	5,800	19%
	Gabapentin	µg/l	17	2,7	84%
	Ciprofloxacin	µg/l	0,074	0,028	62%
	Guanylharnstoff	µg/l	0,27	4,433	-1542%
<b>Östrogene</b>	A-YES	ng EEQ/l	64	0,395	99%
<b>Pestizide</b>	Terbutryn	µg/l	0,089	0,066	26%
	Mecoprop	µg/l	0,085	0,091	-8%
	Isoproturon	µg/l	0,028	0,027	4%
	Flufenacet	µg/l	0,017	0,013	23%
	Tebuconazol	µg/l	0,022	0,029	-30%
	Propiconazol	µg/l	0,028	0,032	-16%
<b>Korrosionsschutz</b>	1h-Benzotriazol	µg/l	17	6,667	61%
<b>Moschusduftstoffe</b>	Galaxolide (HHCB)	ng/l	9430	2061,667	78%
<b>Per- und polyfluorierte Chemikalien</b>	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze		
	Summe PFT NRW-Liste	µg/l			
<b>Süßstoffe</b>	Acesulfam	µg/l	38,333	0,253	99%
<b>Sonstige</b>	Bromid (Br)	mg/l	0,2	0,06	70%
	PH-Wert		7,545	7,085	6%
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	1110,5	800	28%
	DOC	mg/l	110,333	9,433	91%
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l	310	5	98%
	Nitrit	mg/l	0,026	0,335	-1214%
<sup>1</sup> Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen					
<sup>2</sup> Die angegebene Eliminationsleistung setzt sich aus den Mittelwerten der Stoffkonzentrationen zusammen ohne Berücksichtigung der Probenahme vom 11.12.2019 / 12.12.2019					

**Tabelle 5-4: Screening-Ergebnisse für Zulauf Belebung und Ablauf Nachklärbecken**

Sowohl Zu- als auch Abnahmen der Stoffkonzentrationen können im Ablauf festgestellt werden. Hervorzuheben ist die fast vollständige Elimination von Ibuprofen sowie hohe Reduktionen des Süßstoffes Acesulfam (99 %) und der östrogenen Aktivität (A-YES, 99 %). Weiterhin zeigen sich gute mittlere Eliminationsleistungen für die Arzneimittelrückstände Gabapentin (84 %) und Losartan (78 %) sowie für die Moschusduftstoffe (Galaxolide, 78 %).

Negative mittlere Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Guanylharnstoff (-1.542 %), Mecoprop (-8 %), Tebuconazol (-30 %), Propiconazol (-16 %) und in geringem Maße bei Diclofenac (-1 %). Bei Guanylharnstoff handelt es sich um ein Abbauprodukt vom Arzneimittel Metformin. Die hohen Konzentrationszunahmen zeugen demnach von einem effektiven Abbau von Metformin, was anhand der einzelnen Analyseberichte der OWL Umweltanalytik GmbH bestätigt werden kann. Andere Konzentra-

tionsanstiege können beispielsweise mit einer möglichen Desorption von Substanzen, welche an Feststoffen angelagert waren, begründet werden. Ein weiterer möglicher Grund dafür ist, dass das Rohabwasser wegen der hohen Schmutzkonzentrationen wesentlich schwieriger zu analysieren ist, was durch Matrixeffekte gegebenenfalls zu Ungenauigkeiten in den Analyseergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei den ausgewerteten Messungen um 24-Stunden-Mischproben handelt und dass daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

Des Weiteren bleibt festzuhalten, dass bei den Parametern Bromid und AFS vergleichsweise günstige Werte für eine etwaige vierte Reinigungsstufe erzielt werden. Insbesondere die Bromid-Konzentration ist relevant für eine Variante mit Ozonung, hinsichtlich einer erhöhten Bromatbildung. Nach der Auslegungsempfehlung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (26) kann bei einer Bromidkonzentration unterhalb von 0,1 mg/l eine Dosierrate bis 0,7 mg Ozon/mg DOC ohne Bedenken gewählt werden. Auch die geringe AFS-Konzentration von 5 mg/l wirkt sich günstig für eine vierte Reinigungsstufe aus und führt beispielsweise zu längeren Filterstandzeiten bei einer GAK-Filtration.

Für das anschließende reduzierte Monitoring zur weiteren Datenverdichtung empfiehlt das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW neben den im Leitfaden „Mikroschadstoffentfernung machbar?“ genannten Indikatorsubstanzen, weitere im Screening auffällig gewordene Stoffe zu untersuchen. Zur Auswahl der zusätzlichen standortrelevanten Stoffparameter werden in Tabelle 5-5 die gemessenen mittleren Konzentrationen im Ablauf der Nachklärung den bereits erwähnten angestrebten Grenz- und Orientierungswerten (36) gegenübergestellt. Die empfohlenen Indikatorsubstanzen des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW sind fett markiert.

			Ablauf Kläranlage Mittelwert <sup>1</sup>	OW bzw. JMW <sup>2</sup>	Über- bzw. Unterschreitung OW / JMW
<b>Arzneimittel-Rückstände</b>	<b>Carbamazepin</b>	µg/l	0,990	0,5	98%
	Clarithromycin	µg/l	0,133	0,1	33%
	<b>Diclofenac</b>	µg/l	5,367	0,05	10633%
	Ibuprofen	µg/l	0,01	0,01	0%
	<b>Metoprolol</b>	µg/l	2,567	7,3	-65%
	<b>Sulfamethoxazol</b>	µg/l	0,293	0,6	-51%
	Valsartan	µg/l	5,8	0,1	5700%
	Losartan	µg/l	0,227	0,1	127%
	Candesartan	µg/l	5,8	0,1	5700%
	Gabapentin	µg/l	2,7	0,1	2600%
Ciprofloxacin	µg/l	0,028	0,1	-72%	
<b>Pestizide</b>	<b>Terbutryn</b>	µg/l	0,066	0,065	1%
	Mecoprop	µg/l	0,091	0,1	-9%
	Isoproturon	µg/l	0,021	0,3	-93%
	Flufenacet	µg/l	0,013	0,04	-67%
	Tebuconazol	µg/l	0,029	1	-97%
	Propiconazol	µg/l	0,031	1	-97%
<b>Korrosionsschutz</b>	<b>1h-Benzotriazol</b>	µg/l	6,667	10	-33%
<b>Per- und polyfluorierte Chemikalien</b>	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	< BG	0,1	-100%
	Summe PFT NRW-Liste	µg/l		0,1	-100%
<b>Süßstoffe</b>	Acesulfam	µg/l	0,253	0,1	153%
<sup>1</sup> Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen					
<sup>2</sup> Orientierungswerte (OW) bzw. Jahresmittelwerte (JMW)					
ohne Berücksichtigung der Probenahme vom 11.12.2019 / 12.12.2019					
		Referenzwert unterschritten			
		Referenzwert überschritten			

**Tabelle 5-5: Vergleich der Kläranlagenablaufwerte mit Orientierungswerten**

Es treten sowohl Über- als auch Unterschreitungen der Orientierungswerte auf. Insbesondere für den Großteil der Arzneimittelrückstände können die angestrebten Werte nicht eingehalten werden. Auffällig hohe Überschreitungen der Orientierungswerte sind neben der Indikatorsubstanz Diclofenac (10.633 %) vor allem bei Valsartan (5.700 %), Candesartan (5.700 %) und Gabapentin (2.600 %) zu beobachten. Aufgrund dieser Auffälligkeit wird es als sinnvoll erachtet, die drei letztgenannten Stoffparameter im nachfolgenden reduzierten Monitoring weiter zu untersuchen.

#### 5.6.2 Reduziertes Monitoring des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

Das festgelegte Messprogramm zum Monitoring ist in Abbildung 5-9 dargestellt. Die Untersuchung erfolgt anhand von 24-Stunden-Mischproben bei Trockenwetter.

**Analyseanzahl je Messstelle:**

Stoffgruppe	Parameter	Zulauf Biologie	Ablauf NKB
Arzneimittel-wirkstoffe	Carbamazepin	5	5
	Clarithromycin	5	5
	Diclofenac	5	5
	Metoprolol	5	5
	Sulfamethoxazol	5	5
Pestizide	Terbutryn	5	5
Korrosionsschutz	1H-Benzotriazol	5	5
auffällige Substanzen	Gabapentin	5	5
	Candesartan	5	5
	Valsartan	5	5
sonstige	Bromid	-	5

**Abbildung 5-9: Messprogramm zum reduzierten Monitoring bei Trockenwetter**

Die Probenahmen für das reduzierte Monitoring sind zwischen dem 19.08.2020 und 07.09.2020 durch die OWL Umweltanalytik GmbH erfolgt. Die einzelnen Analyseberichte sind in Anhang 8.2.3 enthalten.

Die nachfolgende Tabelle 5-4 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse, wobei die Einzelmessungen zu Mittelwerten, aufgrund der besseren Übersichtlichkeit, zusammengefasst sind. Weiterhin sind die Eliminationsleistungen angegeben. Bei Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze wird, wie bereits im Screening, die Bestimmungsgrenze angenommen. Für den Parameter Bromid musste die Bestimmungsgrenze jedoch an drei Tagen erhöht werden, ohne dass der Stoff nachgewiesen werden konnte. In diesem Fall bleibt die Messung unberücksichtigt. Die komplette Zusammenstellung mit allen Einzeluntersuchungen kann Anhang 8.2.4 entnommen werden.

Gegenüber den Ergebnissen des Screenings (vgl. Kapitel 5.6.1) zeigt die Auswertung, dass deutlich niedrigere Konzentrationen von Carbamazepin im Zulauf der Belebung festzustellen sind. Die Ablaufkonzentration ändert sich im Vergleich zum Screening jedoch kaum, was letztlich zu einer Konzentrationszunahme von 16 % führt. Die beobachtete Eliminationsleistung von 50 % im Screening wird demnach deutlich unterschritten. Beim Stoffparameter Valsartan zeigt sich hingegen eine verbesserte Eliminationsleistung. Diese steigt im Vergleich zur vorherigen Untersuchung von 58 % auf 94 %. Für das Herbizid Terbutryn können ähnliche Ergebnisse beobachtet werden. Auch hier ist eine Steigerung der Eliminationsleistung von 26 % auf 72 % zu verzeichnen. Die Messungen der restlichen Stoffe weichen nicht wesentlich von den Ergebnissen der vorherigen Untersuchung ab. Insgesamt zeigt die Auswertung, dass im Vergleich zum Screening, Abweichungen sowohl in den Zu- und Ablaufkonzentrationen als auch bei der Elimination der einzelnen Stoffparameter auftreten. Wie bereits in Kapitel 5.6.1 erläutert, können unter anderem Messungenauigkeiten, Sorptionsprozesse oder unbeständige Abwassermatrizen der Grund dafür sein.

			Zulauf Belebung Mittelwert <sup>1</sup>	Ablauf Kläranlage Mittelwert <sup>1</sup>	mittlere Eliminations- leistung <sup>2</sup>
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>	Carbamazepin	µg/l	0,86	0,994	-16%
	Clarithromycin	µg/l	0,082	0,044	46%
	Diclofenac	µg/l	5,98	4,3	28%
	Metoprolol	µg/l	3,5	2,28	35%
	Sulfamethoxazol	µg/l	1,046	0,472	55%
	Gabapentin	µg/l	22,4	1,44	94%
	Candesartan	µg/l	8,3	5,58	33%
	Valsartan	µg/l	18,8	0,584	97%
<b>Pestizide</b>	Terbutryn	µg/l	0,186	0,0528	72%
<b>Korrosionsschutz</b>	Benzotriazol	µg/l	17,6	8,04	54%
<b>Sonstige</b>	Bromid (Br)	mg/l	-	0,072	-

<sup>1</sup> Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen (gilt nicht für Messungen bei denen die Bestimmungsgrenze aufgrund von Probenverdünnung erhöht werden musste)

<sup>2</sup> Die angegebene Eliminationsleistung setzt sich aus den Mittelwerten der Stoffkonzentrationen zusammen

**Tabelle 5-6: Ergebnisse des Monitorings für Zulauf Belebung und Ablauf Nachklärung**

Nachfolgende Tabelle 5-7 zeigt den Vergleich der gesetzlichen bzw. vorgeschlagenen Präventiv- und Orientierungswerte mit den gemessenen Ablaufwerten. Zusätzlich werden Vergleichswerte anderer Kläranlagen angegeben, die sich aus internen Erfahrungswerten des Ingenieurbüros ATEMIS GmbH sowie einer statistischen Auswertung der OWL Umweltanalytics GmbH ergeben (siehe Anhang 8.2.5).

			Ablauf Kläranlage Mittelwert <sup>1</sup>	Referenz <sup>2</sup>		OW / JMW <sup>3</sup>	Über- bzw. Unterschrei- tung OW / JMW
				Ablauf Mittelwert	Ablauf Maximalwert		
<b>Arzneimittel- Rückstände</b>	Carbamazepin	µg/l	0,994	0,793	5	0,5	99%
	Clarithromycin	µg/l	0,044	0,32	3	0,1	-56%
	Diclofenac	µg/l	4,3	2,08	6,8	0,05	8500%
	Metoprolol	µg/l	2,28	2,052	12	7,3	-69%
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,472	0,449	9,1	0,6	-21%
	Gabapentin	µg/l	1,44	3,28	15	0,1	1340%
	Candesartan	µg/l	5,58	2,739	7,7	0,1	5480%
	Valsartan	µg/l	0,584	3,594	50	0,1	484%
<b>Pestizide</b>	Terbutryn	µg/l	0,0528	0,089	0,79	0,065	-19%
<b>Korrosionsschutz</b>	Benzotriazol	µg/l	8,04	19	10	10	-20%
<b>Sonstige</b>	Bromid (Br)	mg/l	0,072	-	-	-	-

<sup>1</sup> Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen (gilt nicht für Messungen an denen die Bestimmungsgrenze aufgrund von Probenverdünnung erhöht werden musste)

<sup>2</sup> Vergleichswerte anderer Kläranlagen (Erfahrungswerte ATEMIS und statistische Auswertung OWL Umweltanalytics GmbH)

<sup>3</sup> Orientierungswerte (OW) bzw. Jahresmittelwerte (JMW)

	Referenzwert unterschritten
	Referenzwert überschritten

**Tabelle 5-7: Vergleich der Kläranlagenablaufwerte mit Referenzwerten**

Die Ablaufwerte sind vergleichbar mit den Screening-Ergebnissen aus Kapitel 5.6.1. Hohe Überschreitungen der angestrebten Orientierungswerte sind erneut neben Diclofenac (8.500 %), bei den bereits auffällig gewordenen Arzneimittel-Substanzen Candesartan (5.480 %), Gabapentin (1.340 %) und Valsartan (484 %) zu beobachten. Durch die im Monitoring festgestellte hohe Eliminationsleistung von Valsartan, ergibt sich hier jedoch eine deutlich geringere Überschreitung als in der vorangegangenen Untersuchung.

Beim Vergleich der Ergebnisse mit den Ablaufwerten anderer Kläranlagen können einige Überschreitungen der Referenzwerte festgestellt werden. Dies gilt für die Substanzen Carbamazepin, Metoprolol, Sulfamethoxazol und vor allem für Diclofenac und Candesartan, deren Konzentrationen den Mittelwert der Referenzanlagen um mehr als das Doppelte übersteigt.

### 5.7 Eignung verschiedener Behandlungsverfahren zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

In Tabelle 5-8 werden die möglichen Behandlungsverfahren für eine 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination der Indikatorsubstanzen aufgezeigt. Eine ausreichende Datengrundlage ist derzeit nur für die empfohlenen Leitparameter des Leitfadens „Mikroschadstoffentfernung machbar?“ (fett markiert) gegeben. Für Gabapentin, Valsartan und Candesartan sind die Eliminationsleistungen beim Einsatz von Aktivkohle noch nicht ausreichend untersucht, um eine zuverlässige Bewertung abzugeben. Das Merkblatt M-285-2 von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2: Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung“, welches sich zurzeit noch in der Entwurfsphase befindet, gibt jedoch eine Einschätzung zur allgemeinen Adsorbierbarkeit dieser Stoffe ab. Für die Substanzen Candesartan und Valsartan wird das Potenzial als mäßig eingestuft, während Gabapentin als kaum adsorbierbar eingeschätzt wird.

Bewertung der Eliminationsleistung						
	Ozon-Behandlung	PAK 4. RS, ohne Rezirkulation	PAK 4. RS, mit Rezirkulation	PAK Dosierung in Belebung	GAK	Kläranlage ohne vierte Reinigungsstufe
<b>Antibiotika</b>						
Clarithromycin	gut	gut	k.A.	gut	mäßig	schlecht
Sulfamethoxazol	gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht
<b>Betablocker</b>						
Metoprolol	mäßig	gut	gut	gut	gut	schlecht
<b>weitere Humanpharmaka</b>						
Diclofenac	gut	gut	gut	gut	mäßig	schlecht
Gabapentin	mäßig	k.A.	gut	k.A.	k.A.	k.A.
Carbamazepin	gut	gut	gut	gut	gut	schlecht
Valsartan	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Candesartan	gut	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht
<b>weitere Spurenstoffe</b>						
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/ hohe Wertschwankungen

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen sowie Literaturangaben ausgewertet (Quellen: (37), (38), (39), (40), (41), (42), (43), (44), (45), (46), (33), (47) Erfahrungswerte Ingenieurbüro ATEMIS)

**Tabelle 5-8: Bewertungsmatrix zur Mikroschadstoffelimination der Leitsubstanzen**

Hierbei ist zu beachten, dass die Eliminationsleistung der einzelnen Substanzen variiert und signifikant von der Verfahrensführung sowie den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst wird. Aus diesem Grund ist eine abschließende Bewertung der Verfahren diesbezüglich nicht möglich. Die Darstellung in Tabelle 5-8 gibt demnach nur eine erste Einschätzung der zu erwartenden Eliminationsleistung wieder.

Eine Ozonbehandlung lässt demnach bei Clarithromycin, Sulfamethoxazol, Diclofenac, Candesartan und Carbamazepin ein gutes Eliminationsergebnis erwarten. Mit Aktivkohle sind Clarithromycin, Diclofenac und Carbamazepin ebenso gut eliminierbar, während die Adsorption von Sulfamethoxazol mäßig ist. Weiterhin kann Metoprolol und Benzotriazol effektiv mit Aktivkohle entfernt werden, wohingegen bei einer Ozonbehandlung nur mäßige Eliminationsleistungen zu erwarten sind. Bezüglich der Stoffparameter Gabapentin und Candesartan kann lediglich auf eine Untersuchung des Kompetenzzentrums Spurenstoffe Baden-Württemberg von neun Kläranlagen verwiesen werden. Alle untersuchten Kläranlagen nutzen ein PAK-Verfahren mit Rezirkulation in die biologische Stufe. Dem Bericht zufolge können mit dieser Variante gute Eliminationsleistungen für Gabapentin erreicht werden (33), obwohl dieser Substanz eine schlechte Adsorbierbarkeit zugesprochen wird (47). Candesartan wird jedoch nur mäßig eliminiert (33). Für den Stoffparameter Valsartan sind derzeit lediglich für das Ozonverfahren ausreichend Erkenntnisse vorhanden. Die Eliminationsleistung wird, wie für die Substanz Gabapentin, als mäßig bewertet.

Weiterhin gehört Mikroplastik 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 einer Flockungsfiltration zurückgehalten wird. Sollte eine Mikroplastikelimination für den Standort von besonderer Relevanz sein, so müsste auch bei den Varianten, für die bisher keine Flockungsfiltration vorgesehen ist, der Einsatz einer Filtrationsanlage geprüft werden.

Insgesamt zeigt sich, dass keines der Verfahren alle Leitsubstanzen gleich gut entfernen kann. Die Eliminationsleistung für die bei der Untersuchung des Kläranlagenablaufs der KA Niederkassel besonders auffällig gewordenen Substanzen Diclofenac und Candesartan (vgl. Kapitel 5.6), ist bei der Verfahrenswahl jedoch zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass diese Stoffe kaum mit der konventionellen Abwasserreinigung entfernt werden können, wie die Untersuchungen in Kapitel 5.6 zeigen.

In Bezug auf die Elimination von Diclofenac sind sowohl eine Ozonbehandlung als auch einige Aktivkohleverfahren gut geeignet. Die Eliminationsleistung von Candesartan ist aktuell noch nicht vollumfänglich für alle Aktivkohleverfahren dokumentiert. Wie bereits erwähnt, ist nach (48) die allgemeine Adsorbierbarkeit mit Aktivkohle allerdings als mäßig einzuschätzen. Mit einer Ozonung können jedoch gute Eliminationsleistungen erwartet werden. Bezüglich der standortrelevanten Mikroschadstoffe ist die Ozonung gegenüber den Varianten mit Aktivkohle demnach leicht zu favorisieren.

Abschließend ist zu sagen, dass es sich bei den Analysen um Momentaufnahmen handelt, die keine sichere Prognose für die zukünftige Entwicklung zulassen. Zusätzlich ist vor dem Hintergrund, dass 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 auch immer die potenzielle Breitbandwirkung der Verfahren stehen.



## 6 Entwicklung von Verfahrenskonzepten für die KA Niederkassel

### 6.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Niederkassel haben gezeigt, dass anhand der enthaltenen Mikroschadstoffe kein eindeutiges Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Da auf der Kläranlage Niederkassel keine besonderen Rahmenbedingungen (z.B. Nutzung von Bestandsbauwerken) gelten, die bestimmte Verfahren begünstigen oder ausschließen würden, werden im folgenden Kapitel alle gängigen Methoden zur Mikroschadstoffelimination betrachtet (PAK, Ozon, GAK).

Negative Einflüsse auf den Hauptstrom der Kläranlage oder die Schlammbehandlung sind bei den o.g. Verfahren nicht zu erwarten. Ob das Entwässerungsergebnis oder die P-Rückgewinnung wesentlich beeinflusst werden, ist noch nicht abschließend geklärt. Beim Einsatz von Pulveraktivkohle ist jedoch der zusätzliche Schlammanfall zu beachten. Im Zuge der Planung ist demnach sicherzustellen, dass ausreichend Reserven im Bereich der Schlammbehandlung vorhanden sind. Ein positiver Nebeneffekt bei den PAK-Verfahren ergibt sich bei einer anschließenden Klärschlammverbrennung, da der Brennwert des Klärschlammes durch die enthaltene Aktivkohle erhöht wird.

Wie in Kap. 4.7 beschrieben, kommen für die Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen zurzeit nur die Implementierung von Aktivkohleverfahren oder eine Ozonbehandlung in Frage. Bei der Aktivkohle kann zwischen dem Einsatz von Pulveraktivkohle und dem Einsatz von granulierter Aktivkohle unterschieden werden. Die Pulveraktivkohle kann direkt in die Belebung (Simultanbehandlung), in den Flockungsraum eines Filters oder in ein separates Kontaktbecken dosiert werden.

Obwohl für eine Dosierung von PAK direkt in die Belebung bisher nur wenige Erfahrungen vorliegen und keine optimale Eliminationsleistung zu erwarten ist, wird diese Variante am Standort der Kläranlage Niederkassel untersucht, weil sie mit relativ wenig Aufwand bzw. wenig neuer Infrastruktur umgesetzt werden kann (Variante 1). Durch die Dosierung der Aktivkohle in die Belebung ergibt sich automatisch eine Vollstrombehandlung. Die drei Belebungsbecken haben in Summe ein Volumen von etwa  $V = 7.000 \text{ m}^3$ . Die Nachklärung, die für diese Variante als PAK-Entnahmestelle fungiert, besitzt ein Gesamtvolumen von ca.  $4.900 \text{ m}^3$ , welches auf vier Becken aufgeteilt ist. Bei Wahl dieser Variante wäre jedoch im Zuge der weiteren Planung eine detaillierte Überprüfung der Leistungsfähigkeit der Nachklärung nötig.

Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken, dabei kann die Aktivkohle zusätzlich auch rezirkuliert werden (vgl. Kap. 4.1.3.2), 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 aufwändiger als bei den anderen Verfahren.

Zusätzlich werden auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) und der Einsatz granulierter Aktivkohle (Variante 4) untersucht. Möglich ist auch ein kombiniertes Verfahren aus Ozonung und nachgeschalteter GAK-Filtration. Die GAK-Stufe dient dabei sowohl als zusätzliche Eliminationsstufe für Mik-

roschadstoffe als auch als Nachbehandlung für entstehende Transformationsprodukte infolge der Ozonung. Bei dieser Variante sind die besten Ergebnisse bezüglich der Elimination von Mikroschadstoffen zu erwarten, da die Potenziale beider Verfahren genutzt werden und eine bessere Breitbandwirkung gegeben ist (49). Weiterhin kann so die Elimination möglicher Transformationsprodukte verbessert werden (31). Im Hinblick auf eine möglichst weitgehende Entfernung der Mikroschadstoffe aus dem Wasserkreislauf, wäre ein solches Kombinationsverfahren sicherlich wünschenswert. Wegen der deutlich höheren Kosten im Vergleich zu anderen Varianten ist eine Verwirklichung auf Kläranlagen unterhalb der Größenklasse 5 allerdings in den meisten Fällen wirtschaftlich nicht vertretbar. Für Großkläranlagen sollte diese Option grundsätzlich genauer untersucht werden, auch vor dem Hintergrund, dass diese aufgrund der höheren Einleitungsmenge einen meist signifikant größeren Einfluss auf den Vorfluter haben. Eine Einzelfallbetrachtung wird dennoch empfohlen, da bei schwächeren Vorflutern auch verhältnismäßig geringe Einleitungsmengen erhebliche Beeinträchtigungen nach sich ziehen können. Wie die Auswertung in Kapitel 5.5.1 zeigt, ist der Einfluss der Kläranlage Niederkassel auf den Vorfluter Rhein gering. Ein kombiniertes Verfahren mit Ozonung und GAK-Filtration wird demnach nicht weiter untersucht.

Es ergeben sich damit vier Verfahrensmöglichkeiten zur Mikroschadstoffelimination, die grundsätzlich für den Standort Niederkassel geeignet sind und nachfolgend betrachtet 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

## **6.2 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“ werden verschiedene Aspekte und Empfehlungen genannt, die bei der Ermittlung der Bemessungswassermenge zu berücksichtigen sind (26). Diese werden im Folgenden behandelt.

Miteinbezogen werden muss die auf der jeweiligen Kläranlage anfallende Wassermenge und die Leistungstärke des Vorfluters, aber auch das Eintragspotenzial für unerwünschte Mikroschadstoffe durch den Ablauf der Kläranlage, z.B. durch eine überdurchschnittliche Anzahl an Krankenhäusern, Kliniken etc. im Einzugsgebiet oder durch Indirekteinleiter wie z.B. Schwerindustrie oder chemische Industrie. Des Weiteren ist auch die Art der Entwässerung des Einzugsgebietes (Misch- oder Trennkanalisation) relevant.

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

Wie in Kapitel 5.6 aufgeführt, können im Vorfluter einige Überschreitungen der gesetzlichen bzw. vorgeschlagenen Präventiv- und Orientierungswerte beobachtet werden. Nach Vergleich der Werte vor und nach der Einleitung, ist jedoch kein signifikanter Einfluss der Kläranlage Niederkassel festzustellen. Grund dafür ist der starke Vorfluter Rhein. Der Abwasseranteil der Kläranlage Niederkassel bezogen auf den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) des Rheins beträgt weniger als 0,01 %. Weiterhin ist festzuhalten, dass im Bereich der Einleitstelle das FFH-Gebiet DE-4405-301 „Rhein-Fischschutzzonen zwischen Emmerich und Bad Honnef“ liegt. Trinkwassergewinnungsgebiete werden hingegen nicht durchflossen (vgl. Kap. 3.3.2).

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das am Standort Niederkassel durchgeführte Screening auf ausgewählte Mikroschadstoffe zeigt einige Überschreitungen der Mittelwerte der gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen anderer Kläranlagen. Es sind momentan, aber auch in der absehbaren Zukunft, keine nennenswerten bzw. problematischen Mikroschadstofffrachten aus der Industrie zu erwarten, wohl aber erhöhte Mengen an Medikamentenrückständen aus den einleitenden Pflegeeinrichtungen und Arztpraxen.

Ein weiterer Aspekt den es zu berücksichtigen gilt, ist die Art der Entwässerung des Einzugsgebiets. Bei reinen Trennsystemen gilt eine Vollstrombehandlung als ratsam. Wie bereits in Kapitel 3.3.1 aufgeführt, werden die Abwässer zur Kläranlage Niederkassel hingegen im Mischsystem zugeleitet. Laut den Jahresberichten der Jahre 2018 und 2019 beträgt die mittlere Jahresschmutzwassermenge (JSM) dieser Jahre 1.618.621 m<sup>3</sup>/a (vgl. 6.2Tabelle 6-1), was etwa 70 % der Jahresabwassermenge ausmacht.

Unter Einbezug aller genannten Randbedingungen und insbesondere in Anbetracht des geringen Abwasseranteils der Kläranlage bezogen auf den mittleren Niedrigwasserabfluss des Rheins, wird eine Auslegung auf einen Teilstrom der Anlage empfohlen. Basierend auf der „Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination“ ist die Anlage demnach auf das Jahresmittel des maximal stündlichen Trockenwetterabflusses auszulegen. Weiterhin sind folgende Nachweise zu führen (26):

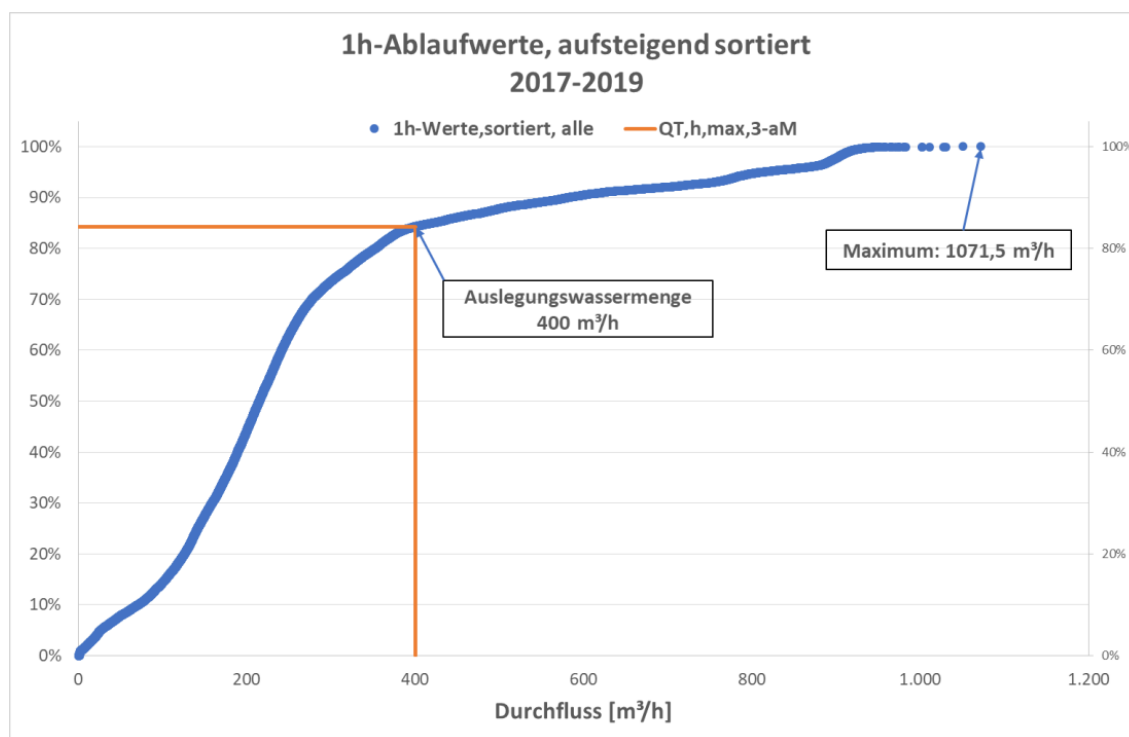
- Nachweis des Anteils der behandelbaren Wassermenge an JSM  $\geq 100$  %
- Nachweis des Anteils der behandelbaren Wassermenge an JAM  $\geq 70$  %

In der nachfolgenden Tabelle 6-1 sind alle relevanten Wassermengen für die Auslegung dargestellt. Im 3-Jahresmittel ergibt sich für die betrachteten Jahre 2017 bis 2019 ein maximaler stündlicher Trockenwetterabfluss von 395,3 m<sup>3</sup>/h. Für die Auslegung der vierten Reinigungsstufe wird der Wert auf 400 m<sup>3</sup>/h gerundet.

	Jahresabwasser- menge	Jahresschmutzwasser- menge	$Q_{T,h,max}$ im Jahresmittel
	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /h]
<b>2017</b>	2.403.739	-	387,8
<b>2018</b>	2.273.654	1.659.807	396,9
<b>2019</b>	2.386.993	1.577.434	401,2
<b>Mittelwert</b>	2.354.795	1.618.621	395,3

**Tabelle 6-1: Relevante Wassermengen zur Auslegung der vierten Reinigungsstufe**

In Abbildung 6-1 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist die Auslegungswassermenge von 400 m<sup>3</sup>/h (entspricht dem 84%-Perzentil) und der maximal gemessene Wert von 1.071,5 m<sup>3</sup>/h.



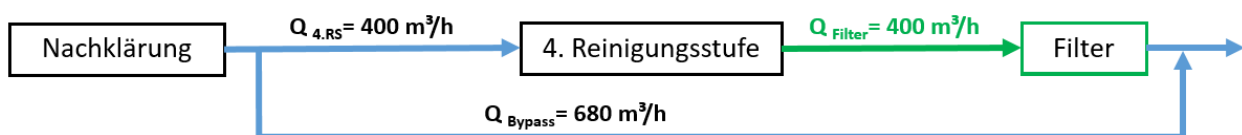
**Abbildung 6-1: Stundenwerte Ablaufmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter**

Im Falle der Überschreitung der Anlagenkapazität wird die Differenz der Wassermenge zum Auslegungswert mittels Bypass an der vierten Reinigungsstufe vorbeigeführt. Im Jahresmittel können so ca. 1.966.500 m<sup>3</sup>/a und damit etwa 83,5 % der Jahresabwassermenge behandelt werden (vgl. Tabelle 6-2). Der Anteil der behandelten Menge an der Jahresschmutzwassermenge beträgt 121,5 %. Die geforderten Nachweise werden somit erbracht. Unbehandelt bleiben ca. 388.300 m<sup>3</sup>/a oder etwa 16,5 % der Gesamtmenge. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 6-2 zusammengefasst.

	Einheit	Wert
Gesamtmenge	m <sup>3</sup> /a	2.354.841
Summe behandelt	m <sup>3</sup> /a	1.966.480
Anteil behandelt	%	83,5%
Anteil an JSM	%	121,5%
Summe unbehandelt	m <sup>3</sup> /a	388.361
Anteil unbehandelt	%	16,5%

**Tabelle 6-2: Behandelte und unbehandelte Abwassermengen pro Jahr**

Für die Verfahrensvarianten 2 bis 4 ergibt sich damit folgende vereinfachte Verfahrensführung (Abbildung 6-2):



**Abbildung 6-2: Verfahrensführung vierte Reinigungsstufe und Filtration. Grün: nur für Variante 2 und 3 vorgesehen**

Bei der Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) ist der gemessene Maximalwert von 1071,5 m<sup>3</sup>/h anzusetzen. Gerundet auf 1080 m<sup>3</sup>/h wird dieser Wert als Vollstrom angenommen.

### 6.3 Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe

Auf der Kläranlage Niederkassel stehen keine Bestandsbehälter oder Bauwerke zur Verfügung, die für die Errichtung einer vierten Reinigungsstufe genutzt werden können. Die derzeitigen Platzverhältnisse sind zudem ungenügend. Nördlich des Kläranlagengeländes steht jedoch eine mögliche Erweiterungsfläche zur Verfügung (Parzelle 127), welche in Abbildung 6-3 rot schraffiert dargestellt ist. Die zur Verfügung stehende Freifläche auf der Nord-Ost-Seite (blau schraffiert) kann ebenfalls genutzt werden.



**Abbildung 6-3: Erweiterungsgebiet (schraffierte Fläche) für die vierte Reinigungsstufe**

An dieser Stelle sei erwähnt, dass aufgrund der beengten Platzverhältnisse und der nicht gegebenen Zugänglichkeit, ein neues Zufahrtstor zur vierten Reinigungsstufe unerlässlich ist. Der Feldweg östlich der Kläranlage stellt dabei die einzige Zugangsmöglichkeit dar. Dieser muss für die Befahrung von Lastkraftwagen mit einem Gewicht von bis zu 40 t (PAK-Varianten) zugelassen sein und höchstwahrscheinlich ausgebaut werden.

Insgesamt sind die Standortbedingungen zur Errichtung einer vierten Reinigungsstufe vergleichsweise ungünstig.

#### **6.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte**

Für den Standort Niederkassel werden wie in Kapitel 6.1 vorgeschlagen, vier verschiedene Verfahrensvarianten genauer untersucht. Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebung, erfolgt automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Bei den Varianten 2 bis 4 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms.

Für die Varianten 2 bis 4 wird über die gewählte Bemessungswassermenge von 400 m<sup>3</sup>/h erreicht, dass etwa 83,5% der die gesamte Jahresabwassermenge 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 vierte Reinigungsstufe, bezogen auf die Summe der Indikatorsubstanzen) erreicht werden kann.

Nach Auslegung der einzelnen Verfahren (Kapitel 6.4.2 bis 6.4.5) erfolgt in Kapitel 6.4.6 die Dimensionierung der Filtrationsstufe.

#### 6.4.1 Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand

Für alle Varianten ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der Becken bzw. Filter erforderlich. Die Varianten 2 bis 4 erfordern eine Aufteilung des Abwassers, um die Zuleitung zur vierten Reinigungsstufe auf den Bemessungsabfluss zu begrenzen. Die Größe des Ablaufschachts lässt eine Aufstellung von Pumpen zur Weiterleitung der zu behandelnden Wassermengen nicht zu. Da laut dem hydraulischen Schnitt der Kläranlage aus dem Jahr 2012 (siehe Anhang 10.1) nur ein geringer Druckhöhenunterschied von 19 cm zwischen Ablaufschacht der Nachklärung und Abflussmengenmessung besteht, ist weiterhin anzunehmen, dass mit einem zusätzlichen Trennbauwerk die Ableitung des Abwassers über den Bypass nicht im Freigefälle erfolgen kann. Bei den Varianten 2-4 wird deshalb eine zusätzliche Überlaufschwelle im bestehenden Abwassersammelschacht vorgesehen. Kommt es zu Abflüssen über dem Bemessungsabfluss von 400 m<sup>3</sup>/h, werden darüber hinaus gehende Wassermengen direkt über die Schwelle zur Ablaufmengenmessung geleitet. Der Bemessungsabfluss wird in einen neu geplanten Schacht geleitet und von dort mit Tauchmotorpumpen auf die benötigte Wasserspiegelhöhe der vierten Reinigungsstufe angehoben. Die Ableitung des behandelten Abwassers zur Ablaufmengenmessung erfolgt wiederum im Freigefälle.

Mit dieser Variante könnte sowohl auf ein zusätzliches Trennbauwerk, als auch auf ein weiteres Pumpwerk für den Bypass verzichtet werden. Ob dieses Konzept umsetzbar ist, muss im Rahmen der weiteren Planung noch überprüft werden. Dazu ist die hydraulische Situation der Kläranlage im Detail zu untersuchen. Gegebenenfalls müssen größere bauliche Anpassungen am Ablaufschacht vorgenommen werden oder dieser komplett ersetzt werden. Dieser ggf. zusätzliche Aufwand wird in der folgenden Kostenschätzung in Kapitel 7 nicht berücksichtigt.

Um den baulichen Aufwand für die Anbindung so gering wie möglich zu halten, wird die vierte Reinigungsstufe zunächst in der Nähe vom neuen Zufahrtstor angeordnet. Entsprechend müssen jedoch längere Rohrleitungswege in Kauf genommen werden. Ob eine Anordnung in der Nähe der Nachklärung wirtschaftlicher ist, gilt es in der weiteren Planung zu untersuchen.

Der nachfolgende Lageplanausschnitt (siehe Abbildung 6-4) und der zugehörige hydraulische Schnitt (siehe Abbildung 6-5) zeigen die Anbindung der vierten Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel von Variante 3 (Ozonung).

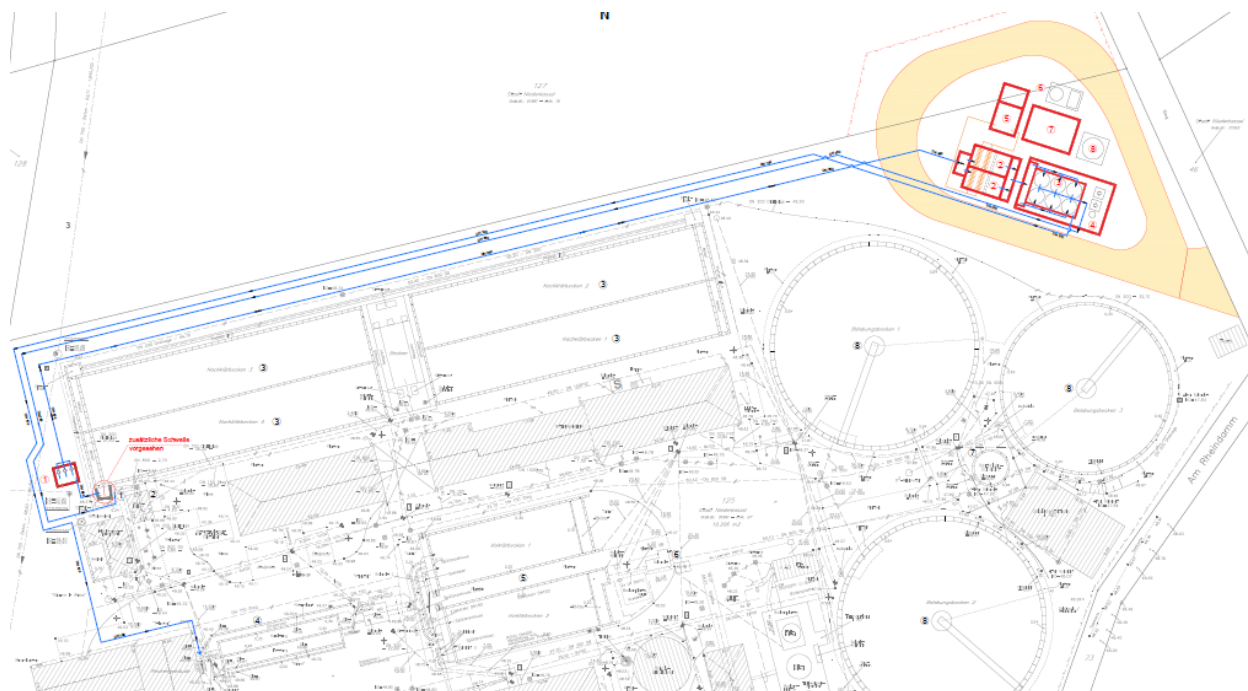


Abbildung 6-4: Anbindung der vierten Reinigungsstufe an den Bestand, am Beispiel der Ozonung (Variante 3)

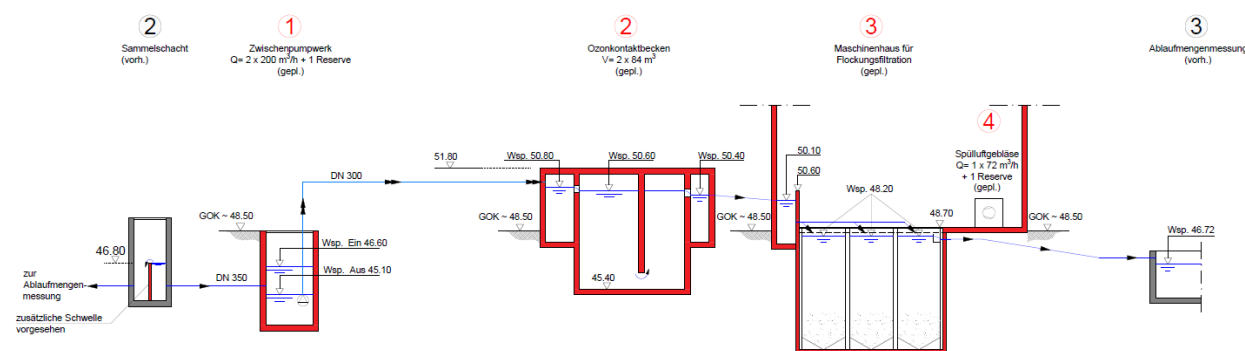


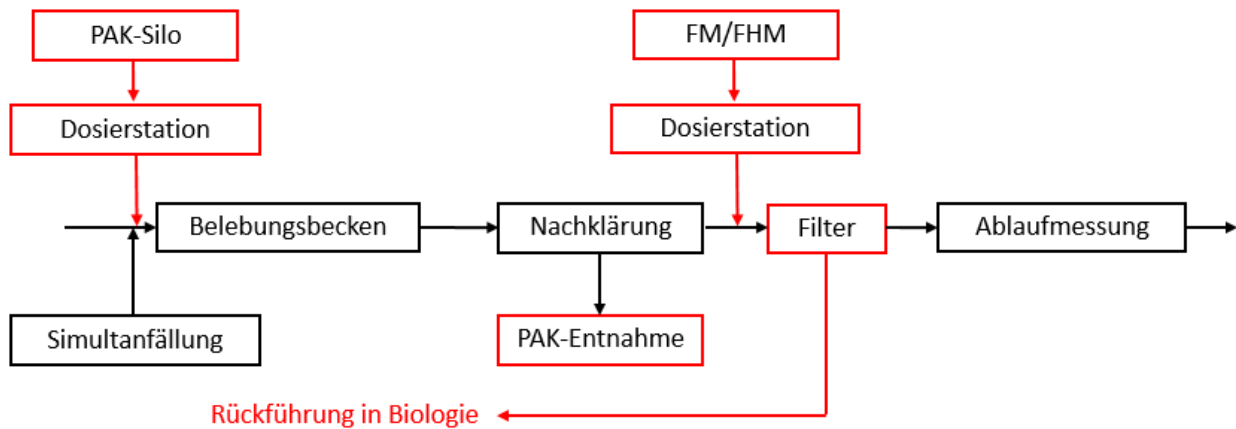
Abbildung 6-5: Hydraulischer Schnitt, am Beispiel der Ozonung (Variante 3)

#### 6.4.2 Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung

Bei einer Dosierung von Pulveraktivkohle direkt in die Belebung wird die vorhandene Belebung als Kontaktbecken für die PAK und die Nachklärung als Sedimentationsstufe für die PAK genutzt. Der biologische Teil der KA Niederkassel besteht aus mehreren Belebungsbecken unterschiedlicher Größe und kommt auf ein Gesamtvolumen von ca. 7.000 m<sup>3</sup>. Hier kann eine PAK-Dosierung erfolgen, wie die schematische Zeichnung der Verfahrensvariante in Abbildung 6-6 zeigt. Dazu empfiehlt sich, die PAK-Dosierung adaptiv bzw. zulaufmengenproportional auszurichten, womit der Aktivkohleverbrauch und somit die Jahreskosten gesenkt werden können.



Zur anschließenden Abtrennung der Rest-PAK ist eine Vollstromfiltration vorgesehen, wobei anfallendes Spülwasser zurück in die Biologie geleitet wird.



**Abbildung 6-6: Mögliche Verfahrensführung PAK-Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)**

Wie in Kapitel 4.1.3.1 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. Untersuchungen zeigen, dass bei Dosiermengen von 18 mg/l rund 80 % der Mikroschadstoffe eliminiert werden können (50; 51; 52). Welche Mengen für die Abwasserbehandlungsanlage letztlich nötig sind, um eine ausreichende Eliminationsleistung sicherzustellen, hängt wie bereits in Kapitel 4.1.3 erläutert, stark von der organischen Hintergrundbelastung ab. Für die Studie wird im Weiteren eine Dosierung von 20 mg/l angesetzt.

Vorteilhaft bei dieser Variante im Vergleich zu anderen Verfahren mit PAK (vgl. Variante 2, Kapitel 6.4.3), ist die Einsparung der Baukosten für Kontaktreaktor und Sedimentationsbecken. Dem gegenüber stehen jedoch die höheren Betriebskosten, aufgrund des Mehrbedarfs an PAK.

Zu beachten ist, dass die Leistungsfähigkeit der bestehenden Nachklärung, vor Umsetzung dieser Variante, detailliert überprüft werden muss.

#### Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK

Die benötigte PAK-Menge wird über die Jahresabwassermenge ( $Q_a$ ) abgeschätzt (siehe Tabelle 6-3). Wird angenommen, dass 1 kg PAK genau 1 kg TS entspricht, so ergibt sich eine zusätzliche Schlammmenge von über 47 t/a. In der weiteren Planung ist die bestehende Schlammbehandlung auf entsprechende Reserven zu untersuchen.

<b>PAK Dosierung</b>		
Jahresabwassermenge Qa	2.354.841	m <sup>3</sup> /a
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,02	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf PAK	47.097	kg/a
Tagesbedarf PAK	129,0	kg/d

**Tabelle 6-3: Jahresbedarf PAK, Variante 1**

Tabelle 6-4 zeigt die Empfehlung für die Größe des PAK-Silos. Es sollte mindestens eine LKW-Ladung (ca. 50 m<sup>3</sup>) aufgenommen werden können. Unter Einbezug der Lagerungsdichte wird eine ausreichende Reserve vorgesehen.

Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m <sup>3</sup>
Gewählte Silogröße PAK	80	m <sup>3</sup>
Nachfüllung PAK alle	10,2	Monate

**Tabelle 6-4: Auslegung PAK-Silo, Variante 1**

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

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

Bei dieser Verfahrensvariante ist ein nachgeschalteter Filter (im Anschluss an die Nachklärung) erforderlich, um suspendierte Pulveraktivkohle restlos abzuscheiden. Hierfür wird eine neu zu errichtende Flockungsfiltration benötigt, die in der Regel auch die Dosierung von Fällmittel erfordert. So wird neben einer effektiven PAK-Abscheidung auch eine höhere Eliminationsleistung in Bezug auf Phosphor gewährleistet. Gegebenenfalls kann die Dosierung von Flockungshilfsmitteln bei ungünstigen Betriebsbedingungen vorteilhaft sein, weswegen diese ebenfalls berücksichtigt wird. Zur abschließenden Festlegung des Einsatzes und der Dosiermenge sind Vorversuche mit dem realen Abwasser empfehlenswert.

Der zusätzliche Bedarf durch die PAK-Zugabe, jeweils an Fe bzw. Al aus dem verwendeten Fällmittel sowie der Bedarf an Flockungshilfsmittel wird in Tabelle 6-5 anhand von Erfahrungswerten und Empfehlungen der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall abgeschätzt (53; 54).

<b>Fällmitteldosierung</b>		
Dosiermenge Fe / Al aus FM	4	mg/l
	0,004	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf Fe / Al	9.419	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	67.281	kg/a
Dichte FM (FeCl <sub>3</sub> )	1.440	kg/m <sup>3</sup>
Gewählte Silogröße FM	30	m <sup>3</sup>
Nachfüllung FM-Silo alle	7,7	Monate

<b>Dosierung FHM</b>		
Dosiermenge FHM	0,3	mg/l
	0,0003	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf FHM	706,5	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m <sup>3</sup>
Gewähltes Lagergebäude FHM	1	m <sup>3</sup>
Wechsel des Gebindes	14,4	Monate

**Tabelle 6-5: Abgeschätzter Fällmittel- und Flockungshilfsmittelbedarf, Variante 1**

Der vorhandene Fällmittellagertank kann nicht für die vorgesehene Filtrationsstufe genutzt werden. Eine neue Dosierstation inkl. Lagertank ist daher zu berücksichtigen. Die Dosiermenge bei der bestehenden Simultanfällung muss gegebenenfalls an die veränderten Gegebenheiten angepasst werden.

#### Anordnung der PAK-Dosierung und Filtrationsstufe

Bei dieser Variante erfolgt eine Vollstrombehandlung bei der das gesamte Abwasser der Kläranlage mit einem Zwischenhebewerk auf die benötigte Wasserspiegelhöhe angehoben werden muss. Dazu werden vier regelbare Pumpen mit Frequenzumformer eingesetzt, wovon eine als Reserve eingeplant ist ( $Q = 3 \times 360 \text{ m}^3/\text{h} + \text{Reserve}$ ). Die Regelbarkeit der Pumpen ist essenziell, um auch geringe Abwasserströme außerhalb der Spitzenzeiten effektiv weiterleiten zu können.

Als möglicher Aufstellungsort des PAK-Silos wird die Grünfläche neben der Vorklärung gewählt. Von dort wird die PAK in den wenige Meter entfernten Zulaufschacht der Belebung zudosiert. Zur Abtrennung von Rest-PAK ist eine Flockungsfiltration (Tuchfilter) für den Vollstrom vorgesehen, die der Nachklärung nachgeschaltet ist (s. Kapitel 6.4.6). Dazu wird ein zusätzlicher Fällmittel-Mischreaktor eingeplant, um eine effektive PAK-Abscheidung zu gewährleisten und um gegebenenfalls auf schärfere Vorgaben bezüglich der Ablaufwerte von Phosphor reagieren zu können.

Wie bereits in Kapitel 6.3 erwähnt, ist aus Gründen der Zugänglichkeit und des Platzmangels, ein neues Zufahrtstor auf der östlichen Seite der Kläranlage einzuplanen. Bei der gewählten Anordnung des PAK-Silos neben der Vorklärung wird vorausgesetzt, dass die Anlieferung der Aktivkohle über die bestehenden

Zufahrtstore möglich ist, jedoch ist für einen Austausch von Filterscheiben der Filtrationsstufe und für Fällmittel-Lieferungen ein zusätzlicher Zugang unumgänglich. Um den baulichen Aufwand für die Anbindung so gering wie möglich zu halten, wird die Filtration zunächst in der Nähe vom neuen Zufahrtstor angeordnet. Entsprechend müssen jedoch längere Rohrleitungswege in Kauf genommen werden.

Die Pläne sind in Abbildung 6-7 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 6-8 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist als Anhang C (Kapitel 10.2) beigefügt.

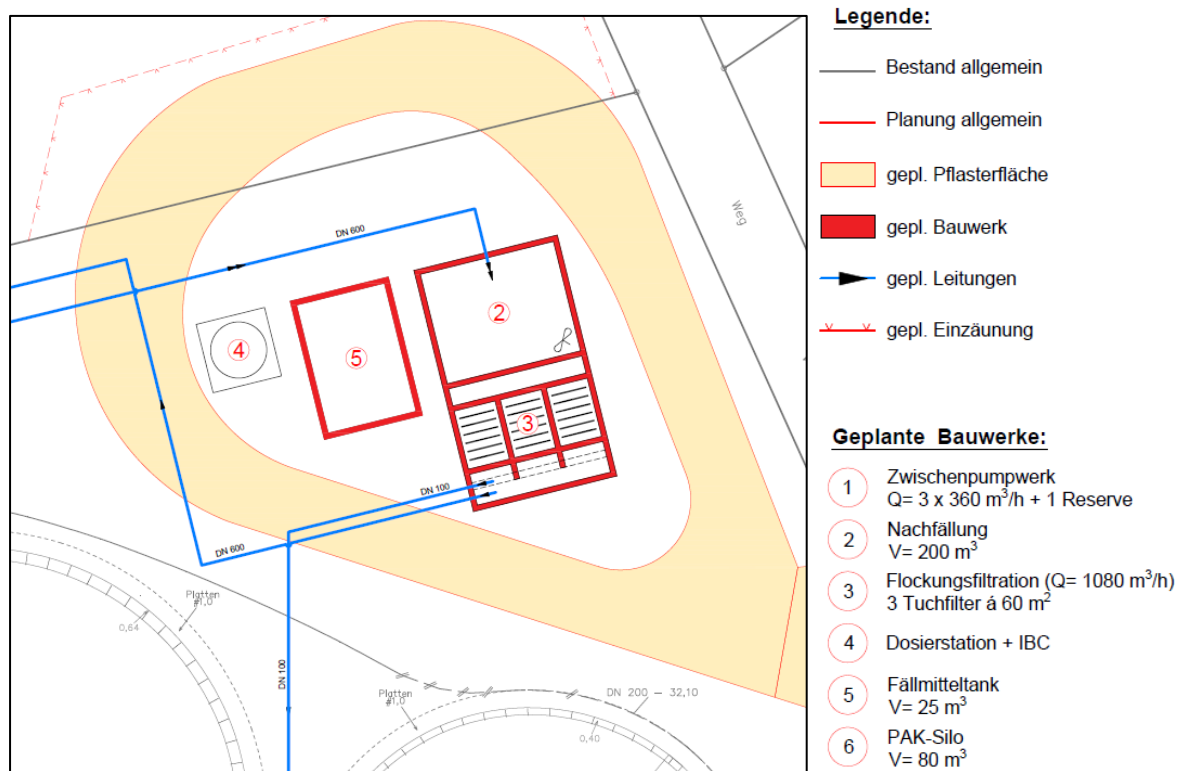


Abbildung 6-7: Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung), Lageplanausschnitt

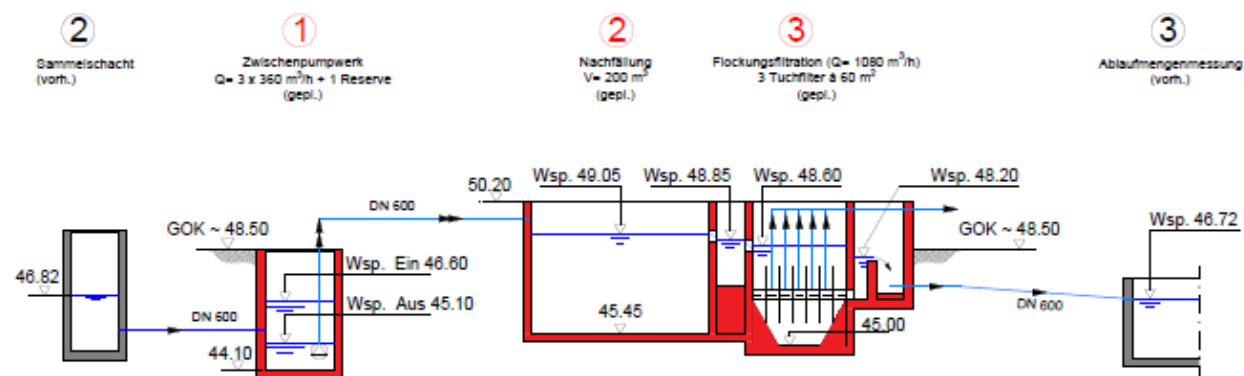
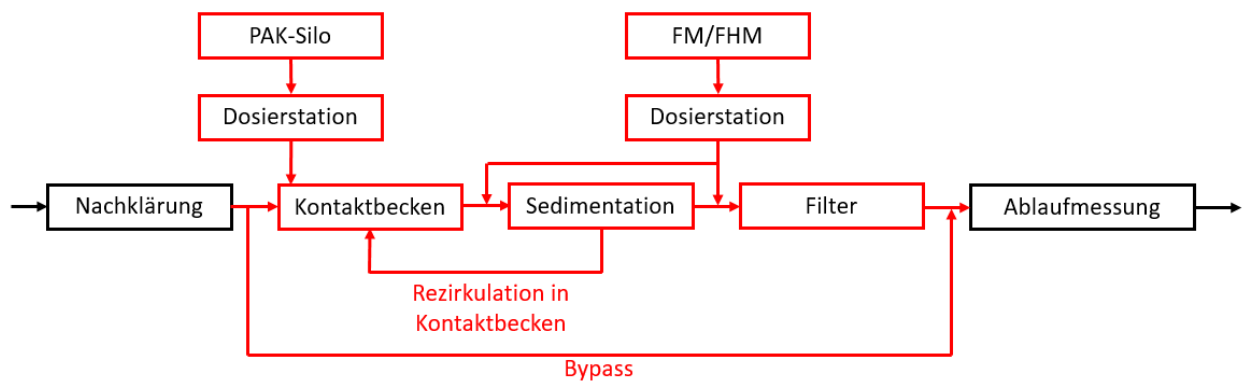


Abbildung 6-8: Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung), Längsschnitt

### 6.4.3 Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

Eine weitere Möglichkeit den Abwasserstrom der Kläranlage Niederkassel mittels Pulveraktivkohle (PAK) zu behandeln, ist die PAK-Dosierung in eine separate Behandlungsstufe, die sich an die Nachklärung anschließt (vgl. Kapitel 4.1.3.2). Das Abwasser durchfließt ein Kontaktbecken, in welches die PAK zudosiert wird. Auch bei dieser Variante empfiehlt sich die PAK-Dosierung adaptiv bzw. zulaufmengenproportional auszurichten, um die Jahreskosten zu minimieren. Im nachgeschalteten Absetzbecken (Sedimentationsbecken) wird die beladene Aktivkohle vom behandelten Abwasser weitestgehend getrennt. Abschließend folgt eine Filtrationsstufe zur Abtrennung von Rest-PAK.

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für die Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken ist in Abbildung 6-9 dargestellt.



**Abbildung 6-9: Mögliche Verfahrensführung PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)**

#### Auslegung Kontaktbecken:

In Anlehnung an die Auslegungsempfehlung des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (26) kann für die PAK-Dosierung in Kontaktbecken, in welche vorbehandeltes, möglichst feststoffreies Abwasser zufließt, eine Dosierrate von 10 - 20 mg<sub>PAK</sub>/l angesetzt werden. Die Aufenthaltszeit im Kontaktbecken sollte mindestens 30 Minuten betragen.

Die Auslegungsdaten für das Kontaktbecken sind in Tabelle 6-6 zusammengefasst:

<b>Auslegung Kontaktbecken (PAK)</b>		
Auslegungswassermenge	400	m <sup>3</sup> /h
Kontaktzeit	30	min
	0,5	h
Erf. Volumen Kontaktbecken	200,0	m <sup>3</sup>
Wasserspiegelhöhe	4	m
Fläche Kontaktbecken (innen)	50,0	m <sup>2</sup>

**Tabelle 6-6: Auslegung Kontaktbecken, Variante 2**

Auslegung Sedimentationsbecken:

Beim Einsatz konventioneller Sedimentationsbecken werden eine hydraulische Aufenthaltszeit von zwei Stunden und eine Oberflächenbeschickung von 2 m/h empfohlen. Das empfohlene Rezirkulationsverhältnis liegt bei 0,5-1 (26). Für eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität wird eine PAK-Rückführung ins Kontaktbecken vorgesehen. Die Auslegungswerte für das Sedimentationsbecken und für das benötigte Rezirkulations-Hebewerk sind in Tabelle 6-7 aufgeführt.

<b>Auslegung Sedimentationsbecken (PAK)</b>		
Auslegungswassermenge	400	m <sup>3</sup> /h
Absetzzeit	120	min
	2	h
Volumen Sedimentationsbecken	800	m <sup>3</sup>
Oberflächenbeschickung	2	m/h
Oberfläche Sedimentationsbecken	200,0	m <sup>2</sup>

<b>Rezirkulations-Pumpwerk</b>		
Rezirkulationsverhältnis	0,7	-
Pumpleistung Rezirkulation	280,0	m <sup>3</sup> /h

**Tabelle 6-7: Auslegung Sedimentationsbecken und Rezirkulations-Pumpwerk, Variante 2**

Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK:

Für die Abschätzung der jährlichen Menge an PAK wird, wie für die nachfolgenden Varianten 3 und 4, ein Bemessungsvolumenstrom von 400 m<sup>3</sup>/h angenommen, wodurch ein großer Teil von etwa 83,5 % des Hauptstromes behandelt werden kann. Der PAK-Bedarf und die gewählte Größe des Silos sind in Tabelle 6-8 aufgeführt. Bei Annahme, dass 1 kg PAK genau 1 kg TS entspricht, so ergibt sich eine zusätzliche Schlammmenge von knapp 20 t /a. In der weiteren Planung ist die bestehende Schlammbehandlung auf entsprechende Reserven zu untersuchen.

<b>PAK Dosierung</b>		
Jahresabwassermenge 4. RS	1.966.480	m <sup>3</sup>
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,01	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf PAK	19.665	kg/a
Tagesbedarf PAK	53,9	kg/d
Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m <sup>3</sup>
Gewählte Silogröße PAK	80	m <sup>3</sup>
Nachfüllung PAK alle	24,4	Monate

**Tabelle 6-8: PAK-Bedarf und Auslegung PAK-Silo, Variante 2**

Abschätzung des Jahresverbrauchs an Fällmitteln und Flockungshilfsmittel

Zur Bildung von gut absetzbaren Pulveraktivkohleflocken können Flockungshilfsmittel sowie Eisen- bzw. Aluminiumprodukte als Fällmittel eingesetzt werden. Der Bedarf nebst benötigten Lagerbehältern wird in folgender Tabelle 6-9 abgeschätzt.

<b>Fällmitteldosierung</b>		
Jahresabwassermenge	1.966.480	m <sup>3</sup>
Dosiermenge Fe / Al aus FM	3	mg/l
	0,003	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf Fe / Al	5.899	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	42.139	kg/a
Dichte FM (FeCl <sub>3</sub> )	1.440	kg/m <sup>3</sup>
Gewählte Silogröße FM	25	m <sup>3</sup>
Nachfüllung FM-Silo alle	10,3	Monate

<b>Dosierung FHM</b>		
Dosiermenge FHM	0,2	mg/l
	0,0002	kg/m <sup>3</sup>
Jahresbedarf FHM	393,3	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m <sup>3</sup>
Gewähltes Lagergebilde FHM	1	m <sup>3</sup>
Wechsel des Gebindes	25,9	Monate

**Tabelle 6-9: Abgeschätzter Fällmittel- und Flockungshilfsmittelbedarf, Variante 2**

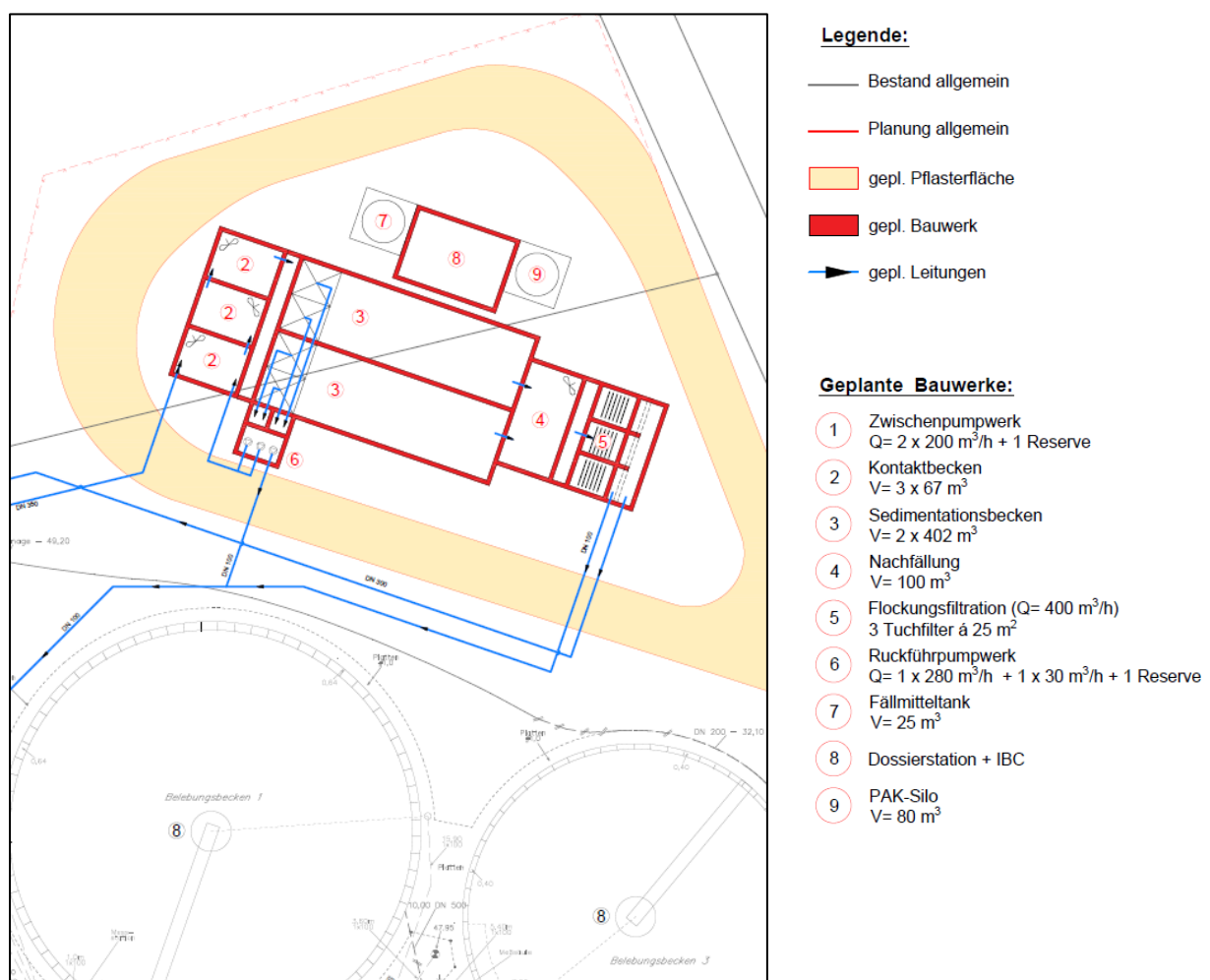
### Anordnung der PAK-Dosierung (Kontakt- und Sedimentationsbecken) und Filtrationsstufe

Für Variante 2 muss das Abwasser mit einem Zwischenpumpwerk angehoben werden. Dazu werden drei regelbare Pumpen mit Frequenzumformer eingesetzt, wobei eine als Reserve eingeplant ist ( $Q = 2 \times 200 \text{ m}^3/\text{h} + \text{Reserve}$ ). Die Kontaktbecken werden als drei rechteckige Becken mit einem Volumen von jeweils ca.  $67 \text{ m}^3$  ausgeführt und als Kaskade betrieben. Nachgeschaltet sind zwei parallel angeordnete Sedimentationsbecken vorgesehen, die als Rechteckbecken mit einem Gesamtvolumen von etwa  $800 \text{ m}^3$  ausgeführt werden. Für die Rückführung der PAK in das Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehen ( $Q = 280 \text{ m}^3/\text{h} + \text{Reserve}$ ). Im Anschluss durchströmt das Abwasser die Filtrationsstufe (Teilstrom). Wie bei Variante 1 wird ein zusätzlicher Mischreaktor angeordnet, um eine gute Durchmischung des Fällmittels und damit eine effektive Abtrennung der Rest-Aktivkohle sicherzustellen.

Auch bei dieser Variante wird die vierte Reinigungsstufe in der Nähe vom neuen Zugangstor angeordnet.

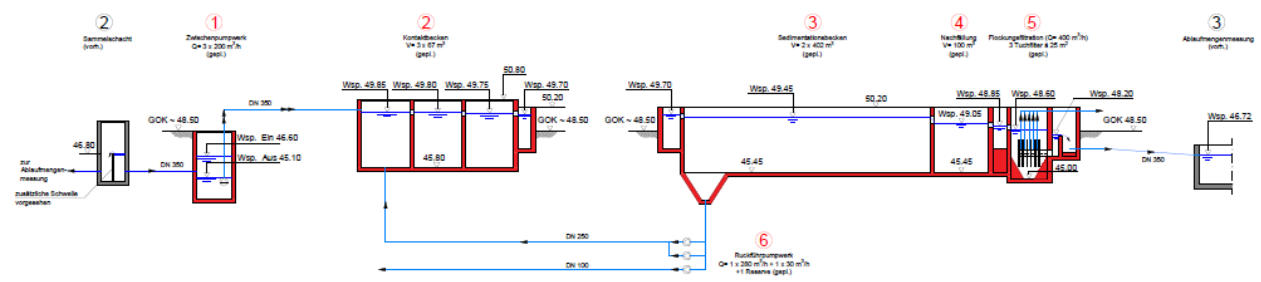
Die Pläne sind in Abbildung 6-10 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 6-11 als Längsschnitt gezeigt.

Der komplette Lageplan ist dem Anhang C (Kapitel 10.3) zu entnehmen.



**Abbildung 6-10: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt**



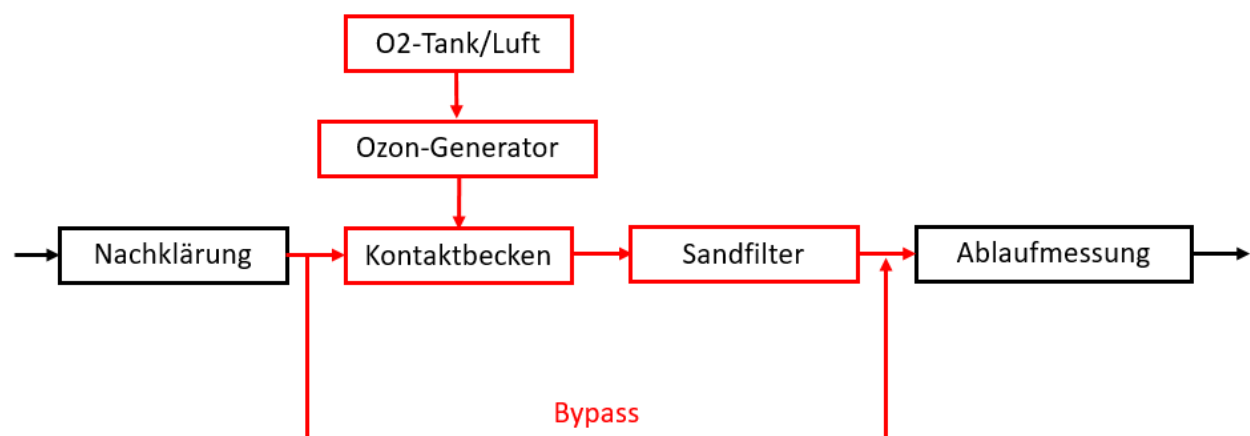


**Abbildung 6-11: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt**

#### 6.4.4 Variante 3: Ozonbehandlung

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. Um eine effektive Ausnutzung des Ozons für die Mikroschadstoffelimination sicher zu stellen, ist eine niedrige organische Hintergrundbelastung Voraussetzung. Eine effektive Nachklärung ist deshalb für die nachfolgende Ozonbehandlung von elementarer Bedeutung. Gegebenenfalls kann eine zusätzliche Vorbehandlung durch eine vorgeschaltete Filtrationsstufe sinnvoll sein. Diese Variante wird jedoch aufgrund der steigenden Investitionskosten nicht weiter untersucht. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine Nachbehandlung (z.B. durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen (vgl. Kapitel 4.2.2). Der für die PAK-Varianten vorgesehene Tuchfilter ist nicht biologisch aktivierbar und für die Nachbehandlung daher nicht geeignet.

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 6-12 gezeigt.



**Abbildung 6-12: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)**

Für die Auslegung der Ozonanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (26). Die erforderliche Dosierrate ist zwischen 0,6-0,9 mg O<sub>3</sub>/mg DOC anzusetzen. (25; 26). Wie die Untersuchung des Kläranlagenablaufs in Kapitel 5.6 zeigt, können Dosieraten bis 0,7 mg O<sub>3</sub>/mg DOC voraussichtlich ohne Gefahr einer

erhöhten Bromatbildung gewählt werden. Dies ist im Vorfeld einer weiteren Planung ggf. durch ein entsprechendes Messprogramm abzusichern. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, ob im Ablauf der Nachklärung signifikante NO<sub>2</sub>-N-Konzentrationen auftreten. Nitrit wird durch Ozon zu Nitrat oxidiert und führt zu einer hohen Ozonzehrung von 3,4 mg O<sub>3</sub>/mg NO<sub>2</sub>-N. Falls eine Ertüchtigung der Biologie zur Senkung der Nitritablaufkonzentration nicht möglich ist, ist dieses bei der Auslegung des Ozonerzeugers zu berücksichtigen. Zudem wird angeraten, die Ozondosierung adaptiv bzw. zulaufmengenproportional auszurichten. Hierdurch kann sich die Ozonstufe kontinuierlich dem momentanen Zulauf der vierten Reinigungsstufe anpassen, sodass Energiekosten für die Ozonerzeugung einspart werden.

#### Auslegung des Ozonerzeugers

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

Die benötigte Ozonkonzentration sowie die sich daraus ergebende Mindestkapazität des Ozonerzeugers sind Tabelle 6-10 zu entnehmen. Angesetzt wird eine CSB-Konzentration von 42 mg/l, da dieser Wert im störungsfreien Betrieb in der Regel nicht überschritten wird (vgl. Kapitel 5.3). Als Faktor zur Berechnung des DOC aus dem CSB wird ein DOC:CSB- Verhältnis von 1:3,3 angesetzt. Die Auswertung der Nitritkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung (vgl. Kapitel 5.3) zeigt, dass stellenweise relativ hohe Konzentrationen von 0,9 mg/l auftreten können. Der Ozonerzeuger ist dementsprechend auf diesen Wert auszulegen.

<b>Auslegung Ozongenerator</b>		
Ozondosierrate für DOC	0,6	g O <sub>3</sub> /g DOC
Ozondosierrate für NO <sub>2</sub> -N	3,4	mg O <sub>3</sub> /mg NO <sub>2</sub> -N
Bemessungsvolumenstrom	400	m <sup>3</sup> /h
maßgebl. CSB-Konz. Abwasser	42	mg/l
DOC-Konzentration Abwasser (berechnet)	12,7	mg/l
	12,7	g/m <sup>3</sup>
Erf. Zielkonzentration Ozon (bezogen auf DOC)	7,6	g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>
Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,9	mg/l
	0,9	g/m <sup>3</sup>
Zielkonzentration Ozon (bezogen auf Nitrit)	3,06	g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>
Zielkonzentration Ozon (für DOC und Nitrit)	<b>10,7</b>	g O <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>
Benötigte Kapazität Ozonerzeuger	<b>4,28</b>	kg O <sub>3</sub> /h

**Tabelle 6-10: Auslegung Ozonerzeuger, Variante 3**

Abschätzen des Sauerstoffbedarfs und Ermittlung der Größe des Sauerstofftanks

Für kleinere Ozonanlagen wird in der Regel flüssiger Sauerstoff (LOX) für die Herstellung von Ozon eingesetzt. Für die Erzeugung von einem Gramm Ozon ist die zehnfache Menge ( $f_{O_2/O_3}$ ) an Sauerstoff nötig. Folgende Menge wird abgeschätzt (Tabelle 6-11):

<b>Ermittlung des Sauerstoffbedarfs</b>		
Ozondosierrate für DOC	0,6	g O <sub>3</sub> /g DOC
Ozondosierrate für NO <sub>2</sub> -N	3,4	mg O <sub>3</sub> /mg NO <sub>2</sub> -N
Jahresabwassermenge	2.354.841	m <sup>3</sup> /a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.966.480	m <sup>3</sup> /a
mittlere CSB-Konz. Abwasser	30,4	mg/l
DOC-Konzentration Abwasser	9,2	mg/l
	9,2	g/m <sup>3</sup>
erf. Jahresmenge Ozon (für DOC)	10869	kg O <sub>3</sub> /a
mittlere Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,16	mg/l
	0,16	g/m <sup>3</sup>
erf. Jahresmenge Ozon (für Nitrit)	1070	kg O <sub>3</sub> /a
erf. Jahresmenge Ozon (gesamt)	11939	kg O <sub>3</sub> /a
f(O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> )	10	kg O <sub>2</sub> /kg O <sub>3</sub>
Erf. Jahresmenge Sauerstoff	119390	kg O <sub>2</sub> /a
Dichte Flüssigsauerstoff	1,1	g/cm <sup>3</sup>
	1100	kg/m <sup>3</sup>
Gewählte Größe Sauerstofftank	25	m <sup>3</sup>
Sauerstofflieferung alle	12	Wochen

**Tabelle 6-11: Ermittlung des Sauerstoffbedarfs, Variante 3**

Auslegung des Ozonreaktors:

Das Volumen des Ozonreaktors wird über die erforderliche Aufenthaltszeit im Reaktor bestimmt. Die Aufenthaltszeit 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 (26). Für den Standort Niederkassel werden die in Tabelle 6-12 aufgeführten Parameter gewählt:

Der Ozoneintrag in den Reaktor kann mit Diffusoren oder mit einem Injektorsystem (Treibstrahlensystem) erfolgen. Um einen effektiven Ozoneintrag mit Diffusoren zu ermöglichen, wird ein Mindestwasserspiegel von 5 m angesetzt. Der Reaktor kann auch als Schlaufenreaktor mit Leitwänden ausgeführt werden. Im Falle einer Umsetzung dieser Verfahrensvariante wird eine Strömungsoptimierung des Beckens mit Hilfe

einer CFD-Simulation empfohlen. Der Ozonreaktor muss gasdicht abgedeckt und kontinuierlich abgesaugt werden. Das Off-Gas wird über einen Restozonvernichter geleitet.

<b>Auslegung Ozonreaktor</b>		
Bemessungsvolumenstrom	400	m <sup>3</sup> /h
Reaktionszeit	15	min
Ausgasungszeit	10	min
Aufenthaltszeit (gesamt)	25	min
	0,42	h
Erf. Volumen Ozonreaktor	166,7	m <sup>3</sup>
Einblastiefe	5	m
Fläche Ozonreaktor (innen)	33,3	m <sup>2</sup>

**Tabelle 6-12: Auslegung Ozonreaktor, Variante 3**

Nachbehandlung:

Wie bereits in Kapitel 4.2 erwähnt, ist in Anbetracht der möglichen Entstehung von Transformationsprodukten eine Nachbehandlung mit Hilfe eines biologisch aktiven Filters vorzusehen. Hierzu wird eine Sandfiltration gewählt, deren Auslegung in Kapitel 6.4.6 erfolgt.

Anordnung der Ozonanlage und Filtrationsstufe

Für die Zuleitung zur vierten Reinigungsstufe wird ein Zwischenpumpwerk benötigt. Dazu werden drei regelbare Pumpen mit Frequenzumformer eingesetzt, wobei eine als Reserve eingeplant ist ( $Q = 2 \times 200 \text{ m}^3/\text{h} + \text{Reserve}$ ). Das Abwasser durchläuft die Ozonreaktoren (zwei parallele Reaktoren) und anschließend die Sandfiltration. Auch hier ist die Filtrationsstufe für eine Teilstrombehandlung ausgelegt. Anfallendes Spülwasser wird dem Sandfang der Kläranlage zugeführt, um abtreibende Sandfrachten sofort behandeln zu können.

Neben der Funktion als Nachbehandlungsstufe, können Sandfilter auch der Phosphorelimination dienen. Für den Fall einer zukünftigen Anpassung der Überwachungswerte wäre es ratsam dieses Potenzial zu nutzen. Eine Dosierstelle für Fällmittel wird demnach als Option mitberücksichtigt. Im gewählten kontinuierlich betriebenen Sandfilter der Fa. NordicWater („Dynasand“) herrschen gute Bedingungen für eine schnelle Flockung, sodass Fällmittel direkt in den Zulauf eindosiert werden kann. Ein separates Flockungsbecken wird nicht benötigt.

Für die Sandfiltration wird eine Betonbauweise gewählt, bei der mehrere Filtereinheiten in ein gemeinsames Betonbecken eingesetzt werden. So kann auf ein zusätzliches Zwischenhebewerk verzichtet werden. Je nach Bodenbeschaffenheit und Grundwasserstand, kann eine ebenerdige Aufstellung der Filter wirtschaftlicher sein. Dabei ist jedoch ein weiteres Pumpwerk zur Anhebung des Wassers notwendig.

Wie bereits bei Variante 1 und 2, wird die vierte Reinigungsstufe nord-östlich Kläranlage mit Nähe zum neuen Zufahrtstor angeordnet. Die Pläne sind in Abbildung 6-13 als Lageplanausschnitt und in Abbildung 6-14 als Längsschnitt gezeigt. Der komplette Lageplan ist in Anhang C (Kapitel 10.4) beigelegt.

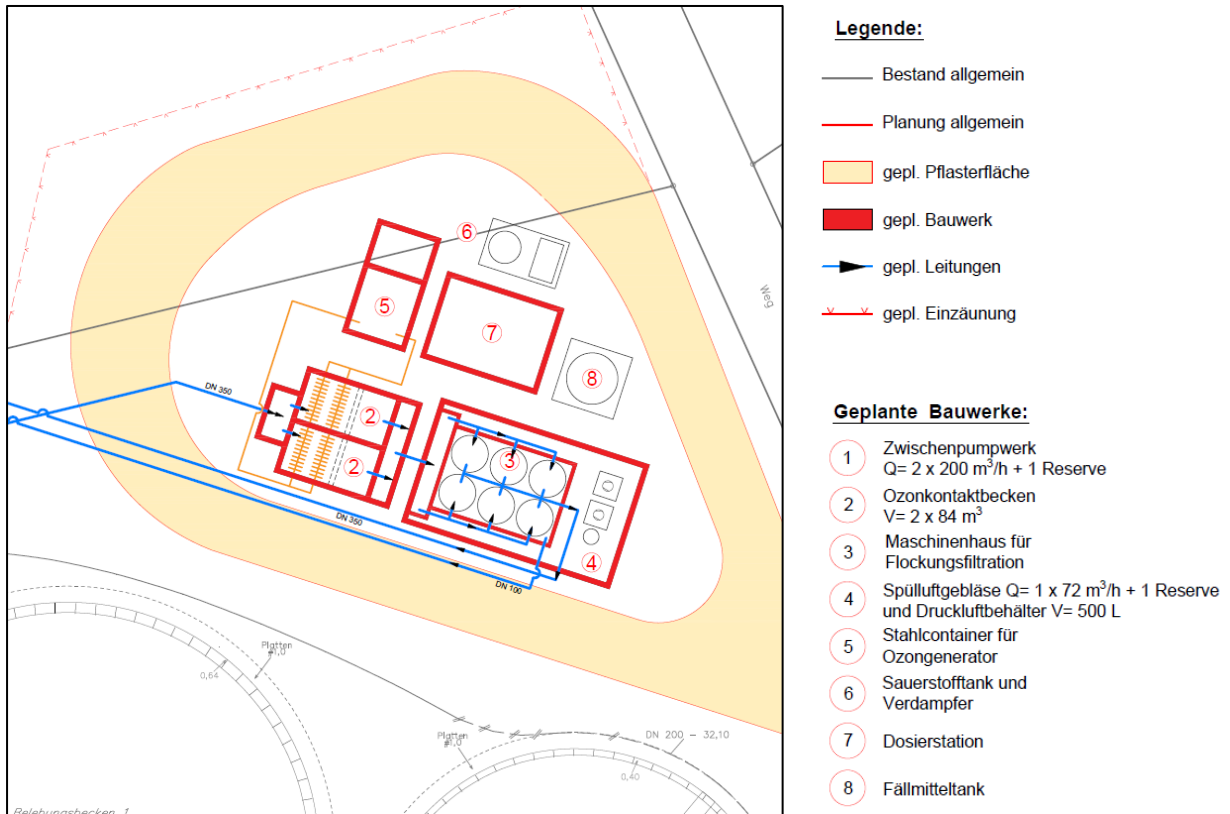


Abbildung 6-13: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

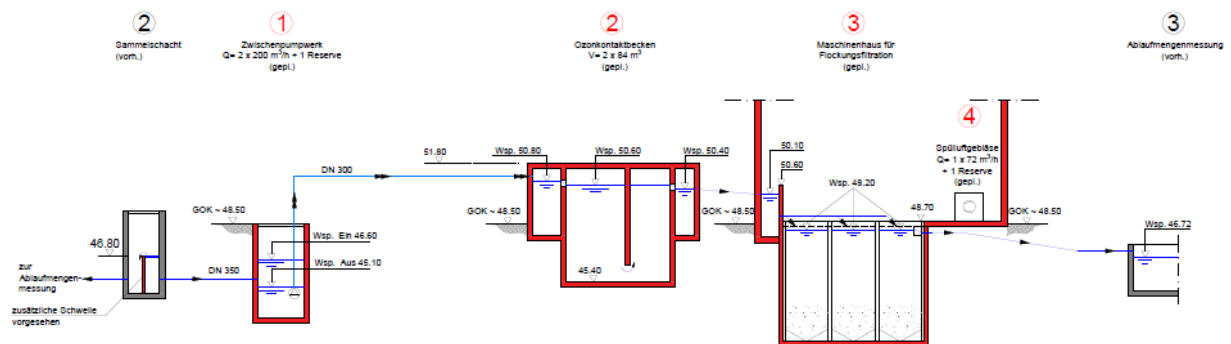


Abbildung 6-14: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

#### 6.4.5 Variante 4: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)

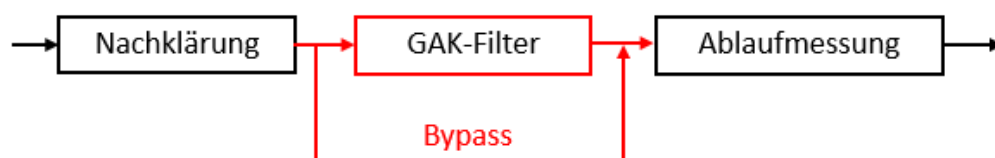
Für Variante 4 ist zur Mikroschadstoffelimination auf der KA Niederkassel eine Filtration mit granulierter Aktivkohle vorgesehen (siehe auch Kap. 4.1.4). Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung müsste eine Vorfiltration des Abwassers erfolgen, um die GAK-Filter vor einer zu schnellen Verblockung zu schützen und zu häufige Rückspülungen des GAK-Filters zu verhindern. Dies ist bei der Kläranlage Niederkassel nach aktuellem Stand nicht notwendig, da der Gehalt abfiltrierbarer Stoffe im Ablauf der Nachklärung gering ist (vgl. Kapitel 5.6). Vor dem Hintergrund möglicher zukünftiger Anforderungen hinsichtlich der Phosphor- und auch Mikroplastikelimination, sollte jedoch auch bei dieser Variante über eine zusätzliche Flockungsfiltration nachgedacht werden. Die dafür anfallenden zusätzlichen Investitionskosten sind Teil der Diskussion in Kapitel 7.4. Für die folgende Vorstellung der Variante bleibt eine Flockungsfiltration zunächst unberücksichtigt, sodass das Abwasser der Nachklärung direkt den GAK-Filtern zugeführt wird. Die Filtration mittels GAK wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt. Wie in Kapitel 4.1.4 erläutert, sind so höhere Filterstandzeiten zu erwarten.

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

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

Neben den Behälterabmessungen ist das Filtrivolumen ein wichtiger Faktor – für die Anlieferung von 50 m<sup>3</sup> GAK würde ein Fahrzeug ausreichen, für den Abtransport liegt die Kapazität aufgrund des höheren Gewichts bei nur noch 22-27 m<sup>3</sup> je Fahrzeug (55).

Ein vereinfachtes Verfahrensschema für den Einsatz der GAK-Filtration ist in Abbildung 6-15 dargestellt.



**Abbildung 6-15: Mögliche Verfahrensführung Variante 4 (GAK), (rot: geplant, schwarz: Bestand)**

#### Auslegung der GAK-Filtration:

In Tabelle 6-13 ist die Auslegung der GAK-Filtration nebst Abschätzung des GAK-Bedarfs aufgeschlüsselt.

<b>Auslegung GAK-Filtration</b>		
Jahresabwassermenge	2.354.841	m <sup>3</sup> /a
Jahresabwassermenge 4. RS	1.966.480	m <sup>3</sup> /a
Bemessungsvolumenstrom	400	m <sup>3</sup> /h
Rückspülwasser (10 % von JAM 4. RS)	22,4	m <sup>3</sup> /h
Auslegungsvolumenstrom	422,4	m <sup>3</sup> /h

Leerbettkontaktzeit	20	min
	0,333	h
Erforderliches Filtervolumen	140,8	m <sup>3</sup>
Gewählte Filterbetthöhe GAK	2,2	m
Erforderliche Filterfläche	64,0	m <sup>2</sup>
Anzahl paralleler Filter	8	Stück
Erforderliche Fläche je Filter	8,0	m <sup>2</sup>
Gewählte Fläche je Filter	9,6	m <sup>2</sup>
Gewählte Anzahl Filter	8	Stück
Resultierende Gesamtfilterfläche	<b>77,0</b>	m <sup>2</sup>
Resultierendes Gesamtfiltervolumen	<b>169,3</b>	m <sup>3</sup>
Resultierende Filtergeschwindigkeit	5,5	m/h

Erreichbare Bettvolumina	<b>10.000</b>	BVT
Durchsetzbares Abwasservolumen	1.693.318	m <sup>3</sup>
Nutzungsdauer GAK	9,4	Monate

Schüttdichte GAK	350	kg/m <sup>3</sup>
erf. GAK Menge Erstbefüllung je Filter	7.408	kg GAK/Filter

**Tabelle 6-13: Auslegung GAK-Filtration, Variante 4**

Für die Zulaufmenge zum GAK Filter wird zuzüglich zum Bemessungsabfluss von 400 m<sup>3</sup>/h das Rückspülwasser mit 10 % der Jahresabwassermenge abgeschätzt.

Da keine Vorfiltration geplant ist, werden die durchsetzbaren Bettvolumina mit 10.000 BVT vergleichsweise gering angesetzt. Belastbare Aussagen über die erreichbare Filterstandzeit lassen sich nur mittels Pilotierung der entsprechenden Prozesse treffen.

Es werden sechs Filter mit einer Fläche von je 9,6 m<sup>2</sup> vorgesehen. Für etwaige Außerbetriebnahmen einzelner Filter, z.B. zum Austausch des Filtermaterials oder für Rückspülprozesse, wird auf Basis der Bemessungsempfehlung nach (48) eine Redundanz berücksichtigt. Zum Abtransport der beladenen Kohle reicht ein großer GAK-Transporter pro Filtereinheit.

In der Praxis haben sich Leerbettkontaktzeiten zwischen 20 und 30 Minuten und Filtergeschwindigkeiten von 2-8 m/h bewährt (48; 29). Für die GAK-Filtration wird demnach eine Kontaktzeit von 20 Minuten gewählt bei Filtergeschwindigkeiten von 5,5 m/h.

Für den Bedarf an Spülluft und Rückspülwasser ergeben sich folgende Werte:

<b>Ermittlung Rückspülwasserbedarf</b>		
Rückspülgeschwindigkeit GAK-Filter	30	m/h
Volumenstrom Spülung	288,6	m <sup>3</sup> /h
Spüldauer	10	min
Spülwasserspeicher	48,1	m <sup>3</sup>

<b>Ermittlung Spülluftbedarf</b>		
Maximale Spülgeschwindigkeit	60	m/h
Spüldauer	3,0	min
Volumenstrom Spülluft	577,3	m <sup>3</sup> /h

---

**Tabelle 6-14: Ermittlung des Bedarfs an Rückspülwasser und Spülluft, Variante 4**

Anordnung der GAK-Filtration:

Für die Variante 4 (GAK-Filtration) ist für das Anheben des Abwassers auf das benötigte Niveau der GAK-Filter ein neues Zwischenpumpwerk nötig. Dazu werden drei regelbare Pumpen mit Frequenzumformer eingesetzt, wobei eine als Reserve eingeplant ist ( $Q = 2 \times 200 \text{ m}^3/\text{h} + \text{Reserve}$ ). Das Abwasser wird auf die sechs parallel betriebenen Filter verteilt und anschließend in den Vorfluter geleitet. Zur Unterbringung der Filter, welche ebenerdig aufgestellt werden, ist eine neue Maschinenhalle vorgesehen.

Wie bei den bereits vorgestellten Varianten 1 bis 3, wird die vierte Reinigungsstufe nord-östlich der Kläranlage, in der Nähe der neuen Zufahrt angeordnet.

Ein Ausschnitt des Lageplans für Variante 4 ist in Abbildung 6-16 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 6-17. Der komplette Lageplan kann dem Anhang C (Kapitel 10.5) entnommen werden.



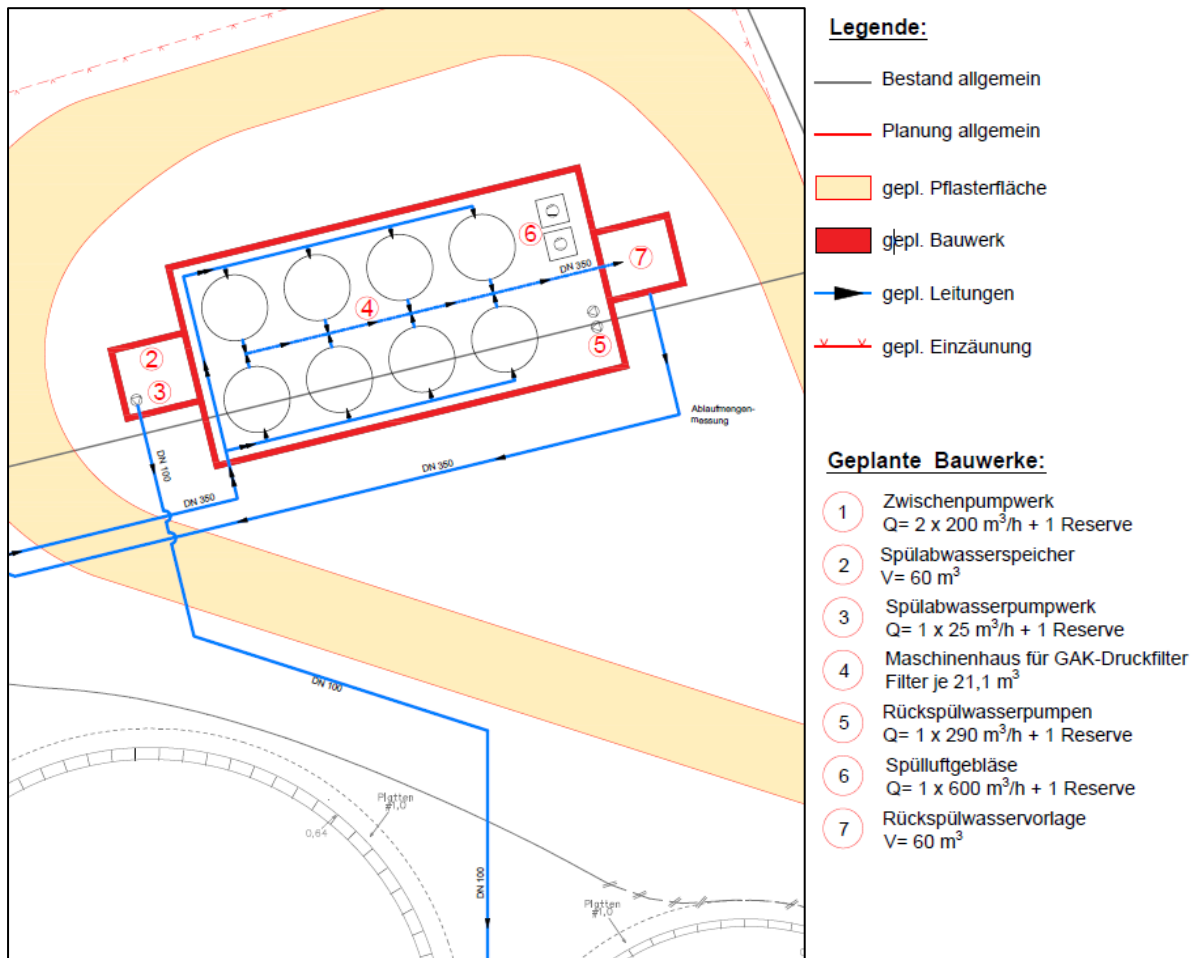


Abbildung 6-16: Variante 4 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

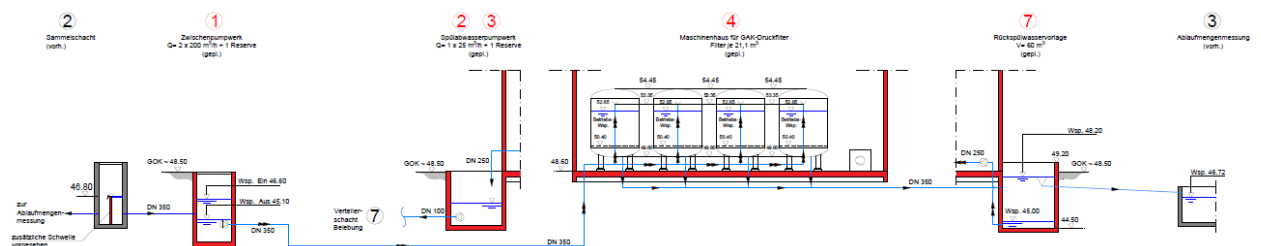


Abbildung 6-17: Variante 4 (GAK-Filtration), Längsschnitt

#### 6.4.6 Wahl und Auslegung der Flockungsfiltration

Bei den PAK-Varianten ist für die vierte Reinigungsstufe eine nachgeschaltete Filtration erforderlich, um Restfraktionen der Pulveraktivkohle abzuscheiden. Als Filtrationsstufe wird hierzu eine Tuchfilteranlage gewählt, da diese in der Praxis auch bei hohen Feststofffrachten sehr zuverlässige Ergebnisse bezüglich der Abtrennung von PAK erzielen und im Vergleich zu einer Sandfiltration nur geringe Druckhöhen für den Betrieb benötigt werden (50; 56).

Da momentan weder von einer besonderen Relevanz der Mikroplastikelimination noch von einer baldigen Absenkung der CSB- oder Phosphor-Überwachungswerte ausgegangen wird, kann die Behandlung bei Variante 2 im Teilstrom erfolgen. Für Variante 1 wird eine Vollstromfiltration benötigt. Hinsichtlich der Zukunftssicherheit sollte jedoch sowohl für Variante 2 als auch bei der GAK-Filtration (Variante 4) über eine Vollstromfiltration nachgedacht werden, um auch zukünftigen Anforderungen bezüglich der Phosphor- und auch Mikroplastikelimination gerecht werden zu können. Die dafür notwendigen zusätzlichen Investitionskosten sind Teil der Diskussion in Kapitel 7.4.

Nachfolgend wird die Tuchfilteranlage jeweils für eine Voll- und eine Teilstrombehandlung des Abwasserstroms ausgelegt. Der Bemessungsvolumenstrom beträgt 400 m<sup>3</sup>/h (Teilstrom) bzw. 1.080 m<sup>3</sup>/h für den Vollstrom (vgl. Kapitel 6.2).

Exemplarisch wird die Filterstufe für den Einsatz von Polstoff-Tuchfiltern der Firma Mecana bemessen. Für diese Filter kann eine maximale Filtergeschwindigkeit von 6 m/h angesetzt werden. Eine Spülwasser- und Rückspüleinheit ist nicht erforderlich. Die erforderliche Filterfläche ergibt sich damit wie folgt (Tabelle 6-15):

<i>Tuch- / Gewebefilter Vollstrombehandlung</i>		
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	1080	m <sup>3</sup> /h
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Benötigte Filterfläche	180,0	m <sup>2</sup>
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	60	m <sup>2</sup>
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück
Gewählte Filterfläche	180	m <sup>2</sup>
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	6	m/h

**Tabelle 6-15: Auslegung Tuch-/Gewebefilter, Vollstrombehandlung**

Im Rahmen der Studie werden für die Vollstromfiltration insgesamt drei Tuch-/Gewebefilter mit einer Filterfläche von jeweils 60 m<sup>2</sup> vorgesehen, womit sich eine Gesamterfläche von 180 m<sup>2</sup> ergibt.

Eine Auslegung auf den Teilstrom findet sich in Tabelle 6-16. Auch für die Teilstromvariante werden drei Filterelemente angesetzt, deren Fläche je 25 m<sup>2</sup> beträgt. Die Gesamterfläche summiert sich somit auf 75 m<sup>2</sup>.

<i>Tuch- / Gewebefilter Teilstrombehandlung</i>		
Auslegungsvolumenstrom Tuchfilter	400	m <sup>3</sup> /h
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Benötigte Filterfläche	66,7	m <sup>2</sup>
Filterfläche der ausgewählten Tuch- / Gewebefilter	25	m <sup>2</sup>
Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Anzahl Filter Tuch- / Gewebefilter	3	Stück
Gewählte Filterfläche	75	m <sup>2</sup>
Result. Filtergeschwindigkeit (Tuch- / Gewebefilter)	5	m/h

**Tabelle 6-16: Auslegung Tuch-/Gewebefilter, Teilstrombehandlung**

Aufgrund der fehlenden biologischen Aktivität sind Tuchfilter jedoch nicht für die Nachbehandlung möglicher Transformationsprodukte infolge einer Ozonbehandlung (Variante 3) geeignet, weswegen für diese Variante eine Sandfiltration vorgesehen wird. Die Auslegung erfolgt exemplarisch für einen kontinuierlich betriebenen Sandfilter der Fa. Nordic Water („DynaSand“-Sandfilter). Gewählt werden sechs Filtereinheiten mit einem Gesamtvolumen von 60 m<sup>3</sup>.

<i>Sandfilter Teilstrombehandlung</i>		
Auslegungsvolumenstrom Raumfiltr.	400,0	m <sup>3</sup> /h
Filtergeschwindigkeit	13,3	m/h
Erf. Filterfläche	30,0	m <sup>2</sup>
Gewählte Filterfläche	30,0	m <sup>2</sup>
Filterfläche der ausgewählten Raumfilter	5	m <sup>2</sup>
Gewählte Anzahl Filter	6	Stück
Filterbetthöhe	2	m
Filtervolumen gesamt	60	m <sup>3</sup>
Volumen je Filtereinheit	10	m <sup>3</sup>

**Tabelle 6-17: Auslegung Sandfiltration, Vollstrombehandlung**

## 7 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken werden für die Kläranlage Niederkassel folgende Verfahrenskonzepte berücksichtigt:

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

Es gilt dabei, die o.g. Konzepte wirtschaftlich zu vergleichen. Für den wirtschaftlichen Vergleich werden die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW veröffentlichten Vorgaben zur Kostenermittlung genutzt (35). 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.

Nicht berücksichtigt werden sämtliche Erschließungskosten für das neue Grundstück (Parzelle 127).

### 7.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen werden folgende Annahmen getroffen:

- Bei allen PAK-Varianten sind eine Tuchfiltration für den behandelten Abwasserstrom sowie ein Mischreaktor zur Nachfällung enthalten.
- Für Varianten 1-3 wird ein neuer Fällmitteltank an der vierten Reinigungsstufe berücksichtigt.
- Für Variante 3 ist eine Sandfiltration (Teilstrom) vorgesehen.
- Die Unterbringung des Ozogenerators erfolgt in einem Container.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei allen Varianten muss ein neues Hebewerk (Zwischenpumpwerk) errichtet werden, um die 4. Reinigungsstufe zu beschicken.
- Für die Unterbringung der Sandfilter sowie des Spülluftgebläses bei Variante 3 wird ein Maschinenhaus berücksichtigt
- Für die Unterbringung der GAK-Filterbehälter sowie der neuen Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse bei Variante 4 ist ein Maschinenhaus eingeplant.

Wie bereits in Kapitel 6.4.1 erwähnt, wird im Rahmen dieser Studie davon ausgegangen, dass nur geringfügige Anpassungen am Ablaufschacht der Nachklärung durchzuführen sind. Gegebenenfalls ist dieser komplett zu ersetzen, was zusätzliche Kosten verursacht. Weiterhin ist bei Variante 1 unter

Umständen eine Ertüchtigung der Nachklärbecken erforderlich. Bei Wahl dieser Variante ist die Leistungsfähigkeit der Nachklärung gründlich zu prüfen.

Die Investitionen für die verschiedenen Verfahrensvarianten werden anhand der Anlagenvorbemessung und der Lagepläne abgeschätzt und sind in Tabelle 7-1 zusammengestellt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen ist der Anlage B (Anhang 9.1 bis 9.4) zu entnehmen. Die Kostenangaben basieren auf den Submissionsergebnissen aus der Ausschreibung vergleichbarer Anlagen und auf Anfragen von Richtpreisen für Hauptkomponenten bei verschiedenen Lieferanten.

	<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>	<b>Variante 3</b>	<b>Variante 4</b>
	PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozonung	GAK-Filtration
Baukosten	861.950,00 €	1.228.000,00 €	1.112.550,00 €	966.750,00 €
Maschientechnik-Kosten	867.000,00 €	897.000,00 €	759.000,00 €	858.750,00 €
EMSR-Technik-Kosten	260.100,00 €	269.100,00 €	227.700,00 €	257.600,00 €
Baunebenkosten	447.500,00 €	538.600,00 €	472.400,00 €	468.600,00 €
Investitionskosten netto	2.436.550,00 €	2.932.700,00 €	2.571.650,00 €	2.551.700,00 €
Mehrwertsteuer (19 %)	462.944,50 €	557.213,00 €	488.613,50 €	484.823,00 €
<b>Investitionskosten brutto</b>	<b>2.899.494,50 €</b>	<b>3.489.913,00 €</b>	<b>3.060.263,50 €</b>	<b>3.036.523,00 €</b>

**Tabelle 7-1: Zusammenstellung der geschätzten Investitionskosten**

Erwartungsgemäß sind die Investitionskosten für die Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) mit ca. 2.900.000 € am niedrigsten. Bei diesem Verfahren sind die geringsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Variante 3 (Ozonung) mit geschätzt etwa 3.060.000 € und Variante 4 (GAK-Filtration) mit rund 3.040.000 € weisen ähnliche Anschaffungskosten auf. Bei Variante 3 werden die höchsten Investitionskosten von fast 3.490.000 € erwartet.

## 7.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten

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

Energiekosten:	0,19 Euro/kWh
Personalkosten für Facharbeiter:	40.000 Euro/Mannjahr
Pulveraktivkohle:	1.500 Euro/t
Granulierte Aktivkohle:	1.300 Euro/t (als regenerierte Kohle)
Fällmittel:	140 Euro/t
Flockungshilfsmittel:	1.400 Euro/t
Sauerstoff:	0,22 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)
Schlamm Entsorgung:	320 Euro/TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt bei Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 2.354.841 m<sup>3</sup>/a. Für die Varianten 2-4 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der vierten Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 1.966.480 m<sup>3</sup>/a angesetzt.

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

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

Bei den Personalkosten werden je nach Verfahren zwischen 16 bis 20 Arbeitsstunden / Woche für die Betreuung der vierten Reinigungsstufe veranschlagt.

Die Zusammenstellung der Betriebsmittel- und Verbrauchsmittelkosten ist in Anhang B (Anhang 9.5 und 9.6) beigefügt. Tabelle 7-2 zeigt eine Zusammenfassung der ermittelten Betriebskosten. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit mit anderen Studien, beziehen sich die Werte auf das 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]	26.151	32.755	79.897	25.887
Personal	[€/a]	15.451	19.314	15.451	15.451
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]	57.765	65.883	58.447	63.464
Sauerstoff	[€/a]	0	0	24.499	0
PAK/GAK	[€/a]	65.892	27.513	0	91.800
FHM, FM	[€/a]	9.282	5.825	0	0
Schlamm Entsorgung	[€/a]	34.318	20.016	0	0
<b>Betrieb Gesamtkosten netto</b>	<b>[€/a]</b>	<b>208.859</b>	<b>171.305</b>	<b>178.294</b>	<b>196.602</b>

**Tabelle 7-2: Betriebskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013**

Aus Tabelle 7-2 geht hervor, dass bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von ca. 171.300 € netto/a zu rechnen ist, gefolgt von Variante 3 (Ozonung) mit etwa 178.300 € netto/a. Die beiden anderen Varianten verursachen im Betrieb deutlich höhere Kosten von rund 208.900 € netto/a (Variante 1) bzw. 196.600 € netto/a (Variante 4).

### 7.3 Jahreskosten

Die Berechnung der Jahreskosten basiert auf der vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellten Tabelle zur Kostenberechnung. In Anhang B (Anhang 9.7 und 9.8) sind die Berechnung der Jahreskosten für die vier Varianten aufgeführt. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist in Tabelle 7-3 enthalten.

Bezugsjahr: 2013		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK-Filtration
Kapitalkosten	[€/a]	167.439	193.523	168.191	172.659
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	73.216	85.197	73.898	78.915
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	135.643	86.109	104.396	117.687
<b>Jahreskosten netto</b>	[€/a]	<b>376.298</b>	<b>364.829</b>	<b>346.485</b>	<b>369.261</b>
Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser	[€/m <sup>3</sup> ]	0,160	0,186	0,176	0,188
Spez. Jahreskosten je EW	[€/(EW*a)]	7,07	6,85	6,51	6,93

**Tabelle 7-3: Jahreskostenschätzung für die Varianten 1 – 4; Bezugsjahr: 2013**

Es zeigt sich, dass Variante 3 (Ozonung) mit ca. 346.000 €/a die niedrigsten Jahreskosten aufweist. Die restlichen Varianten liegen hinsichtlich der Jahreskosten relativ dicht beieinander, wobei Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung) die höchsten Kosten mit rund 376.000 €/a verursacht. Dabei fallen insbesondere der hohe Aktivkohleverbrauch und die dadurch entstehenden Mehrkosten für die Schlammmentsorgung ins Gewicht.

Die spezifischen Kosten je in der vierten Reinigungsstufe behandeltem m<sup>3</sup> Abwasser liegen für die Varianten 2, 3 und 4 eng zusammen mit ungefähr 0,17 € netto bis 0,19 € netto. Die geringsten spezifischen Kosten werden bei Variante 1 mit 0,16 € netto/m<sup>3</sup> erreicht.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen bei den Varianten 2 bis 4 unter 7 € netto/a, wobei die Ozonung (Variante 3) mit 6,38 € netto/a am kostengünstigsten ist. Bei Variante 1 ergibt sich ein Wert knapp über 7 € netto/EW jährlich.

### 7.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Die dargestellte Kostenprognose basiert zum Teil auf Annahmen, die wesentlichen Einfluss auf die Kosten haben. So wird z.B. davon ausgegangen, dass für die hydraulische Anbindung der vierten Reinigungsstufe,

keine größeren Umbauarbeiten am Ablaufsammelschacht oder der Ablaufrinne der Nachklärbecken vorgenommen werden müssen. Sollte sich im Zuge einer weiteren Planung herausstellen, dass die hydraulische Situation der Kläranlage umfangreiche Umbaumaßnahmen erfordert, ist mit höheren Kosten zu rechnen.

Die vorangegangene Kostenberechnung basiert weiterhin auf der Annahme, dass der derzeitige Phosphor-Überwachungswert in naher Zukunft nicht angepasst wird. Derzeit können die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden, weswegen die Flockungsfiltration bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und Variante 3 (Ozonung) lediglich für den Teilstrom von 400 m<sup>3</sup>/h ausgelegt sind. Durch die geringe Feststoffbelastung im Ablauf der Nachklärung wird bei der GAK-Filtration (Variante 4) sogar gänzlich auf eine Filtrationsstufe verzichtet. Hinsichtlich der Möglichkeit, dass zukünftig strengere Vorgaben gelten, ist für die genannten Varianten jedoch auch eine auf den Vollstrom ausgelegte Flockungsfiltration in Betracht zu ziehen. Auch die immer weiter in den Vordergrund drängende Mikroplastikproblematik sollte bei den Überlegungen eine Rolle spielen. Bei der GAK-Filtration (Variante 4) wäre für eine zusätzliche Vollstromfiltration (Tuchfiltration) ein investiver Mehraufwand von etwa 1.400.000 € brutto nötig. Bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und Variante 3 (Ozonung) würde die Umstellung von Teil- auf Vollstromfiltration deutlich weniger Mehrkosten verursachen. Diese betragen schätzungsweise etwa 350.000 € bei dem PAK-Verfahren (Tuchfiltration) und ca. 600.000 € im Falle der Ozonung (Sandfiltration).

Einen besonders hohen Anteil an den Betriebsmittelkosten verursachen die Verbräuche an Chemikalien und Hilfsmitteln. Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle sind über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Die Kosten für die granulierten Aktivkohle basieren auf der Annahme, dass 10.000 BVT erreicht werden, bevor das Filtermaterial gewechselt werden muss. Bei diesem Ansatz ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer der Filter von ca. 9,4 Monaten. Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Mikroschadstoffe) mit der vierten Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden in Zukunft von neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen. Ebenso haben die angesetzten Nutzungszeiten bzw. Bettvolumina einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten, so dass diese in Abhängigkeit einer längeren oder kürzeren Standzeit deutlich anders ausfallen können. Eine Verminderung der Kosten kann evtl. durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) erreicht werden (57).

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

Weiterhin bleibt festzuhalten, dass die Rahmenbedingungen auf der Kläranlage Niederkassel für die Errichtung einer vierten Reinigungsstufe ungünstig sind. So erfordern die örtlichen Gegebenheiten die Errichtung einer neuen Zufahrtsstraße auf der Ost-Seite des Kläranlagengeländes, während der Ablauf der Nachklärung, die Ablaufmengenmessung sowie das Hochwasserpumpwerk auf der West-Seite angeordnet sind. Die dabei anfallenden zusätzlichen Erschließungskosten gilt es zu berücksichtigen.



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.

## **7.5 Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer vierten Reinigungsstufe am Standort Niederkassel**

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 Kapitel 5.7 erläutert – berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten Mikroschadstoffe 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 Mikroschadstoffelimination aufweisen.

### Eliminationsleistungen

Die folgenden Anmerkungen zur Eliminationsleistung der verschiedenen Verfahren basieren auf den Ausführungen in Kapitel 5.7.

Im Hinblick auf die Zugabe der PAK direkt in die bestehende Belebung (Variante 1) stehen bisher kaum Erfahrungen im großtechnischen Maßstab zur Verfügung. Die Auswertung in Kapitel 5.7 zeigt jedoch, dass grundsätzliches Potenzial für eine gute Eliminationsleistung besteht. Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden.

Bei der PAK-Dosierung werden zuverlässig gute Eliminationsraten erzielt, wenn die PAK in ein separates Kontaktbecken mit nachfolgender Sedimentationseinheit dosiert wird und die PAK zusätzlich rezirkuliert wird (Variante 2) (33). Hinsichtlich der besonders standortrelevanten Stoffparameter Diclofenac und Candesartan ist zu sagen, dass nur bei Diclofenac gute Eliminationsleistungen zu erwarten sind. Candesartan kann nur mäßig eliminiert werden.

Mit einer Ozonung (Variante 3) sind ähnliche Eliminationsraten wie bei Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) zu erwarten. Allerdings ergeben sich bei dieser Variante Vorteile bezüglich der Elimination der besonders standortrelevanten Mikroschadstoffe Diclofenac und Candesartan. Beide Substanzen lassen sich mit einer Ozonung gut eliminieren.

Die Eliminationsleistung einer GAK-Filtration (Variante 4) ist ebenfalls mit der Variante 2 bzw. 3 vergleichbar und umfänglich untersucht. Maßgeblich ist hier die Standzeit bei der eine ausreichend gute Eliminationsrate gewährleistet wird, bevor das Filtermaterial ausgetauscht werden muss. Durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter (vgl. auch Kapitel 4.1.4) kann eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine längere Filterstandzeit erreicht werden, so dass die GAK-Filtration als Verfahren für die Mikroschadstoffelimination zunehmend an Bedeutung gewinnt. Das Potenzial zur Elimination der standortrelevanten Mikroschadstoffe ist jedoch nur als mäßig einzustufen.

#### Betriebsaufwand

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

#### Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Untersuchungen zeigen jedoch, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern zum großen Teil abgebaut werden (vgl. Kapitel 4.2.2). Durch die gewählte Sandfiltration für den Standort Niederkassel soll dies gewährleistet werden. Die Anzahl an Transformationsprodukten und deren Auswirkungen auf den Vorfluter sind jedoch nach derzeitigem Stand noch nicht vollumfänglich erforscht, was es bei der Verfahrenswahl zu beachten gilt. Weiterhin wird vor einer Umsetzung der Ozon-Variante empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen. Da es sich bei den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Untersuchungen nur um Stichproben handelt, ist eine weitere Beobachtung des Bromid-Gehalts vor der Entscheidung für eine Ozonanlage unbedingt erforderlich.

Weiterhin stellen die Phosphor- und Mikroplastikelimination, die Handhabung mit Gefahrenstoffen und die Umweltrelevanz bzw. der CO<sub>2</sub>-Footprint wichtige Kriterien zur Auswahl einer vierten Reinigungsstufe dar. In der folgenden Bewertung der nicht-monetären Faktoren werden diese ebenfalls berücksichtigt und kurz erläutert.

#### Bewertung der Eignung der Verfahren für den Standort Niederkassel

Die in den vorherigen Abschnitten erläuterten Punkte werden zur besseren Quantifizierbarkeit in einer Bewertungsmatrix dargestellt. Dabei werden ausschließlich die nicht-monetären Faktoren gegenübergestellt. Für jedes der neun Kriterien werden die Punktzahlen 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) vergeben, die wiederum prozentual gewichtet werden. Wie die einzelnen Faktoren abschließend zu gewichten sind, auch gegenüber den anfallenden Jahreskosten, sollte im Verlauf der weiteren Planung abgestimmt werden.

Kurze Erläuterung zu den Kriterien und der Bewertung:

- **Breitbandwirkung in Bezug auf die Eliminationsleistung:** Eines der Hauptargumente für die Umsetzung der Maßnahme, weswegen es mit 25 % gewichtet wird.

Variante 2 bis 4 werden bezüglich der Breitbandwirkung als gleichwertig angenommen und erhalten 4 Punkte. Für Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung) wird die Breitbandwirkung als befriedigend, also leicht schwächer mit 3 Punkten eingeschätzt.

- **Eliminationsleistung spezifisch für die Kläranlage Niederkassel:** Auch dieses Hauptkriterium wird mit 25 % gewichtet.

Am besten schneidet hier die Ozonung (Variante 3) mit 5 Punkten ab, da diese bezüglich der Elimination der standortrelevanten Schadstoffe gute Voraussetzungen mitbringt. Variante 1 und Variante 4 werden mit 3 Punkten am schwächsten bewertet.

- **Phosphorelimination:** Der Einsatz einer Flockungsfiltration erhöht die Phosphor-Eliminationsleistung der Kläranlage. Bei der Bewertung fließt auch eine potentielle Anpassung des Überwachungswertes mit ein, sodass das Kriterium mit 10 % gewichtet wird.

Aufgrund der vorgesehenen Vollstromfiltration erhält Variante 1 die höchstpunktzahl von 5 Punkten. Da für Variante 4 zunächst keine Flockungsfiltration vorgesehen wird, schneidet diese mit 2 Punkten am schwächsten ab.

- **Transformationsprodukte:** Bei der Ozonung ist mit einer Bildung von Transformationsprodukten zu rechnen. Eine Gefährdung durch entstehende Nebenprodukte kann noch nicht sicher ausgeschlossen werden. Auch dieses wichtige Kriterium wird mit 10 % gewichtet.

Bei den Varianten 1,2 und 4 entstehen keine Transformationsprodukte, weswegen diese die volle Punktzahl erhalten. Aufgrund der Ungewissheit bezüglich der Anzahl und Auswirkungen der Nebenprodukte beim Einsatz einer Ozonung (Variante 3), wird diese mit einem Punkt bewertet.

- **CO<sub>2</sub>-Footprint:** Der Parameter wird als Maß für die Umweltverträglichkeit der Verfahren berücksichtigt. Die zugrunde liegenden Daten stammen aus einer Bewertung des ökologischen Einflusses verschiedener Verfahren der Mikroschadstoffelimination (34) und einem Forschungsprojekt vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (58). Es ist zu beachten, dass die Errichtung einer vierten Reinigungsstufe auch immer mit erheblichen Energie- und Ressourcenverbräuchen einhergeht. Wesentliche Ziele des Klimaschutzes sind beispielsweise die Verringerung der Treibhausgasemissionen, Steigerung des Ressourcenschutzes, Ressourcen- und Energieeffizienz oder die Begrenzung der negativen Folgen des Klimawandels. Aus diesem Grund sollte der entsprechende CO<sub>2</sub>-Footprint eine entscheidende Rolle bei der Verfahrenswahl einnehmen. Dieses wichtige Kriterium wird demnach ebenfalls mit 10 % gewichtet.

Den besagten Studien ist zu entnehmen, dass eine GAK-Filtration mit Reaktivierung der Aktivkohle den geringsten ganzheitlichen CO<sub>2</sub>-Footprint verursacht, so dass hier die volle Punktzahl vergeben

wird. Auch die Ozonung ist vergleichsweise als gut (4 Punkte) zu bewerten, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen hauptsächlich dem eigenen Stromverbrauch zuzusprechen sind. Bei den PAK-Verfahren (Variante 1 und 2) hingegen, sind für den Herstellungsprozess der Aktivkohle beträchtliche Mengen thermischer Energie notwendig, wodurch die ganzheitlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei diesen Verfahren am höchsten sind. Infolgedessen erhalten Variante 1 (1 Punkt) und Variante 2 (2 Punkte) die schlechtesten Bewertungen in dieser Kategorie.

- **Vorhandene Betriebserfahrung:** Je mehr Pilotanlagen und/oder großtechnische Anlagen gebaut und betrieben werden, desto sicherer lässt sich sagen, ob das angestrebte Reinigungsziel mit einer bestimmten Technologie erreicht werden kann. Auch die Kostenschätzung für gut erprobte Verfahren ist genauer. Hier wird eine Gewichtung von 5 % angesetzt.

Die Varianten 2 bis 4 sind bereits mehrfach großtechnisch realisiert worden, weswegen diese die Höchstpunktzahl von 5 Punkten erhalten. Für Variante 1 gibt es bisher kaum Erfahrungen aus großtechnischen Anlagen. Aus diesem Grund werden hier nur 2 Punkte vergeben.

- **Wartungs-/ Betriebsaufwand:** Auch dieser Punkt ist insbesondere aus betrieblicher Sicht ein weiteres wichtiges Kriterium und wird mit 5 % gewichtet.

Aufgrund der aufwändigen Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle wird der Wartungs- und Betriebsaufwand für Variante 1 und 2 am höchsten eingeschätzt und mit 3 Punkten bewertet. Bei der Ozonung (Variante 3) entsteht ein zusätzlicher Aufwand dadurch, dass das Personal für die Handhabung von Sauerstoff als Gefahrenstoff speziell geschult werden muss, jedoch ist der Betriebs- und Wartungsaufwand im Anschluss gering, sodass hier 4 Punkte angesetzt werden. Der Aufwand bei der GAK-Filtration wird als gering eingeschätzt. Variante 4 erhält somit die volle Punktzahl.

- **Gefahrenstoffe auf der Kläranlage:** Gefahrenstoffe erhöhen das Unfallrisiko auf der Kläranlage und sind somit zu berücksichtigen. Als Gewichtung werden 5 % angesetzt.

Bei Variante 1,2 und 4 werden keine Gefahrenstoffe eingesetzt, sodass diese die volle Punktzahl erhalten. Variante 3 (Ozonung) erhält in dieser Kategorie nur einen Punkt, da das eingesetzte Ozon sowohl hochexplosiv und brandfördernd ist, als auch als gesundheits- sowie klimaschädlich eingestuft wird.

- **Mikroplastikelimination:** Auch wenn derzeit keine gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Mikroschadstoffelimination bestehen, rückt diese Thematik immer weiter in den Vordergrund. Aus diesem Grund wird dieser Punkt mit aufgenommen und mit 5 % gewichtet.

Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung) wird bezüglich der Mikroplastikelimination das höchste Potenzial zugesprochen. Grund dafür in die auf den Vollstrom ausgelegt Flockungsfiltration. Für die Varianten 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) und 3 (Ozonung) ist jeweils eine Flockungsfiltration für den Teilstrom vorgesehen, sodass diese mit 4 Punkten bewertet werden, da auch bei dieser Auslegung ein Großteil der Jahresabwassermenge behandelt werden kann. Bei der GAK-

Filtration (Variante 4) ist zunächst keine zusätzliche Filtrationsstufe eingeplant, sodass hier nur geringes Potenzial besteht.

Mit der gewählten Gewichtung ergibt sich für die Kläranlage Niederkassel die folgende Verteilung (Tabelle 7-4):

Kriterium	Gewichtung [%]	Variante 1: PAK-Dosierung in Belebung		Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken		Variante 3: Ozonung		Variante 4: GAK-Filtration	
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Eliminationsleistung/ Breitbandwirkung	25	3	0,75	4	1	4	1	4	1
Eliminationsleistung spez. KA Niederkassel	25	3	0,75	4	1	5	1,25	3	0,75
Phosphorelimination	10	5	0,5	4	0,4	4	0,4	2	0,2
Transformationsprodukte	10	5	0,5	5	0,5	1	0,1	5	0,5
CO2-Footprint	10	1	0,1	2	0,2	4	0,4	5	0,5
vorhandene Betriebserfahrung	5	2	0,1	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Wartungs-/ Betriebsaufwand	5	3	0,15	3	0,15	4	0,2	5	0,25
Gefahrenstoffe auf der Kläranlage	5	5	0,25	5	0,25	1	0,05	5	0,25
Mikroplastikelimination	5	5	0,25	4	0,2	4	0,2	2	0,1
<b>Summe</b>	100		<b>3,35</b>		<b>3,95</b>		<b>3,85</b>		<b>3,8</b>

Punktwertung: 1 = schlecht 2 = ausreichend 3 = befriedigend 4 = gut 5 = sehr gut

**Tabelle 7-4: Bewertungsmatrix nicht-monetärer Faktoren**

Hinsichtlich der nicht-monetären Faktoren geht Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) mit 3,95 Punkten als bestgeeignetste Variante aus dem Ranking hervor. Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung) schneidet am schlechtesten ab.

#### Voraussichtliche Kosten

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die Ozonung mit knapp 240.000 €. Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten liegen im Bereich von 360.000 € bis 370.000 € recht nah beieinander. Es ist jedoch vor der weiteren Planung zu prüfen, ob die ausgewerteten Messungen bezüglich der Bromidkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage im Rahmen dieser Studie bestätigt werden können. Werden zwischenzeitlich (wesentlich) höhere Konzentrationen erreicht, könnte dies die Eignung des Verfahrens in Frage stellen. Weiterhin gilt es zu beachten, dass die Unterschiede der Jahreskosten noch im Bereich der Schätzungenauigkeit liegen, sodass auf dieser Grundlage kein eindeutiges Vorzugsverfahren ausgewählt werden kann.

#### Notwendigkeit der Errichtung einer vierten Reinigungsstufe am Standort Niederkassel

Die vorliegende Machbarkeitsstudie zeigt, dass am Standort Niederkassel grundsätzlich verschiedenen Verfahren zur Mikroschadstoffelimination umgesetzt werden können, die zu einer Verbesserung der Ablaufqualität der Kläranlage führen werden.

Die Auswertungen bezüglich der Ablaufwerte der Kläranlage Niederkassel zeigen, dass die Kläranlage insgesamt eine gute Reinigungsleistung aufweist (vgl. Kapitel 5.3 und 5.4).

Bei den gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage sind einige Auffälligkeiten festzustellen (vgl. Kapitel 5.6). Die Hälfte der untersuchten Stoffkonzentrationen überschreiten die Mittelwerte, die in Abläufen anderer Kläranlagen gemessen wurden. Jeder dieser Stoffe kann der Gruppe der Arzneimittelrückstände zugeordnet werden. Grund dafür können die angeschlossenen Pflegeeinrichtungen und Arztpraxen sein. Die Maximalwerte vergleichbarer Anlagen werden jedoch teilweise deutlich unterschritten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, sodass von dieser Seite nicht mit relevanten Mikroschadstoffeinträgen zu rechnen ist.

Die Kläranlage Niederkassel befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen, das FFH-Gebiet DE-4405-301 „Rhein-Fischschutzzonen zwischen Emmerich und Bad Honnef“ wird jedoch durchflossen. Zu beachten ist, dass es sich beim Vorfluter Rhein um einen starken Vorfluter handelt, der nur eine verhältnismäßig geringe Abwassermenge der Kläranlage Niederkassel aufnehmen muss.

In der Studie „Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen“ (10) wird beschrieben, dass es hinsichtlich der Verbesserung der Gewässersituation in NRW voraussichtlich vorrangig sinnvoll ist, zunächst Kläranlagen mit einer vierten 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 Mikroschadstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Eine gesetzliche Grundlage gibt es allerdings bis dato nicht. Für den Standort Niederkassel treffen die oben genannten Punkte nicht zu. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass das Verhältnis der Einleitungsmenge der Kläranlage Niederkassel zum mittleren Abfluss des Rheins weniger als 0,01 % beträgt, ist keine vorrangige Notwendigkeit zur Errichtung einer vierten Reinigungsstufe festzustellen.

Der Nutzen der vierten Reinigungsstufe muss weiterhin auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden. So verursacht der Betrieb der vierten Reinigungsstufe einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz.

## **7.6 Finanzierungsmöglichkeiten einer 4. Reinigungsstufe**

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

### Förderung der Investitionen

Vom Land Nordrhein-Westfalen werden bei einer Antragstellung ab 2020 ausgewählte Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination mit der Übernahme von 50 % der Erstinvestitionen gefördert. Hinsichtlich der

langfristigen Entwicklung der Förderung durch das Land NRW können keine verbindlichen Aussagen getroffen werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Förderung wesentlich reduziert wird oder erlischt, sobald eine Verpflichtung zur weitergehenden Spurenstoffelimination eingeführt werden sollte.

#### Erklärung niedrigerer Überwachungswerte

Durch den Betrieb einer vierten Reinigungsstufe können sich – in Abhängigkeit von der gewählten Verfahrensvariante – signifikante Einsparungen bei der Höhe der Abwasserabgabe ergeben, indem ausgewählte Parameter niedriger erklärt werden. So kann mit einer zusätzlichen Flockungsfiltration, wie bei den PAK-Verfahren (Variante 1 und 2) und der Ozonung (Variante 3) vorgesehen, voraussichtlich sowohl die CSB- als auch  $P_{\text{ges}}$ -Konzentration im Ablauf der Kläranlage reduziert werden. 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 vierten 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 vierten Reinigungsstufe).

Mögliche zukünftige Finanzierungsmodelle für Kläranlagen, die vorrangig eine Mikroschadstoffelimination durchführen sollten, werden auch im sog. „Leipziger Modell“ vorgestellt (59).

### **7.7 Auswahl Vorzugsverfahren**

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht die Ozonung (Variante 3) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor. Mit rund 346.000 € Jahreskosten liegt diese zwischen 20.000 €/a und 30.000 €/a unterhalb der anderen betrachteten Varianten. Dazu sei jedoch angemerkt, dass die ermittelten Jahreskosten der einzelnen Varianten recht nah beieinander und damit im Bereich der Schätzungenauigkeit liegen. Es ist demnach nicht auszuschließen, dass veränderte Parameter bezüglich der Verfahrensführung oder des Ressourcen- und Stromverbrauchs eine andere Variante als kostengünstigstes Verfahren hervorbringen.

Die Betrachtung relevanter, nicht-monetärer Faktoren weist Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) als das am besten geeignete Verfahren aus (vgl. Kapitel 7.5). Diese Bewertung kann jedoch stark variieren, wenn die aufgeführten Kriterien z.B. durch Änderungen der äußeren Umstände anders gewichtet werden.

Hinsichtlich der Reinigungsleistung sind grundsätzlich alle vorgestellten Varianten in der Lage, eine zufriedenstellende Eliminationsleistung zu erbringen. Speziell für den Standort Niederkassel zeigen die Messauswertungen, dass jedoch insbesondere für die Elimination der Substanzen Diclofenac und Candesartan eine besondere Relevanz besteht (vgl. Kapitel 5.6). Diesbezüglich eignet sich eine Ozonbehandlung (Variante 3) am besten (vgl. Kapitel 5.7), sodass diese gegenüber den Aktivkohleverfahren zu favorisieren wäre. Dabei sind allerdings die entstehenden Transformationsprodukte zu beachten, deren Auswirkungen

auf die Umwelt noch nicht vollumfänglich erforscht sind. Nach derzeitigem Wissensstand kann eine biologisch aktive Nachbehandlungsstufe zwar den Großteil der entstandenen Nebenprodukte entfernen, dennoch sind weitere Studien notwendig, um das Restrisiko abschließend einschätzen zu können. Damit ergibt sich ein elementarer Vorteil beim Einsatz von Aktivkohle, da die adsorptiven Verfahren die Spurenstoffe aus dem Abwasser entfernen, anstatt diese in andere Stoffe umzuwandeln.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl eine PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken (Variante 2) als auch eine Ozonung (Variante 3) als vierte Reinigungsstufe auf der Kläranlage Niederkassel zu empfehlen sind. Dabei ist Variante 2 bei den nicht-monetären Bewertungskriterien leicht im Vorteil, während Variante 3 das voraussichtlich kostengünstigste Verfahren darstellt und bezüglich der Elimination standortrelevanter Spurenstoffe zu favorisieren ist.

## **7.8 Fazit und weiteres Vorgehen**

Die vorliegende Machbarkeitsstudie zeigt, dass am Standort Niederkassel grundsätzlich verschiedene Konzepte zur Mikroschadstoffelimination umgesetzt werden können. Eine Schwierigkeit für Planer und Betreiber besteht aktuell noch darin, dass keine gesetzlichen Vorgaben zum Reinigungsziel einer vierten Reinigungsstufe festgelegt sind und somit die Verfahrenswahl und auch die allgemeine Notwendigkeit einer weitergehenden Spurenstoffelimination individuell abzuwägen ist.

Als Vorzugsverfahren für die Kläranlage Niederkassel kommt aufgrund der berechneten Jahreskosten die Variante 3 (Ozonung) infrage. Auch bezüglich der Elimination standortrelevanter Spurenstoffe ist die Ozonung zu favorisieren. Vor einer etwaigen Umsetzung sind die Bromidkonzentrationen im Ablauf der Nachklärung erneut zu untersuchen. Die vorliegenden Messungen deuten jedoch darauf hin, dass diesbezüglich keine Probleme zu erwarten sind. Des Weiteren ist im Hinblick auf sonstige, nicht-monetäre Faktoren, auch die Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken) zu empfehlen. Die Wichtung der Wirtschaftlichkeit gegenüber den anderen Faktoren ist noch festzulegen.

Bezüglich einer Beurteilung der Notwendigkeit zur Errichtung einer vierten Reinigungsstufe ist zu sagen, dass einige Auffälligkeiten bei den Mikroschadstoffkonzentration festzustellen sind. Insbesondere für die Substanzen Candesartan und Diclofenac können im Vergleich zu anderen Kläranlagen hohe Ablaufwerte beobachtet werden (vgl. Kapitel 5.6). Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Einleitungsmenge der Kläranlage Niederkassel im Vergleich zum Abfluss des Rheins anteilig weniger als 0,01 % ausmacht, sodass kein messbarer Einfluss der Kläranlage auf den Vorfluter festgestellt werden kann (vgl. Kapitel 5.5). Trinkwassergewinnungsgebiete werden unterhalb der Einleitungsstelle nicht durchflossen. Eine vorrangige Notwendigkeit zur Errichtung einer vierten Reinigungsstufe kann für den Standort Niederkassel demnach nicht ausgemacht werden.

Da der Nutzen der vierten Reinigungsstufe auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden muss – der Betrieb der vierten Reinigungsstufe verursacht einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz – wäre es für den Betreiber der Kläranlage sinnvoll, wenn Betriebserfahrungen der schon bestehenden Anlagen und bald in Betrieb gehender Anlagen sowie Ergebnisse von



Forschungsprojekten der kommenden Jahre abgewartet werden, um dann ggf. in Zukunft in Abstimmung mit den Behörden eine effektive und zuverlässige Verfahrenstechnik am Standort auszuwählen und umzusetzen.

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

Aufgrund der unklaren gesetzlichen Entwicklung und vor dem Hintergrund, dass am Standort Niederkassel nach derzeitigem Stand keine vorrangige Notwendigkeit zur Errichtung einer weitergehenden Spurenstoffelimination festgestellt werden kann, wird empfohlen mit dem Bau einer vierten Reinigungsstufe abzuwarten, bis entsprechende Regelungen existieren.

## **8 Anhang A - Untersuchungsergebnisse**

### **8.1 Untersuchungsergebnisse Vorfluter**

#### **8.1.1 Screening-Ergebnisse**

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



Leopoldshöhe, 23.12.2019 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Rhein oberhalb der Einleitung  
 (2) Rhein unterhalb der Einleitung

**Entnahme:** (1) 03.12.2019 qualifizierte Stichprobe: 13:50 Uhr - 14:00 Uhr Laboreingang: 03.12.2019  
 (2) 03.12.2019 qualifizierte Stichprobe: 14:40 Uhr - 14:50 Uhr Laboreingang: 03.12.2019

**Abfluss:** (1) Mittelwasser (2) Mittelwasser

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

**Witterung:** (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor geringer Niederschlag, Lufttemperatur: 7 °C  
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor geringer Niederschlag, Lufttemperatur: 8 °C

Analysennummer:		243971	243983	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
pH-Wert		7,88	7,92	DIN EN ISO 10523 : 2012..
Leitfähigkeit 25 °C	µS/cm	398	438	DIN EN 27888 : 1993-11
<i>Messungen im Labor</i>				
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	8	11	DIN EN 872 : 2005-04
DOC	mg/l	2,1	2,3	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,011	0,011	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,10	0,11	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA )	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		243971	243983	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,02	< 0,02	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Clarithromycin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,052	0,057	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	0,045	0,044	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Carbamazepin	µg/l	0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Gabapentin	µg/l	0,330	0,310	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metoprolol	µg/l	0,054	0,061	LC-MS/MS (In Anl. an DI..
Sotalol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bisoprolol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metformin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Guanylhamstoff	µg/l	0,740	0,650	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Amidotrizoensäure	µg/l	0,160	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
lomeprol	µg/l	0,280	0,320	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopamidol	µg/l	0,230	0,260	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopromid	µg/l	0,086	0,110	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bezafibrat	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Candesartan	µg/l	0,190	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Losartan	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Valsartan	µg/l	0,150	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Diclofenac	µg/l	0,110	0,110	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Ibuprofen	µg/l	0,012	0,014	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tramadol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
A-YES	ng EEQ/l	0,110	0,069	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	0,20	0,28	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	42,0	38,0	
Benzotriazol	µg/l	0,520	0,490	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Mecoprop	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Terbutryn	µg/l	< 0,02	< 0,02	LC-MS/MS (In Anl. An DI..

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

Analysennummer:		243971	243983	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 23.12.2019 NC

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Rhein oberhalb der Einleitung  
 (2) Rhein unterhalb der Einleitung

**Entnahme:** (1) 12.12.2019 qualifizierte Stichprobe: 11:50 Uhr - 12:00 Uhr Laboreingang: 12.12.2019  
 (2) 12.12.2019 qualifizierte Stichprobe: 12:40 Uhr - 12:50 Uhr Laboreingang: 12.12.2019

**Abfluss:** (1) Mittelwasser (2) Mittelwasser

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

**Witterung:** (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor starker Dauerregen, Lufttemperatur: 6 °C  
 (2) Während der Probe kein Niederschlag, davor starker Dauerregen, Lufttemperatur: 6 °C

Analysennummer:		243986	243984	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
pH-Wert		7,81	7,73	DIN EN ISO 10523 : 2012..
Leitfähigkeit 25 °C	µS/cm	287	385	DIN EN 27888 : 1993-11
<i>Messungen im Labor</i>				
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	65	40	DIN EN 872 : 2005-04
DOC	mg/l	3,5	3,5	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,02	0,018	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	< 0,05	0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluorooctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordekansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		243986	243984	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Clarithromycin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	0,044	0,052	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Carbamazepin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Gabapentin	µg/l	0,380	0,290	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metoprolol	µg/l	0,054	0,049	LC-MS/MS (In Anl. an DI..
Sotalol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bisoprolol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metformin	µg/l	0,150	0,370	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Guanylhamstoff	µg/l	0,870	0,740	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Amidotrizoensäure	µg/l	0,072	0,079	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
lomeprol	µg/l	0,250	0,260	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopamidol	µg/l	0,10	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopromid	µg/l	0,055	0,075	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bezafibrat	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Candesartan	µg/l	0,170	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Losartan	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Valsartan	µg/l	0,190	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Diclofenac	µg/l	0,097	0,089	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Ibuprofen	µg/l	0,047	0,022	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tramadol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
A-YES	ng EEQ/l	0,150	0,110	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	0,20	0,20	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	50,0	62,0	
Benzotriazol	µg/l	0,350	0,400	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Mecoprop	µg/l	< 0,05	< 0,05	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Propiconazol	µg/l	0,087	0,067	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Terbutryn	µg/l	< 0,02	< 0,02	LC-MS/MS (In Anl. An DI..

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

<i>Analysennummer:</i>		243986	243984	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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



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



## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 21.07.2020 NC

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Rhein oberhalb der Einleitung  
 (2) Rhein unterhalb der Einleitung

**Entnahme:** (1) 04.06.2020 qualifizierte Stichprobe: 11:00 Uhr - 11:10 Uhr Laboreingang: 04.06.2020

(2) 04.06.2020 qualifizierte Stichprobe: 11:40 Uhr - 11:50 Uhr Laboreingang: 04.06.2020

**Abfluss:** (1) Mittel-Niedrigwasser (2) Mittel-Niedrigwasser

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

**Witterung:** (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 14 °C

(2) Während der Probe kein Niederschlag, davor leichte Schauer, Lufttemperatur: 14 °C

Analysennummer:		243221	244301	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassertemperatur	°C	19,6	19,8	DIN 38404-4 : 1976-12
pH-Wert		7,81	7,64	DIN EN ISO 10523 : 2012..
Leitfähigkeit 25 °C	µS/cm	516	516	DIN EN 27888 : 1993-11
<i>Messungen im Labor</i>				
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	< 5	7	DIN EN 872 : 2005-04
DOC	mg/l	2,8	3,1	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,006	< 0,006	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,14	0,15	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordekansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		243221	244301	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Clarithromycin	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,031	0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxy-car	µg/l	0,110	0,095	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Carbamazepin	µg/l	0,061	0,05	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Gabapentin	µg/l	0,250	0,210	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Metoprolol	µg/l	0,042	0,038	LC-MS/MS (In Anl. an Dl..
Sotalol	µg/l	0,012	0,011	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Bisoprolol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Metformin	µg/l	0,580	0,380	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Guanylharnstoff	µg/l	0,270	0,260	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Amidotrizoensäure	µg/l	0,220	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iomeprol	µg/l	0,610	0,540	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iopamidol	µg/l	0,260	0,220	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iopromid	µg/l	0,130	0,078	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Bezafibrat	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Candesartan	µg/l	0,280	0,250	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Losartan	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Valsartan	µg/l	0,160	0,140	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Diclofenac	µg/l	0,067	0,064	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Ibuprofen	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Tramadol	µg/l	0,022	0,021	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
A-YES	ng EEQ/l	0,040	0,037	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	< 0,03	0,04	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	71,0	62,0	
Benzotriazol	µg/l	0,870	0,790	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Flufenacet	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Isoproturon	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Mecoprop	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..

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

Analysennummer:		243221	244301	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
Messungen im Labor				
Terbutryn	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An D1..)

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

Leopoldshöhe, 21.07.2020 NC

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Rhein oberhalb der Einleitung  
 (2) Rhein unterhalb der Einleitung

**Entnahme:** (1) 10.06.2020 qualifizierte Stichprobe: 10:35 Uhr - 10:45 Uhr Laboreingang: 10.06.2020

(2) 10.06.2020 qualifizierte Stichprobe: 11:20 Uhr - 11:30 Uhr Laboreingang: 10.06.2020

**Abfluss:** (1) Mittel-Niedrigwasser (2) Mittel-Niedrigwasser

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

**Witterung:** (1) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 17 °C

(2) Während der Probe kein Niederschlag, davor kein Niederschlag, Lufttemperatur: 17 °C

Analysennummer:		244302	244319	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassertemperatur	°C	18,5	18,8	DIN 38404-4 : 1976-12
pH-Wert		8,15	8,19	DIN EN ISO 10523 : 2012..
Leitfähigkeit 25 °C	µS/cm	501	511	DIN EN 27888 : 1993-11
<i>Messungen im Labor</i>				
abfiltrierbare Stoffe	mg/l	150	< 5	DIN EN 872 : 2005-04
DOC	mg/l	2,0	2,1	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,008	0,008	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,15	0,18	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordekansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		244302	244319	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Clarithromycin	µg/l	< 0,01	0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Sulfamethoxazol	µg/l	0,043	0,036	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	0,130	0,10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Carbamazepin	µg/l	0,061	0,056	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Gabapentin	µg/l	0,320	0,400	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metoprolol	µg/l	0,07	0,072	LC-MS/MS (In Anl. an DI..)
Sotalol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bisoprolol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metformin	µg/l	0,740	1,100	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Guanylhamstoff	µg/l	0,300	0,270	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Amidotrizoensäure	µg/l	0,170	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iomeprol	µg/l	0,500	0,490	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iopamidol	µg/l	0,300	0,350	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iopromid	µg/l	0,190	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bezafibrat	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Candesartan	µg/l	0,280	0,280	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Losartan	µg/l	0,013	0,016	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Valsartan	µg/l	0,200	0,260	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Diclofenac	µg/l	0,065	0,078	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Ibuprofen	µg/l	< 0,01		LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tramadol	µg/l	0,025	0,024	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
A-YES	ng EEQ/l	0,030	0,028	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	0,07	0,11	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Galaxolide (HHCB)	ng/l	92,0	73,0	
Benzotriazol	µg/l	0,760	0,830	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Mecoprop	µg/l	0,033	0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)

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

Analysennummer:		244302	244319	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
Messungen im Labor				
Terbutryn	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An D1..

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

8.1.2 Auswertung Screening-Ergebnisse

Datum Probenahme			Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	OW bzw. JMW
			Einleitung	Einleitung		Einleitung	Einleitung		
			03.12.19			12.12.2019			
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin	µg/l	0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	0,5
	Clarithromycin	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	0,1
	Diclofenac	µg/l	0,11	0,11	0%	0,097	0,089	-8%	0,05
	Ibuprofen	µg/l	0,012	0,014	17%	0,047	0,022	-53%	0,01
	Metoprolol	µg/l	0,054	0,061	13%	0,054	0,049	-9%	7,3
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,052	0,057	10%	<0,03	<0,03	0%	0,6
	Valsartan	µg/l	0,15	0,16	7%	0,19	0,19	0%	0,1
	Losartan	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	0,1
	Candesartan	µg/l	0,19	0,16	-16%	0,17	0,18	6%	0,1
	Gabapentin	µg/l	0,33	0,31	-6%	0,38	0,29	-24%	0,1
Östrogene	Ciprofloxacin	µg/l	<0,02	<0,02	0%	<0,03	<0,03	0%	0,036
	Guanylarnstoff	µg/l	0,74	0,65	-12%	0,87	0,74	-15%	
Pestizide	A-YES	ng EEQ/l	0,11	0,069	-37%	0,15	0,11	-27%	
	Terbutryn	µg/l	<0,02	<0,02	0%	<0,02	<0,02	0%	0,065
	Mecoprop	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,05	<0,05	0%	0,1
	Isoproturon	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	0,3
	Flufenacet	µg/l	<0,01	<0,01	0%	<0,01	<0,01	0%	0,04
Korrosionsschutz	Tebuconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	1
	Propiconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0%	0,087	0,067	-23%	1
Moschusduftstoffe	1h-Benzotriazol	µg/l	0,52	0,49	-6%	0,35	0,4	14%	10
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Galaxolide (HHCB)	ng/l	42	38	-10%	50	62	24%	
	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze						0,1
Süßstoffe	Summe PFT NRW-Liste	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze						0,1
Sonstige	Acesulfam	µg/l	0,2	0,28	40%	0,2	0,2	0%	0,1
	Bromid (Br)	mg/l	0,1	0,11	10%	<0,05	0,05	0%	
	PH-Wert		7,88	7,92	1%	7,81	7,73	-1%	
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	398	438	10%	287	385	34%	
	DOC	mg/l	2,1	2,3	10%	3,5	3,5	0%	
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l	8	11	38%	65	40	-38%	
	Nitrit	mg/l	0,011	0,011	0%	0,02	0,018	-10%	

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

Datum Probenahme			Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	Oberhalb	Unterhalb	Zunahme	OW bzw. JMW
			Einleitung	Einleitung		Einleitung	Einleitung		
			04.06.2020			10.06.2020			
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin	µg/l	0,061	0,05	-18%	0,061	0,056	-8%	0,5
	Clarithromycin	µg/l	<0,01	<0,01	0%	<0,01	0,01	0%	0,1
	Diclofenac	µg/l	0,067	0,064	-4%	0,065	0,078	20%	0,05
	Ibuprofen	µg/l	<0,01	<0,01	0%	<0,01	<0,01	0%	0,01
	Metoprolol	µg/l	0,042	0,038	-10%	0,07	0,072	3%	7,3
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,031	0,03	-3%	0,043	0,036	-16%	0,6
	Valsartan	µg/l	0,16	0,14	-13%	0,2	0,26	30%	0,1
	Losartan	µg/l	<0,03	<0,03	0%	0,013	0,016	23%	0,1
	Candesartan	µg/l	0,28	0,25	-11%	0,28	0,28	0%	0,1
	Gabapentin	µg/l	0,25	0,21	-16%	0,32	0,4	25%	0,1
Östrogene	Ciprofloxacin	µg/l	<0,01	<0,01	0%	<0,01	<0,01	0%	0,036
	Guanylarnstoff	µg/l	0,27	0,26	-4%	0,3	0,27	-10%	
Pestizide	A-YES	ng EEQ/l	0,04	0,037	-8%	0,03	0,028	-7%	
	Terbutryn	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,01	<0,01	0%	0,065
	Mecoprop	µg/l	<0,03	<0,03	0%	0,033	0,03	-9%	0,1
	Isoproturon	µg/l	<0,01	<0,01	0%	<0,03	<0,03	0%	0,3
	Flufenacet	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,01	<0,01	0%	0,04
Korrosionsschutz	Tebuconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,01	<0,01	0%	1
	Propiconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0%	<0,03	<0,03	0%	1
Moschusduftstoffe	1h-Benzotriazol	µg/l	0,87	0,79	-9%	0,76	0,83	9%	10
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Galaxolide (HHCB)	ng/l	71	62	-13%	92	73	-21%	
	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze						0,1
Süßstoffe	Summe PFT NRW-Liste	µg/l	alle Einzelparameter unterhalb der Bestimmungsgrenze						0,1
Sonstige	Acesulfam	µg/l	<0,03	0,04	33%	0,07	0,11	57%	0,1
	Bromid (Br)	mg/l	<0,05	<0,05	0%	<0,05	<0,05	0%	
	PH-Wert		7,81	7,64	-2%	8,15	8,19	0%	
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	516	516	0%	501	511	2%	
	DOC	mg/l	2,8	3,1	11%	2	2,1	5%	
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l	<5,00	7	40%	150	<5,00	-97%	
	Nitrit	mg/l	0,14	0,15	7%	0,15	0,18	20%	

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

## 8.2 Untersuchungsergebnisse Kläranlage

### 8.2.1 Screening-Ergebnisse

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



Leopoldshöhe, 23.12.2019 NC

### UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 03.12.2019 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 12:30 Uhr-12:30 Uhr Laboreingang: 05.12.2019  
 (2) 03.12.2019 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 12:30 Uhr-12:30 Uhr Laboreingang: 05.12.2019

Analysennummer:		59840 243806	59841 243954	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
pH-Wert (Fremdmess.)		7,64	7,25	
Leitfähigkeit 25 °C (Fremdmess.)	µS/cm	1310	725	
<i>Messungen im Labor</i>				
DOC	mg/l	81 (mv)	8,5	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	< 0,02		DIN EN ISO 10304-1 : 20..
Nitrit - N	mg/l		0,095	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,35	0,07	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluorooctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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



Analysennummer:		59840 243806	59841 243954	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Perfluorooctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluorooctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	0,160	< 20	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Clarithromycin	µg/l	0,550	0,310	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Sulfamethoxazol	µg/l	1,20	0,360	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	3,00	1,80	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Carbamazepin	µg/l	0,760	0,770	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Gabapentin	µg/l	23,00	4,400	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metoprolol	µg/l	3,50	2,70	LC-MS/MS (In Anl. an DI..)
Sotalol	µg/l	0,320	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bisoprolol	µg/l	0,780	0,540	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metformin	µg/l	90,00	0,680	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Guanylharnstoff	µg/l	0,270	7,500	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Amidotrizoensäure	µg/l	1,80	1,30	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
lomeprol	µg/l	9,00	1,10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
lopamidol	µg/l	9,00	3,60	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
lopromid	µg/l	3,00	0,690	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bezafibrat	µg/l	1,50	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Candesartan	µg/l	10,00	7,700	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Losartan	µg/l	0,750	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Valsartan	µg/l	14,00	5,800	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Diclofenac	µg/l	5,30	4,90	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Ibuprofen	µg/l	22,0	< 10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tramadol	µg/l	0,380	0,340	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
A-YES	ng EEQ/l	150,00	1,100	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	57	0,56	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Galaxolide (HHCB)	ng/l	7100	985	
Benzotriazol	µg/l	28,0	9,00	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Mecoprop	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Terbutryn	µg/l	0,023	0,027	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)

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

Analysennummer:		59840 243806	59841 243954	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 23.12.2019 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 11.12.2019 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 00:00 Uhr-24:00 Uhr Laboreingang: 12.12.2019  
 (2) 11.12.2019 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 16:00 Uhr-16:00 Uhr Laboreingang: 12.12.2019

Analysennummer:		59836 243667	59837 243950	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
DOC	mg/l	7,6 (mv)	6,6	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,11	0,12	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA )	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluorooctansäure (	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluorooctansulfonamid	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		59836 243667	59837 243950	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Clarithromycin	µg/l	0,081	0,590	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Sulfamethoxazol	µg/l	0,043	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	0,230	1,40	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Carbamazepin	µg/l	0,190	0,590	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Gabapentin	µg/l	3,000	5,000	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metoprolol	µg/l	0,430	2,00	LC-MS/MS (In Anl. an DI..)
Sotalol	µg/l	0,074	0,200	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bisoprolol	µg/l	0,120	0,640	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metformin	µg/l	22,00	0,890	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Guanylhamstoff	µg/l	0,140	13,00	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Amidotrizoensäure	µg/l	0,210	0,270	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iomeprol	µg/l	0,990	3,10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iopamidol	µg/l	0,190	4,60	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Iopromid	µg/l	0,320	0,530	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bezafibrat	µg/l	0,140	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Candesartan	µg/l	1,600	7,500	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Losartan	µg/l	0,120	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Valsartan	µg/l	1,900	6,700	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Diclofenac	µg/l	0,850	3,40	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Ibuprofen	µg/l	3,60	0,120	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tramadol	µg/l	0,038	0,170	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
A-YES	ng EEQ/l	42,000	< 0,03	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	5,6	0,72	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Galaxolide (HHCB)	ng/l	867	811	
Benzotriazol	µg/l	3,00	9,60	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Mecoprop	µg/l	< 0,05	< 0,05	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Propiconazol	µg/l	0,110	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Terbutryn	µg/l	0,036	0,091	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)

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

<i>Analysennummer:</i>		59836 243667	59837 243950	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe

**Entnahme:** (1) 04.06.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 10:20 Uhr-10:20 Uhr Laboreingang: 09.06.2020

Analysennummer:		59840 243872	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
pH-Wert (Fremdmess.)		6,71	
Leitfähigkeit 25 °C (Fremdmess.)	µS/cm	911	
<i>Messungen im Labor</i>			
DOC	mg/l	110 (mv)	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,012	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluomonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluorooctansäure (	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansulfonsäure (gPFOS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		59840 243872	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Ciprofloxacin	µg/l	0,037	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Clarithromycin	µg/l	0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	2,10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Carbamazepin	µg/l	3,90	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Gabapentin	µg/l	10,00	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metoprolol	µg/l	1,90	LC-MS/MS (In Anl. an DI..
Sotalol	µg/l	0,067	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bisoprolol	µg/l	0,580	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Metformin	µg/l	38,00	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Guanylharnstoff	µg/l	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Amidotrizoesäure	µg/l	0,880	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
lomeprol	µg/l	9,20	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopamidol	µg/l	8,90	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Iopromid	µg/l	1,20	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Bezafibrat	µg/l	0,730	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Candesartan	µg/l	4,000	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Losartan	µg/l	0,780	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Valsartan	µg/l	9,500	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Diclofenac	µg/l	3,80	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Ibuprofen	µg/l	17,0	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tramadol	µg/l	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
A-YES	ng EEQ/l	16,000	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	24	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	16500	
Benzotriazol	µg/l	10,0	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Flufenacet	µg/l	0,022	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Isoproturon	µg/l	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Mecoprop	µg/l	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Propiconazol	µg/l	0,025	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Tebuconazol	µg/l	0,019	LC-MS/MS (In Anl. An DI..
Terbutryn	µg/l	0,084	LC-MS/MS (In Anl. An DI..

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

<i>Analysennummer:</i>		59840 243872	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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



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



Leopoldshöhe, 21.07.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 04.06.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 10:30 Uhr-10:30 Uhr Laboreingang: 09.06.2020

Analysennummer:		59841 243956	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
pH-Wert (Fremdmess.)		7,18	
Leitfähigkeit 25 °C (Fremdmess.)	µS/cm	875	
<i>Messungen im Labor</i>			
DOC	mg/l	11	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,77	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,1 (m)	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPe)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		59841 243956	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluorooctansulfonamid	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Ciprofloxacin	µg/l	0,037	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Clarithromycin	µg/l	0,032	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,240	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	2,80	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Carbamazepin	µg/l	1,20	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Gabapentin	µg/l	2,000	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Metoprolol	µg/l	2,40	LC-MS/MS (In Anl. an Di..
Sotalol	µg/l	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Bisoprolol	µg/l	0,620	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Metformin	µg/l	0,880	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Guanylhamstoff	µg/l	3,700	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Amidotrizoensäure	µg/l	0,960	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
lomeprol	µg/l	5,10	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
lopamidol	µg/l	5,60	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Iopromid	µg/l	1,20	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Bezafibrat	µg/l	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Candesartan	µg/l	4,900	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Losartan	µg/l	0,320	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Valsartan	µg/l	6,700	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Diclofenac	µg/l	5,60	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Ibuprofen	µg/l	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Tramadol	µg/l	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
A-YES	ng EEQ/l	0,041	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	0,13	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	3440	
Benzotriazol	µg/l	5,50	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Flufenacet	µg/l	0,018	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Isoproturon	µg/l	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Mecoprop	µg/l	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Propiconazol	µg/l	0,034	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Tebuconazol	µg/l	0,021	LC-MS/MS (In Anl. An Di..
Terbutryn	µg/l	0,10	LC-MS/MS (In Anl. An Di..

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

<i>Analysennummer:</i>		59841 243956	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

(m) Die Nachweis-, bzw. Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da Matrixeffekte bzw. Substanzüberlagerungen eine Quantifizierung erschweren.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 21.07.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe

**Entnahme:** (1) 09.06.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr-08:00 Uhr Laboreingang: 10.06.2020

Analysennummer:		59836 243881	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
DOC	mg/l	140 (mv)	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,039	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPe)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoromonansäure (PFNoA )	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansä	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluorooctansäure (	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorodekansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridekansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodekansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHp	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfons. (gPFBS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfons. (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorooctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluorooctansulfonamid	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		59836 243881	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert.
Ciprofloxacin	µg/l	0,028	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Clarithromycin	µg/l	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Sulfamethoxazol	µg/l	0,740	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	4,00	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Carbamazepin	µg/l	1,30	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Gabapentin	µg/l	18,00	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Metoprolol	µg/l	3,80	LC-MS/MS (In Anl. an Df..)
Sotalol	µg/l	0,089	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Bisoprolol	µg/l	1,20	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Metformin	µg/l	39,00	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Guanylharnstoff	µg/l	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Amidotrizeoesäure	µg/l	0,170	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
lomeprol	µg/l	11,0	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
lopamidol	µg/l	7,70	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Iopromid	µg/l	7,30	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Bezafibrat	µg/l	1,30	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Candesartan	µg/l	7,500	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Losartan	µg/l	1,500	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Valsartan	µg/l	18,00	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Diclofenac	µg/l	6,80	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Ibuprofen	µg/l	30,0	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Tramadol	µg/l	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
A-YES	ng EEQ/l	26,000	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	34	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Galaxolide (HHCB)	ng/l	4690	
Benzotriazol	µg/l	13,0	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Flufenacet	µg/l	0,02	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Isoproturon	µg/l	0,025	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Mecoprop	µg/l	0,034	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Tebuconazol	µg/l	0,018	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)
Terbutryn	µg/l	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An Df..)

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

<i>Analysennummer:</i>		59836 243881	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 21.07.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 09.06.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr-08:00 Uhr Laboreingang: 10.06.2020

Analysennummer:		59637 243968	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
DOC	mg/l	8,8	DIN EN 1484 : 1997-08
Nitrit - N	mg/l	0,14	DIN EN 26777: 1993-04
Bromid (Br)	mg/l	0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
7H-Dodecanfluorheptansäure (H7)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H-Perfluordecansäure (H2PF10)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluornonansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
3,7-Dimethylperfluoroctansäure (PF3,7)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluordekansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortridecansäure (PFTrDA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFUnA (Perfluorundecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluortetradecansäure (PFTeA)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
H4-Perfluordecansulfonsäure (8:2)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDoA (Perfluordodecansäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorbutansulfonsäure (gPFBS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluorhexansulfonsäure (gPFHxS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
Perfluoroctansulfonsäure (gPFOS)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFDS (Perfluordecansulfonsäure)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03
PFOSA (Perfluoroctansulfonamid)	µg/l	< 0,05	DIN 38407-42 : 2011-03

bitte wenden

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

Analysennummer:		59837 243968	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Summe PFT NRW-Liste	µg/l	n.b.	Berechnung aus Messwert..
Ciprofloxacin	µg/l	0,019	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Clarithromycin	µg/l	0,058	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,280	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycar	µg/l	2,80	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Carbamazepin	µg/l	1,00	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Gabapentin	µg/l	1,700	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Metoprolol	µg/l	2,80	LC-MS/MS (In Anl. an Dl..
Sotalol	µg/l	0,230	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Bisoprolol	µg/l	0,650	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Metformin	µg/l	0,510	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Guanylharnstoff	µg/l	2,100	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Amidotrizoensäure	µg/l	0,700	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iomeprol	µg/l	0,290	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iopamidol	µg/l	2,40	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Iopromid	µg/l	< 0,05	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Bezafibrat	µg/l	0,071	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Candesartan	µg/l	4,800	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Losartan	µg/l	0,200	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Valsartan	µg/l	4,900	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Diclofenac	µg/l	5,80	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Ibuprofen	µg/l	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Tramadol	µg/l	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
A-YES	ng EEQ/l	0,045	A-YES Assay
Acesulfam	µg/l	0,07	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Galaxolide (HHCB)	ng/l	1760	
Benzotriazol	µg/l	5,50	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Flufenacet	µg/l	0,012	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Isoproturon	µg/l	0,023	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Mecoprop	µg/l	0,094	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Propiconazol	µg/l	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Tebuconazol	µg/l	0,036	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..
Terbutryn	µg/l	0,07	LC-MS/MS (In Anl. An Dl..

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Hildesheim, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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



### 8.2.2 Auswertung Screening-Ergebnisse

Datum Probenahme		Zulauf	Ablauf	Eliminations-	Zulauf	Ablauf	Eliminations-	OW bzw. JMW	
		Belebung	Kläranlage	leistung	Belebung	Kläranlage	leistung		
		03.12.19			11.12.2019 / 12.12.2019				
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin	µg/l	0,76	0,77	-1,32 %	0,19	0,59	-210,53 %	0,5
	Clarithromycin	µg/l	0,55	0,31	43,64 %	0,081	0,59	-628,40 %	0,1
	Diclofenac	µg/l	5,3	4,9	7,55 %	0,85	3,4	-300,00 %	0,05
	Ibuprofen	µg/l	22	-	-	3,6	0,12	96,67 %	0,01
	Metoprolol	µg/l	3,5	2,7	22,86 %	0,43	2	-365,12 %	7,3
	Sulfamethoxazol	µg/l	1,2	0,36	70,00 %	0,043	0,16	-272,09 %	0,6
	Valsartan	µg/l	14	5,8	58,57 %	1,9	6,7	-252,63 %	0,1
	Losartan	µg/l	0,75	0,16	78,67 %	0,12	0,18	-50,00 %	0,1
	Candesartan	µg/l	10	7,7	23,00 %	1,6	7,5	-368,75 %	0,1
	Gabapentin	µg/l	23	4,4	80,87 %	3	5	-66,67 %	0,1
	Ciprofloxacin	µg/l	0,16	-	-	<0,03	<0,03	0 %	0,036
Guanylharstoff	µg/l	0,27	7,5	-2677,78 %	0,14	13	-9185,71 %		
Östrogene	A-YES	ng EEQ/l	150	1,1	99,27 %	42	<0,03	99,93 %	
Pestizide	Terbutryn	µg/l	0,023	0,027	-17,39 %	0,036	0,091	-152,78 %	0,065
	Mecoprop	µg/l	<0,03	<0,03	0,00 %	<0,05	<0,05	0,00 %	0,1
	Isoproturon	µg/l	<0,03	<0,03	0,00 %	<0,03	<0,03	0,00 %	0,3
	Flufenacet	µg/l	<0,01	<0,01	0,00 %	<0,01	<0,01	0,00 %	0,04
	Tebuconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0,00 %	<0,03	<0,03	0,00 %	1
	Propiconazol	µg/l	<0,03	<0,03	0,00 %	0,11	0,13	-18,18 %	1
Korrosionsschutz	Benzotriazol	µg/l	28	9	67,86 %	3	9,6	-220,00 %	10
Moschusduftstoffe	Galaxolide (HHCB)	ng/l	7100	985	86,13 %	867	811	6,46 %	
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l							0,1
	Summe PFT NRW-Liste	µg/l							0,1
Süßstoffe	Acesulfam	µg/l	57	0,56	99,02 %	5,6	0,72	87,14 %	0,1
Sonstige	Bromid (Br)	mg/l	0,35	0,07	80,00 %	<0,05	<0,05	0,00 %	
	PH-Wert		8,38	6,99	16,59 %	8,16	7,04	13,73 %	
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	1310	725	44,66 %				
	DOC	mg/l	81 (mv)	8,5	89,51 %	7,6 (mv)	6,6	13,16 %	
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l	310	<5	98,39 %	82	7	91,46 %	
	Nitrit	mg/l		0,095	-	0,11	0,12	-9,09 %	

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

mv: Die Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste

Datum Probenahme		Zulauf	Ablauf	Eliminations-	Zulauf	Ablauf	Eliminations-	OW bzw. JMW	
		Belebung	Kläranlage	leistung	Belebung	Kläranlage	leistung		
		04.06.2020			09.06.2020				
Arzneimittel-Rückstände	Carbamazepin	µg/l	3,9	1,2	69,23 %	1,3	1	23,08 %	0,5
	Clarithromycin	µg/l	0,03	0,032	-6,67 %	0,13	0,058	55,38 %	0,1
	Diclofenac	µg/l	3,8	5,6	-47,37 %	6,8	5,6	17,65 %	0,05
	Ibuprofen	µg/l	17	<0,01	99,94 %	30	<0,01	99,97 %	0,01
	Metoprolol	µg/l	1,9	2,4	-26,32 %	3,8	2,6	31,58 %	7,3
	Sulfamethoxazol	µg/l	0,18	0,24	-33,33 %	0,74	0,28	62,16 %	0,6
	Valsartan	µg/l	9,5	6,7	29,47 %	18	4,9	72,78 %	0,1
	Losartan	µg/l	0,78	0,32	58,97 %	1,5	0,2	86,67 %	0,1
	Candesartan	µg/l	4	4,9	-22,50 %	7,5	4,8	36,00 %	0,1
	Gabapentin	µg/l	10	2	80,00 %	18	1,7	90,56 %	0,1
	Ciprofloxacin	µg/l	0,037	0,037	0,00 %	0,026	0,019	26,92 %	0,036
Guanylharstoff	µg/l	<0,03	3,7	-12233,33 %	<0,03	2,1	-6900,00 %		
Östrogene	A-YES	ng EEQ/l	16	0,041	99,74 %	26	0,045	99,83 %	
Pestizide	Terbutryn	µg/l	0,084	0,1	-19,05 %	0,16	0,07	56,25 %	0,065
	Mecoprop	µg/l	0,19	0,15	21,05 %	0,034	0,094	-176,47 %	0,1
	Isoproturon	µg/l	<0,01	<0,01	0,00 %	0,025	0,023	8,00 %	0,3
	Flufenacet	µg/l	0,022	0,018	18,18 %	0,02	0,012	40,00 %	0,04
	Tebuconazol	µg/l	0,019	0,021	-10,53 %	0,018	0,036	-100,00 %	1
	Propiconazol	µg/l	0,025	0,034	-36,00 %	<0,03	<0,03	-	1
Korrosionsschutz	Benzotriazol	µg/l	10	5,5	45,00 %	13	5,5	57,69 %	10
Moschusduftstoffe	Galaxolide (HHCB)	ng/l	16500	3440	79,15 %	4690	1760	62,47 %	
Per- und polyfluorierte Chemikalien	Summe gPFOA/gPFOS	µg/l							0,1
	Summe PFT NRW-Liste	µg/l							0,1
Süßstoffe	Acesulfam	µg/l	24	0,13	99,46 %	34	0,07	99,79 %	0,1
Sonstige	Bromid (Br)	mg/l	<0,05	0,05	0,00 %	0,05	<0,05	0,00 %	
	PH-Wert		6,71	7,18	-7,00 %				
	Leitfähigkeit 25°C	µS/cm	911	875	3,95 %				
	DOC	mg/l	110 (mv)	11	90,00 %	140 (mv)	8,8	93,71 %	
	abfiltrierbare Stoffe	mg/l			-				
	Nitrit	mg/l		0,012	0,77	-6316,67 %	0,039	0,14	-258,97 %

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

mv: Die Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste

### 8.2.3 Monitoring-Ergebnisse

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



Leopoldshöhe, 04.09.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 19.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 13:00 Uhr-13:00 Uhr Laboreingang: 24.08.2020

(2) 19.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 13:00 Uhr-13:00 Uhr Laboreingang: 24.08.2020

Analysennummer:		59840 264180	59841 264175	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m³	5018	4918	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bromid (Br)	mg/l	< 0,6 (mv)	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Ciprofloxacin	µg/l	0,200	0,083	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Clarithromycin	µg/l	0,053	< 0,03	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Sulfamethoxazol	µg/l	0,740	0,380	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Carbamazepin	µg/l	0,650	0,570	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Gabapentin	µg/l	19,00	1,700	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Metoprolol	µg/l	3,20	1,50	LC-MS/MS (jn Anl. an DI..)
Bisoprolol	µg/l	0,980	0,410	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Sotalol	µg/l	0,180	0,140	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Bezafibrat	µg/l	1,00	0,032	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Candesartan	µg/l	6,800	3,500	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Losartan	µg/l	0,940	0,075	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Valsartan	µg/l	17,00	0,500	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Diclofenac	µg/l	5,50	2,80	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Ibuprofen	µg/l	23,0	0,10	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Benzotriazol	µg/l	15,0	5,20	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)
Terbutryn	µg/l	0,130	0,046	LC-MS/MS (jn Anl. An DI..)

bitte wenden

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

<i>Analysennummer:</i>		59840 264180	59841 264175	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe

(2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 22.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 07:30 Uhr-07:30 Uhr Laboreingang: 25.08.2020

(2) 22.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 07:30 Uhr-07:30 Uhr Laboreingang: 25.08.2020

Analysennummer:		59840 264191	59841 264176	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m³	4749	4544	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bromid (Br)	mg/l	< 0,6 (mv)	0,06	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Ciprofloxacin	µg/l	0,430	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Clarithromycin	µg/l	0,09	0,041	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Sulfamethoxazol	µg/l	1,30	0,470	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Carbamazepin	µg/l	0,760	1,00	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Gabapentin	µg/l	23,00	1,700	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Metoprolol	µg/l	3,30	2,20	LC-MS/MS (In Anl. an Di..)
Bisoprolol	µg/l	1,10	0,500	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Sotalol	µg/l	0,190	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Bezafibrat	µg/l	1,20	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Candesartan	µg/l	8,400	6,000	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Losartan	µg/l	1,000	0,120	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Valsartan	µg/l	18,00	0,650	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Diclofenac	µg/l	6,80	4,50	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Ibuprofen	µg/l	29,0	0,110	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Benzotriazol	µg/l	19,0	6,20	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Isoproturon	µg/l	0,098	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)
Terbutryn	µg/l	0,150	0,079	LC-MS/MS (In Anl. An Di..)

bitte wenden

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

<i>Analysennummer:</i>		59840 264191	59841 264176	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 29.09.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 24.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:30 Uhr-08:30 Uhr Laboreingang: 28.08.2020  
 (2) 24.08.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:30 Uhr-08:30 Uhr Laboreingang: 28.08.2020

Analysennummer:		59840 264192	59841 264177	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m³	4518	4392	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bromid (Br)	mg/l	< 0,3 (mv)	0,06	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Ciprofloxacin	µg/l	0,270	0,088	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Clarithromycin	µg/l	0,082	0,056	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Sulfamethoxazol	µg/l	0,690	0,540	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Carbamazepin	µg/l	0,900	1,10	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Gabapentin	µg/l	23,00	1,100	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Metoprolol	µg/l	3,70	2,60	LC-MS/MS (In Anl. an DI..)
Bisoprolol	µg/l	1,10	0,450	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Sotalol	µg/l	0,310	0,130	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Bezafibrat	µg/l	0,990	0,056	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Candesartan	µg/l	8,000	5,500	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Losartan	µg/l	1,200	0,120	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Valsartan	µg/l	19,00	0,180	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Diclofenac	µg/l	5,00	3,90	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Ibuprofen	µg/l	31,0	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Benzotriazol	µg/l	17,0	8,80	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Flufenacet	µg/l	0,013	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Tebuconazol	µg/l	0,033	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)
Terbutryn	µg/l	0,170	0,06	LC-MS/MS (In Anl. An DI..)

bitte wenden

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

Analysennummer:		59840 264192	59841 264177	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren

(mv) Die Bestimmung-, bzw. Nachweisgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 29.09.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 01.09.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr-08:00 Uhr Laboreingang: 03.09.2020  
 (2) 01.09.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 08:00 Uhr-08:00 Uhr Laboreingang: 03.09.2020

Analysennummer:		59840 264196	59841 264178	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m³	4408	4310	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bromid (Br)	mg/l	0,06	0,09	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Ciprofloxacin	µg/l	1,00	0,360	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Clarithromycin	µg/l	0,045	0,033	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Sulfamethoxazol	µg/l	1,20	0,420	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Carbamazepin	µg/l	1,00	1,10	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Gabapentin	µg/l	24,00	1,200	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Metoprolol	µg/l	4,00	2,60	LC-MS/MS (In Anl. an DL..)
Bisoprolol	µg/l	1,20	0,450	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Sotalol	µg/l	0,210	0,160	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Bezafibrat	µg/l	1,00	0,036	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Candesartan	µg/l	9,900	6,800	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Losartan	µg/l	1,200	0,120	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Valsartan	µg/l	21,00	0,650	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Diclofenac	µg/l	6,80	5,80	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Ibuprofen	µg/l	37,0	0,085	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Benzotriazol	µg/l	21,0	10,0	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Flufenacet	µg/l	0,023	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Isoproturon	µg/l	0,034	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Tebuconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)
Terbutryn	µg/l	0,390	0,031	LC-MS/MS (In Anl. An DL..)

bitte wenden

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



<i>Analysennummer:</i>		59840 264196	59841 264178	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

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



Leopoldshöhe, 29.09.2020 NC

## UNTERSUCHUNGSBEFUND

**Auftraggeber:** Abwasserwerk der Stadt Niederkassel

**Entnahmestelle:** Kläranlage Niederkassel

**Probenahmestelle:** (1) Zulauf Biostufe  
 (2) Ablauf Nachklärung

**Entnahme:** (1) 07.09.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 07:00 Uhr-07:00 Uhr Laboreingang: 08.09.2020  
 (2) 07.09.2020 Stichprobe: Uhr 24h-Mischprobe: 07:00 Uhr-07:00 Uhr Laboreingang: 08.09.2020

Analysennummer:		59840 264197	59841 264179	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>				
Wassermenge in 24 Stunden	m³	4500	4406	
<i>Messungen im Labor</i>				
Bromid (Br)	mg/l	0,32	0,1	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Ciprofloxacin	µg/l	0,350	0,09	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Clarithromycin	µg/l	0,140	0,06	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Sulfamethoxazol	µg/l	1,30	0,560	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Carbamazepin	µg/l	0,990	1,20	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Gabapentin	µg/l	23,00	1,500	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Metoprolol	µg/l	3,30	2,50	LC-MS/MS (In Anl. an Dl.)
Bisoprolol	µg/l	1,10	0,490	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Sotalol	µg/l	0,200	0,150	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Bezafibrat	µg/l	1,00	0,069	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Candesartan	µg/l	8,400	6,100	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Losartan	µg/l	1,400	0,190	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Valsartan	µg/l	19,00	0,940	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Diclofenac	µg/l	5,80	4,50	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Ibuprofen	µg/l	35,0	0,600	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Benzotriazol	µg/l	16,0	10,0	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Flufenacet	µg/l	< 0,01	< 0,01	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Propiconazol	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Tebuconazol	µg/l	0,076	< 0,03	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)
Terbutryn	µg/l	0,09	0,048	LC-MS/MS (In Anl. An Dl.)

bitte wenden

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

<i>Analysennummer:</i>		59840 264197	59841 264179	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von AGROLAB Labor GmbH, Bruckberg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

Die Laboranalytik wurde vorgenommen von IUTA Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg, akkreditiert durch DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005. Auf Wunsch wird der Originalbefund überstellt.

OWL Umweltanalytik  
Master of Science Christoforakos

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

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

### 8.2.4 Auswertung Monitoring-Ergebnisse

Datum Probenahme		Zulauf Biologie	Ablauf NKB	Elimination	Zulauf Biologie	Ablauf NKB	Elimination	Zulauf Biologie	Ablauf NKB	Elimination
		19.08.2020			22.08.2020			24.08.2020		
Clarithromycin	µg/l	0,053	<0,03	43%	0,09	0,041	54%	0,082	0,056	32%
Sulfamethoxazol	µg/l	0,74	0,37	50%	1,3	0,47	64%	0,69	0,54	22%
Carbamazepin	µg/l	0,65	0,57	12%	0,76	1	-32%	0,9	1,1	-22%
Gabapentin	µg/l	19	1,7	91%	23	1,7	93%	23	1,1	95%
Metoprolol	µg/l	3,2	1,5	53%	3,3	2,2	33%	3,7	2,6	30%
Candesartan	µg/l	6,8	3,5	49%	8,4	6	29%	8	5,5	31%
Valsartan	µg/l	17	0,5	97%	18	0,65	96%	19	0,18	99%
Diclofenac	µg/l	5,5	2,8	49%	6,8	4,5	34%	5	3,9	22%
Benzotriazol	µg/l	15	5,2	65%	19	6,2	67%	17	8,8	48%
Terbutryn	µg/l	0,13	0,046	65%	0,15	0,079	47%	0,17	0,06	65%
Bromid (Br)	mg/l	<0,6 (mv)	<0,05	-	<0,6 (mv)	0,06	-	<0,6 (mv)	0,06	-

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

mv: Die Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste

Datum Probenahme		Zulauf Biologie	Ablauf NKB	Elimination	Zulauf Biologie	Ablauf NKB	Elimination
		01.09.2020			07.09.2020		
Clarithromycin	µg/l	0,045	0,033	27%	0,14	0,06	57%
Sulfamethoxazol	µg/l	1,2	0,42	65%	1,3	0,56	57%
Carbamazepin	µg/l	1	1,1	-10%	0,99	1,2	-21%
Gabapentin	µg/l	24	1,2	95%	23	1,5	93%
Metoprolol	µg/l	4	2,6	35%	3,3	2,5	24%
Candesartan	µg/l	9,9	6,8	31%	8,4	6,1	27%
Valsartan	µg/l	21	0,65	97%	19	0,94	95%
Diclofenac	µg/l	6,8	5,8	15%	5,8	4,5	22%
Benzotriazol	µg/l	21	10	52%	16	10	38%
Terbutryn	µg/l	0,39	0,031	92%	0,09	0,048	47%
Bromid (Br)	mg/l	0,06	0,09	-50%	0,32	0,1	69%

Bei Werten < Bestimmungsgrenze (BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen

mv: Die Bestimmungsgrenze musste erhöht werden, da zur Analyse das zu vermessende Material aufgrund seiner Probenbeschaffenheit verdünnt werden musste

### 8.2.5 Statistische Auswertung OWL

OWL Umweltanalytik GmbH  
Westring 93  
33818 Leopoldshöhe  
Seite 1 von 1

**Messergebnisse und statistische Auswertung**  
Kunde: Abwasserwerk der Stadt Niederkassel  
Anlage: Kläranlage Niederkassel  
Probenahmestelle: Ablauf Nachklärung  
Auftrag: 59841

Probe	264177	264177	
Start	24.08.20 08:30	24.08.20 08:30	
Ende	25.08.20 08:30	25.08.20 08:30	
Wassermenge [m³]	4392	4392	
Prüfmerkmal	Konz. [ng/l]	Fracht [g]	
Ciprofloxacin	88	0,39	
Clarithromycin	56	0,25	
Sulfamethoxazol	540	2,37	
Carbamazepin	1100	4,83	
Gabapentin	1100	4,83	
Metoprolol	2600	11,42	
Sotalol	130	0,57	
Bisoprolol	450	1,98	
Bezafibrat	56	0,25	
Candesartan	5500	24,16	
Losartan	120	0,53	
Valsartan	180	0,79	
Diclofenac	3900	17,13	
Ibuprofen	< BG	-	
Benzotriazol	8800	38,65	
Flufenacet	< BG	-	
Isoproturon	< BG	-	
Propiconazol	< BG	-	
Tebuconazol	< BG	-	
Terbutryn	60	0,26	

Statistik der Messungen von OWL Umweltanalytik					
	Messungen	Anzahl > BG	Max	Mittelwert	90 Perzentil
Ciprofloxacin	84	47	1500	227	802
Clarithromycin	516	444	3000	317	690
Sulfamethoxazol	546	505	9100	445	920
Carbamazepin	546	521	5000	796	1500
Gabapentin	103	102	15000	3166	6650
Metoprolol	543	527	12000	2050	4000
Sotalol	486	431	1200	252	498
Bisoprolol	85	76	2900	480	829
Bezafibrat	90	58	890	284	682
Candesartan	80	80	7700	2910	6090
Losartan	54	40	640	148	266
Valsartan	91	91	50000	3393	9400
Diclofenac	546	528	6800	2098	3500
Ibuprofen	64	36	760	186	458
Benzotriazol	533	522	19000	5726	10000
Flufenacet	28	5	28	< 10 Mw.	< 10 Mw.
Isoproturon	161	13	440	107	320
Propiconazol	28	8	180	< 10 Mw.	< 10 Mw.
Tebuconazol	28	4	110	< 10 Mw.	< 10 Mw.
Terbutryn	158	72	790	87	120

Verfielfältigung, Ausdruck und Weitergabe sind nur mit unserer ausdrücklichen Zustimmung erlaubt.  
OWL Umweltanalytik GmbH

OWL Umweltanalytik GmbH • Westring 93 • 33818 Leopoldshöhe

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



Mw. = Messwerte

< BG = kleiner Bestimmungsgrenze

OWL Umweltanalytik GmbH

MSc Christoftrakos

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

Leopoldshöhe, 29.09.2020

## 9 Anhang B – Investitionen

### 9.1 Investitionen Variante 1

<b>PAK-Dosierung in die Belebung</b>				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
<b>Bautechnik</b>				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	46.800,00 €	46.800,00 €
Vorbereitende Arbeiten:				
Wald fällen und Baumstubben roden	800	m <sup>2</sup>	30,00 €	24.000,00 €
Gelände auffüllen	900	m <sup>3</sup>	10,00 €	9.000,00 €
Erweiterung der Umzäunung	45	m	60,00 €	2.700,00 €
Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Nachrüstung Abwassersammelschacht:				
Verschluss der Ablaufleitung zur Ablaufmengenmessung	1	Psch	2.000,00 €	2.000,00 €
Zwischenpumpwerk Stahlbetonschacht inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	120	m <sup>3</sup>	600,00 €	72.000,00 €
Nachfüllung Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	300	m <sup>3</sup>	400,00 €	120.000,00 €
Flockungsfiltration/Tuchfilter: Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	300	m <sup>3</sup>	400,00 €	120.000,00 €
Dosierhaus für Fäll- und Flockungsmittel inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	160	m <sup>3</sup>	450,00 €	72.000,00 €
Fundamentplatte für Fällmittelbehälter und PAK-Silo inkl. Abtankplatz und Erdarbeiten	1	Psch	50.000,00 €	50.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten:				
DN 600	390	m	580,00 €	226.200,00 €
DN 100	45	m	150,00 €	6.750,00 €
Leerrohre DN 100	50	m	150,00 €	7.500,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	650	m <sup>2</sup>	120,00 €	78.000,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>Zwischensumme baulich netto</b>				<b>861.950,00 €</b>
<b>Maschinen- und Anlagentechnik</b>				
Einfahrtstor mit E-Antrieb	1	Psch	24.000,00 €	24.000,00 €
Zwischenpumpwerk:				
4 Abwasserpumpen (Q=je 360 m <sup>3</sup> /h) in Nassaufstellung inkl. Rohrleitungen und Armaturen	1	Psch	78.000,00 €	78.000,00 €
PAK-Silo (V = 80 m <sup>3</sup> ) inkl. Dosiereinheiten	1	Stk	230.000,00 €	230.000,00 €
Ausrüstung Nachfüllung:				
Fällmitteltank (V = 30 m <sup>3</sup> ) mit Dosieranlage	1	Stk	80.000,00 €	80.000,00 €
Rührwerk	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 60 m <sup>2</sup> mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher	3	Stk	125.000,00 €	375.000,00 €
Zulaufwehre (1.000/400) mit E-Antrieb	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Gewindeschieber DN 400	3	Stk	5.000,00 €	15.000,00 €
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00 €	25.000,00 €
<b>Summe maschinell netto</b>				<b>867.000,00 €</b>
<b>Elektroausrüstung und MSR-Technik</b>				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinenteknik			260.100,00 €	260.100,00 €
<b>Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>260.100,00 €</b>

<b>Baunebenkosten</b>				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			29.800,00 €	29.800,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			397.800,00 €	397.800,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			19.900,00 €	19.900,00 €
<b>Summe Nebenkosten netto</b>				<b>447.500,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Bautechnik netto</b>				<b>861.950,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Maschinen- und Anlagentechnik netto</b>				<b>867.000,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>260.100,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Baunebenkosten netto</b>				<b>447.500,00 €</b>
<b>Gesamtkosten netto</b>				<b>2.436.550,00 €</b>
+ 19 % Mehrwertsteuer				462.944,50 €
<b>Gesamtkosten brutto</b>				<b>2.899.494,50 €</b>

## 9.2 Investitionen Variante 2

<b>PAK-Dosierung in Kontaktbecken</b>				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
<b>Bautechnik</b>				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	69.500,00 €	69.500,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Wald fällen und Baumstubben roden	1.300	m <sup>2</sup>	30,00 €	39.000,00 €
Geländeauffüllung	1.500	m <sup>3</sup>	10,00 €	15.000,00 €
Erweiterung der Umzäunung	90	m	70,00 €	6.300,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Nachrüstung Abwassersammelschacht:				
Einbau der Überlaufschwelle	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m <sup>3</sup>	500,00 €	50.000,00 €
Nachfällung Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	170	m <sup>3</sup>	400,00 €	68.000,00 €
Kontaktbecken, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	360	m <sup>3</sup>	400,00 €	144.000,00 €
Sedimentationsbecken, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1.200	m <sup>3</sup>	250,00 €	300.000,00 €
Flockungsfiltration / Tuchfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	220	m <sup>3</sup>	400,00 €	88.000,00 €
Rezirkulationspumpwerk, Stahlbetonschachtbauwerk, inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m <sup>3</sup>	450,00 €	36.000,00 €
Dosierhaus mit Fäll- und Flockungsmitteln, inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	160	m <sup>3</sup>	450,00 €	72.000,00 €
Erdarbeiten	1	Psch	50.000,00 €	50.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten:				
DN 350	355	m	300,00 €	106.500,00 €
DN 250	10	m	240,00 €	2.400,00 €
DN 100	100	m	150,00 €	15.000,00 €
Leerrohre DN 100	70	m	150,00 €	10.500,00 €
Rohrleitungsanschlüsse	1	Psch	20.000,00 €	20.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	840	m <sup>2</sup>	120,00 €	100.800,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>Zwischensumme baulich netto</b>				<b>1.228.000,00 €</b>
<b>Maschinen- und Anlagentechnik</b>				
Einfahrtstor mit E-Antrieb	1	Psch	24.000,00 €	24.000,00 €
Zwischenpumpwerk:				
Armaturen	1	Psch	45.000,00 €	45.000,00 €
PAK-Silo (V = 80 m <sup>3</sup> ) inkl. Dosiereinheiten	1	Stk	230.000,00 €	230.000,00 €
Ausrüstung Kontaktbecken:				
Rührwerke	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €
Ausrüstung Sedimentationsbecken:				
Doppelräumerbrücke mit Bodenräumschildern und Schienenanlage	1	Stk	80.000,00 €	80.000,00 €
Ablaufrinnen aus Edelstahl (L = je 6 m)	2	Stk	5.000,00 €	10.000,00 €
Gewindeschieber DN 200 mit E-Antrieb für Schlammabzug	4	Stk	5.000,00 €	20.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Fällmitteltank (V = 25 m <sup>3</sup> ) inkl. Dosieranlage	1	Stk	75.000,00 €	75.000,00 €
Rührwerk	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €



Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

<b>Ausrüstung Feinfiltration:</b>				
Filtereinheiten à 25 m <sup>2</sup> mit Filterantriebe, Filterreinigungssystem, Bodenschlammpumpe, Filtertücher	3	Stk	95.000,00 €	285.000,00 €
Zulaufwehr (1.000/400)	3	Stk	10.000,00 €	30.000,00 €
Gewindeschieber DN 400	3	Stk	5.000,00 €	15.000,00 €
<b>Rezirkulationsumpwerk</b>				
Armaturen	2	Stk	15.000,00 €	30.000,00 €
Armaturen	1	Stk	8.000,00 €	8.000,00 €
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00 €	25.000,00 €
<b>Summe maschinell netto</b>				<b>897.000,00 €</b>
<b>Elektroausrüstung und MSR-Technik</b>				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				
<b>Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>			<b>269.100,00 €</b>	<b>269.100,00 €</b>
<b>Baunebenkosten</b>				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			35.900,00 €	35.900,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			478.800,00 €	478.800,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			23.900,00 €	23.900,00 €
<b>Zwischensumme netto</b>				<b>538.600,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Bautechnik netto</b>				
				<b>1.228.000,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Maschinen- und Anlagentechnik netto</b>				
				<b>897.000,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				
				<b>269.100,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Baunebenkosten netto</b>				
				<b>538.600,00 €</b>
<b>Gesamtkosten netto</b>				
				<b>2.932.700,00 €</b>
+ 19 % Mehrwertsteuer				
				557.213,00 €
<b>Gesamtkosten brutto</b>				
				<b>3.489.913,00 €</b>

### 9.3 Investitionen Variante 3

Ozonung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
<b>Bautechnik</b>				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	63.000,00 €	63.000,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Wald fällen und Baumstubben roden	1.100	m <sup>2</sup>	30,00 €	33.000,00 €
Geländeauffüllung	1.300	m <sup>3</sup>	10,00 €	13.000,00 €
Erweiterung der Umzäunung	60	m	70,00 €	4.200,00 €
Herstellung von Rohrleitungsanschlüssen (vorh. Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Nachrüstung Abwassersammelschacht:				
Einbau der Überlaufschwelle	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m <sup>3</sup>	500,00 €	50.000,00 €
Ozonkontaktbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufschächte inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	330	m <sup>3</sup>	600,00 €	198.000,00 €
Flockungsfiltration / Sandfilter, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufrinnen inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	220	m <sup>3</sup>	400,00 €	88.000,00 €
Stahlcontainer für Ozongenerator und Kühlung inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m <sup>3</sup>	400,00 €	40.000,00 €
Maschinenhalle für Sandfilter	1.200	m <sup>3</sup>	200,00 €	240.000,00 €
Dosierhaus mit Fäll- und Flockungsmitteln, inkl. Erdarbeiten und Ausbaugewerke	160	m <sup>3</sup>	450,00 €	72.000,00 €
Fundamentplatte für Fällmittelbehälter inkl. Abtankplatz und Erdarbeiten	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Fundamentplatte für Sauerstofftanks und Verdampferanlage inkl. Erdarbeiten	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 350	360	m	300,00 €	108.000,00 €
DN 100	235	m	150,00 €	35.250,00 €
Leerrohre DN 100	70	m	150,00 €	10.500,00 €
Rohrleitungsanschlüsse	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	730	m <sup>2</sup>	120,00 €	87.600,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>Zwischensumme baulich netto</b>				<b>1.112.550,00 €</b>
<b>Maschinen- und Anlagentechnik</b>				
Einfahrtstor mit E-Antrieb	1	Stk	24.000,00 €	24.000,00 €
Zwischenpumpwerk:				
Rohrleitungen	3	Stk	15.000,00 €	45.000,00 €
Ozonkontaktbecken:				
Absenkrinnschieber mit E-Antrieb	4	Stk	7.500,00 €	30.000,00 €
Ozonanlage bestehend aus Ozongenerator, Keramikdiffusoren, Kühlwassersystem und Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage und	1	Stk	350.000,00 €	350.000,00 €
Ausrüstung Nachfällung:				
Fällmitteltank (V = 25 m <sup>3</sup> ) inkl. Dosieranlage	1	Stk	75.000,00 €	75.000,00 €
Ausrüstung Feinfiltration:				
Filtereinheiten à 10 m <sup>3</sup> inkl. Spülsystem, Kompressoren und Armaturen	6	Stk	30.000,00 €	180.000,00 €
Druckluftanlage mit 2 Kompressoren (Q = je 72 m <sup>3</sup> /h) und Druckluftbehälter 500 L inkl. Rohrleitungen und Armaturen	1	Psch	30.000,00 €	30.000,00 €
Lager-/Dosierstation für FHM	1	Stk	25.000,00 €	25.000,00 €
<b>Zwischensumme maschinell netto</b>				<b>759.000,00 €</b>
<b>Elektroausrüstung und MSR-Technik</b>				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinenteknik			227.700,00 €	227.700,00 €
<b>Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>227.700,00 €</b>

<b>Baunebenkosten</b>				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			31.500,00 €	31.500,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			419.900,00 €	419.900,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			21.000,00 €	21.000,00 €
<b>Zwischensumme netto</b>				<b>472.400,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Bautechnik netto</b>				<b>1.112.550,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Maschinen- und Anlagentechnik netto</b>				<b>759.000,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>227.700,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Baunebenkosten netto</b>				<b>472.400,00 €</b>
<b>Gesamtkosten netto</b>				<b>2.571.650,00 €</b>
+ 19 % Mehrwertsteuer				488.613,50 €
<b>Gesamtkosten brutto</b>				<b>3.060.263,50 €</b>

## 9.4 Investitionen Variante 4

<b>GAK-Filtration</b>				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
<b>Bautechnik</b>				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)	1	Psch	54.700,00 €	54.700,00 €
Vorbereitende Arbeiten				
Wald fällen und Baumstubben roden	1.300	m <sup>2</sup>	30,00 €	39.000,00 €
Geländeauffüllung	1.500	m <sup>3</sup>	10,00 €	15.000,00 €
Erweiterung der Umzäunung	85	m	70,00 €	5.950,00 €
Ablaufmengenmessung)	1	Psch	15.000,00 €	15.000,00 €
Nachrüstung Abwassersammelschacht:				
Einbau der Überlaufschwelle	1	Stk	10.000,00 €	10.000,00 €
Zwischenpumpwerk: Stahlbetonschachtbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m <sup>3</sup>	500,00 €	50.000,00 €
Maschinenhalle für GAK-Druckfilter	2.280	m <sup>3</sup>	200,00 €	456.000,00 €
Rückspülwasservorlage und Spülabwasserspeicher, Stahlbetonbauwerke mit UR = je 100 m <sup>3</sup> , inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	200	m <sup>3</sup>	450,00 €	90.000,00 €
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 350	355	m	300,00 €	106.500,00 €
DN 250	20	m	240,00 €	4.800,00 €
DN 100	60	m	150,00 €	9.000,00 €
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	840	m <sup>2</sup>	120,00 €	100.800,00 €
Landschaftspflegerische Maßnahmen	1	Psch	10.000,00 €	10.000,00 €
<b>Zwischensumme baulich netto</b>				<b>966.750,00 €</b>
<b>Maschinen- und Anlagentechnik</b>				
Einfahrtstor mit E-Antrieb	1	Stk	24.000,00 €	24.000,00 €
Zwischenpumpwerk				
Rohrleitungen	3	Stk	15.000,00 €	45.000,00 €
GAK-Druckfilter				
Druckfilter aus Stahl (D = 3.500 mm) inkl. Montage	8	Stk	60.000,00 €	480.000,00 €
Aktivkohle, Erstbefüllung (170 m <sup>3</sup> x 0,3 Mg/m <sup>3</sup> )	51	Mg	1.250,00 €	63.750,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Abwasser	1	Psch	36.000,00 €	36.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülwasser	1	Psch	42.000,00 €	42.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülluft	1	Psch	30.000,00 €	30.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Spülabwasser	1	Psch	42.000,00 €	42.000,00 €
Rohrleitung, Armaturen für Filtrat	1	Psch	36.000,00 €	36.000,00 €
Rückspülanlagen				
Spülwasserpumpen (Q = je 290 m <sup>3</sup> /h) in Trockenaufstellung	2	Stk	12.500,00 €	25.000,00 €
Spülluftgebläse (Q = je 600 m <sup>3</sup> /h)	2	Stk	10.000,00 €	20.000,00 €
Spülabwasserpumpwerk				
Armaturen	2	Stk	7.500,00 €	15.000,00 €
<b>Summe maschinell netto</b>				<b>858.750,00 €</b>
<b>Elektroausrüstung und MSR-Technik</b>				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinenteknik			257.600,00 €	257.600,00 €
<b>Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>257.600,00 €</b>

<b>Baunebenkosten</b>				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 1,5 % der Investitionskosten)			31.200,00 €	31.200,00 €
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)			416.600,00 €	416.600,00 €
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)			20.800,00 €	20.800,00 €
<b>Zwischensumme netto</b>				<b>468.600,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Bautechnik netto</b>				<b>966.750,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Maschinen- und Anlagentechnik netto</b>				<b>858.750,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto</b>				<b>257.600,00 €</b>
<b>Gesamtsumme Baunebenkosten netto</b>				<b>468.600,00 €</b>
<b>Gesamtkosten netto</b>				<b>2.551.700,00 €</b>
+ 19 % Mehrwertsteuer				484.823,00 €
<b>Gesamtkosten brutto</b>				<b>3.036.523,00 €</b>

## 9.5 Energiebedarf

		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK
<b>Zwischenpumpwerk</b>					
Anzahl ohne Reserve	Stück	3	2	2	2
	kW	9,5	6,9	8,0	11,1
gemittelte Laufzeit aller Pumpen	h/d	10,2	18,7	18,7	18,7
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>106.150</b>	<b>94.192</b>	<b>109.754</b>	<b>151.526</b>
<b>PAK-Rezirkulationspumpen</b>					
Anzahl ohne Reserve	Stück		1		
Leistung	kW		2,5		
Laufzeit	h/d		24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>		<b>22.075</b>		
<b>PAK Dosiereinheit</b>					
Leistung	kW	1,5	1,0		
Laufzeit	h/d	24	24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>13.140</b>	<b>8.760</b>		
<b>Dosierpumpe Fällmittel</b>					
Anschlussleistung	kW	1,5	1,0		
Laufzeit	h/d	24	24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>13.140</b>	<b>8.760</b>		
<b>Dosierpumpe FHM</b>					
Anschlussleistung	kW	0,5	0,5		
Laufzeit	h/d	24	24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>4.380</b>	<b>4.380</b>		
<b>Rührwerke Kontaktbecken PAK</b>					
Anzahl	Stück		3,0		
Anschlussleistung	kW		1,5		
Laufzeit	h/d		24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>		<b>39.420</b>		
<b>Räumer PAK</b>					
Anzahl	Stück		2		
Anschlussleistung	kW		0,5		
Laufzeit	h/d		24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>		<b>8.760</b>		
<b>Spülwasserpumpen</b>					
Anzahl ohne Reserve	Stück				1
Anschlussleistung	kW				13,1
Laufzeit	h/d				1,3
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>				<b>6.351</b>
<b>Spülluftgebläse</b>					
Anzahl ohne Reserve	Stück				1
Anschlussleistung	kW				20
Laufzeit	h/d				0,3
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>				<b>2.190</b>
<b>Ozonanlage</b>					
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>			<b>399.923</b>	

Sonstiges (Messtechnik etc)					
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>7.500</b>	<b>7.500</b>	<b>7.500</b>	<b>7.500</b>
<b>Betrieb Tuchfiltration</b>					
Anzahl	Stück	3	3		
Energiebedarf je Filtrationseinheit	kWh/d	6,8	4,6		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>7.446</b>	<b>5.037</b>		
<b>Betrieb Sandfiltration</b>					
Anzahl	Stück			6	
Energiebedarf je Filtrationseinheit	kWh/d			9,0	
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>			<b>19.763</b>	
<b>Rührwerke Nachfällung</b>					
Anzahl	Stück	1	1		
Anschlussleistung	kW	2,0	1,5		
Laufzeit	h/d	24	24		
<b>Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>17.520</b>	<b>13.140</b>		
<b>Summe Energiebedarf</b>	<b>kWh/a</b>	<b>169.276</b>	<b>212.024</b>	<b>517.177</b>	<b>167.567</b>

## 9.6 Betriebskosten

<b>Betriebskosten</b>					
		<b>PAK in Belebung</b>	<b>PAK in Kontaktbecken</b>	<b>Ozon</b>	<b>GAK</b>
<b>Energiekosten</b>					
Menge/a	kWh/a	169.276	212.024	517.177	167.567
spezifische Kosten pro kWh	Euro/kWh	0,190	0,190	0,190	0,190
<b>Summe Energiekosten</b>	<b>Euro/a</b>	<b>32.162,47</b>	<b>40.284,58</b>	<b>98.263,68</b>	<b>31.837,75</b>
<b>Personalkosten</b>					
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
<b>Summe Personalkosten</b>	<b>Euro/a</b>	<b>16.000,00</b>	<b>20.000,00</b>	<b>16.000,00</b>	<b>16.000,00</b>
<b>Wartung / Versicherungen</b>					
Bautechnik (1,0 % vom Invest)	€/a	8.619,5	12.280,0	11.125,5	9.667,5
Maschinentechnik (3,0 % vom Invest)	€/a	26.010,0	26.910,0	22.770,0	25.762,5
Elektrotechnik (5,0 % vom Invest)	€/a	13.005,0	14.370,0	13.770,0	17.530,0
Versicherungen (0,5 % vom Gesamtinvest)	€/a	12.182,8	14.663,5	12.858,3	12.758,5
<b>Summe Wartung / Versicherungen</b>	<b>€/a</b>	<b>59.817,3</b>	<b>68.223,5</b>	<b>60.523,8</b>	<b>65.718,5</b>
<b>Kosten Sauerstoff (inkl. Miete Lagerbehälter)</b>					
Menge/a	kg O2/a			119.390	
spezifische Kosten pro kg	Euro/kg			0,22	
<b>Summe Kosten Sauerstoff</b>	<b>Euro/a</b>			<b>26.266</b>	
<b>Kosten Aktivkohle</b>					
Menge/a	kg/a	47.097	19.665		75.709
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.500	1.500		1.300
<b>Summe Kosten Aktivkohle</b>	<b>Euro/a</b>	<b>70.646</b>	<b>29.498</b>		<b>98.422</b>
<b>Kosten FHM</b>					
FHM	kg/a	378	251		
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.400	1.400		
<b>Summe Kosten FHM</b>	<b>Euro/a</b>	<b>530</b>	<b>351</b>		
<b>Kosten Fällmittel</b>					
Fällmittel	t Fällmittel /a	67,3	42,1		
Menge/a	Euro/t	140	140		
<b>Summe Kosten Fällmittel</b>	<b>Euro/a</b>	<b>9.422</b>	<b>5.894</b>		
<b>Schlammehranfall</b>					
Schlammanfall (TR) FM	t TR/a	44	28		
Schlammanfall (TR) PAK	t TR/a	47	20		
Schlammanfall (TR) AFS	t TR/a	24	20		
spezifische Kosten Entsorgung pro t TR	Euro/t TR	320	320		
<b>Entsorgungskosten</b>	<b>Euro/a</b>	<b>36.793</b>	<b>21.460</b>		
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	<b>Euro/a</b>	<b>225.370</b>	<b>185.711</b>	<b>201.053</b>	<b>211.979</b>
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>Euro/a</b>	<b>268.191</b>	<b>220.996</b>	<b>239.253</b>	<b>252.255</b>



## 9.7 Jahreskosten Variante 1 und 2

Datenerhebung und Kostenermittlung				
ALLGEMEINES				
Kläranlage			KA Niederkassel	KA Niederkassel
Variante			Variante 1	Variante 2
			PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber			Stadt Niederkassel	
Planer			ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts			2020	2020
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)			S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN				
Ausbaugröße EW	[E]		64.000	64.000
Anschlussgröße EW	[E]		53.255	53.255
Jahresabwassermenge (JAM)	[m <sup>3</sup> /a]		2.354.841	2.354.841
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m <sup>3</sup> /a]		2.354.841	1.966.480
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]		100	83,5
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m <sup>3</sup> /h]		Vollstrom	400
Frischwassermenge	[m <sup>3</sup> /a]		1.650.000	1.650.000
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 <sub>3</sub> /l			
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung				
Eintragungspunkt				
Reaktionsvolumen	m <sup>3</sup>			
Aufenthaltszeit bei QTW	min			
Maximale Ozonproduktion	kg O <sub>3</sub> /h			
Sauerstoffbedarf	g O <sub>2</sub> /gO <sub>3</sub>			
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)				
PAK Kontaktbecken				
Dosiermengen	mg/l			10
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung			gravimetrisch	gravimetrisch
Eintragungspunkt			Belebungsbecken	Kontaktbecken
Reaktionsvolumen	m <sup>3</sup>			200
Aufenthaltszeit bei QTW	min			30
Beckentiefe	m			4
Zulauf	l/s			111
PAK Absetzbecken				
Aufenthaltszeit bei QTW	h		vorhandene NK	2
Gesamtvolumen	m <sup>3</sup>			804
Oberflächenbeschickung	m/h			2
Polymerdosierung	mg/l		0,3	0,2
Fällmitteldosierung	mg Fe/l		4	3
Granulierte Aktivkohle (GAK)				
Aktivkohlesorte				
Reaktivierungszyklus				
Filtertyp				
Filteranzahl				
Filterfläche je Filter	m <sup>2</sup>			
Betthöhe	m			
Bettvolumen	m <sup>3</sup>			
Leerbettkontaktzeit	min			
Filtergeschwindigkeit	m/h			
STEUERUNG UND REGELUNG				
Zeitproportional				

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

Mengenproportional			ja	ja
DOC-proportional				
SAK-proportional				
Gelöstozonkonzentration				
Offgasozonkonzentration				
Rezirkulation				ja
Druckmessung				
<b>INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN</b>				
<b>Investitionskosten</b>				
Bezugsjahr der Kosten			2020	2020
Bautechnik	[€]		861.950	1.228.000
Maschinentechnik	[€]		867.000	897.000
EMSR Technik	[€]		260.100	269.100
Nebenkosten	[€]		447.500	538.600
<b>Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€]</b>		<b>2.436.550</b>	<b>2.932.700</b>
<b>Betriebskosten</b>				
Energie	[€/a]		32.162	40.285
Personal	[€/a]		16.000	20.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		59.817	68.224
Sauerstoff	[€/a]			
PAK/GAK	[€/a]		70.646	29.498
FHM, FM	[€/a]		9.952	6.245
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlammensorgung	[€/a]		36.793	21.460
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
<b>Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€/a]</b>		<b>225.370</b>	<b>185.711</b>
<b>Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)</b>				
<b>Annahmen zur Aktualisierung der Kosten</b>				
Bezugszeitpunkt			2013	2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-7	-7
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%	0,96569	0,96569
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,81309	0,81309
Preissteigerung PAK		1,0%	0,93272	0,93272
Preissteigerung O2		1,0%	0,93272	0,93272
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,96569	0,96569
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	0,98267	0,98267
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,93272	0,93272
<b>Investitionskosten</b>				
Bezugsjahr der Kosten			2013	2013
Bautechnik	[€]		832.376	1.185.867
Maschinentechnik	[€]		851.978	881.458
EMSR Technik	[€]		260.100	269.100
Nebenkosten	[€]		432.146	520.120
<b>Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€]</b>		<b>2.376.600</b>	<b>2.856.546</b>
<b>Betriebskosten</b>				
Energie	[€/a]		26.151	32.755
Personal	[€/a]		15.451	19.314
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		57.765	65.883
Sauerstoff	[€/a]			
PAK/GAK	[€/a]		65.892	27.513
FHM, FM	[€/a]		9.282	5.825
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlammensorgung	[€/a]		34.318	20.016
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
<b>Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€/a]</b>		<b>208.859</b>	<b>171.305</b>

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

<b>Reinvestitionskosten in EURO</b>		<b>Faktoren LAWA</b>	
Bautechnik	0 [€]		0
Maschinenteknik (nach 15 a)	0,66636 [€]		567.722
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967 [€]		337.550
Nebenkosten	0 [€]		0
<b>Gesamtkosten</b>		<b>[€]</b>	<b>905.272</b>
<b>Kapitalkosten</b>		<b>Faktoren LAWA</b>	
Bautechnik	0,05102 [€/a]		42.467
Maschinenteknik	0,05102 [€/a]		72.432
Elektrotechnik	0,05102 [€/a]		30.492
Nebenkosten	0,05102 [€/a]		22.048
<b>Gesamtkosten</b>		<b>[€/a]</b>	<b>167.439</b>
<b>Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)</b>		Einheiten	
Jahreskosten gesamt	[€/a]		376.298
Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser	[€/(m <sup>3</sup> ·a)]		0,16
Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> Frischwasser	[€/(m <sup>3</sup> ·a)]		0,23
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]		7,07

## 9.8 Jahreskosten Variante 3 und 4

Datenerhebung und Kostenermittlung				
ALLGEMEINES				
Kläranlage			KA Niederkassel	KA Niederkassel
Variante			Variante 3	Variante 4
			Ozon	GAK
Auftraggeber			Stadt Niederkassel	
Planer			ATEMIS GmbH	
Vorlage des Berichts			2020	2020
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische Anlage (G)			S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN				
Ausbaugröße EW	[E]		64.000	64.000
Anschlussgröße EW	[E]		53.255	53.255
Jahresabwassermenge (JAM)	[m <sup>3</sup> /a]		2.354.841	2.354.841
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m <sup>3</sup> /a]		1.966.480	1.966.480
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]		83,5	83,5
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m <sup>3</sup> /h]		400	400
Frischwassermenge	[m <sup>3</sup> /a]		1.650.000	1.650.000
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 <sub>3</sub> /l		10,7	
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung			Tellerdiffusoren	
Eintragungspunkt			Ozonreaktor	
Reaktionsvolumen	m <sup>3</sup>		2 x 84	
Aufenthaltszeit bei QTW	min		25	
Maximale Ozonproduktion	kg O <sub>3</sub> /h		4,28	
Sauerstoffbedarf	g O <sub>2</sub> /gO <sub>3</sub>		10	
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)				
PAK Kontaktbecken				
Dosiermengen	mg/l			
Eintragungssystem / Dosiervorrichtung				
Eintragungspunkt				
Reaktionsvolumen	m <sup>3</sup>			
Aufenthaltszeit bei QTW	min			
Beckentiefe	m			
Zulauf	l/s			
PAK Absetzbecken				
Aufenthaltszeit bei QTW	h			
Gesamtvolumen	m <sup>3</sup>			
Oberflächenbeschickung	m/h			
Polymerdosierung	mg/l			
Fällmitteldosierung	mg Fe/l			
Granulierte Aktivkohle (GAK)				
Aktivkohlesorte				
Reaktivierungszyklus				
Filtertyp				Druckfilter
Filteranzahl				8
Filterfläche je Filter	m <sup>2</sup>			9,6
Betthöhe	m			2,2
Bettvolumen	m <sup>3</sup>			21,12
Leerbettkontaktzeit	min			20
Filtergeschwindigkeit	m/h			5,5
STEUERUNG UND REGELUNG				
Zeitproportional				

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

Mengenproportional			ja	
DOC-proportional				
SAK-proportional				
Gelöstozonkonzentration			ja	
Offgasozonkonzentration			ja	
Rezirkulation				
Druckmessung				
<b>INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN</b>				
<b>Investitionskosten</b>				
Bezugsjahr der Kosten			2020	2020
Bautechnik	[€]		1.112.550	966.750
Maschinentechnik	[€]		759.000	858.750
EMSR Technik	[€]		227.700	257.600
Nebenkosten	[€]		472.400	468.600
<b>Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€]</b>		<b>2.571.650</b>	<b>2.551.700</b>
<b>Betriebskosten</b>				
Energie	[€/a]		98.264	31.838
Personal	[€/a]		16.000	16.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		60.524	65.719
Sauerstoff	[€/a]		26.266	
PAK/GAK	[€/a]			98.422
FHM, FM	[€/a]			
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlamm Entsorgung	[€/a]			
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
<b>Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€/a]</b>		<b>201.053</b>	<b>211.979</b>
<b>Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitliches Bezugsjahr (2013)</b>				
<b>Annahmen zur Aktualisierung der Kosten</b>				
Bezugszeitpunkt			2013	2013
Jahre seit Urkalkulation	[a]		-7	-7
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%	0,96569	0,96569
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	0,81309	0,81309
Preissteigerung PAK		1,0%	0,93272	0,93272
Preissteigerung O2		1,0%	0,93272	0,93272
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	0,96569	0,96569
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	0,98267	0,98267
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	0,93272	0,93272
<b>Investitionskosten</b>				
Bezugsjahr der Kosten			2013	2013
Bautechnik	[€]		1.074.378	933.580
Maschinentechnik	[€]		745.849	843.871
EMSR Technik	[€]		227.700	257.600
Nebenkosten	[€]		456.192	452.522
<b>Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€]</b>		<b>2.504.119</b>	<b>2.487.574</b>
<b>Betriebskosten</b>				
Energie	[€/a]		79.897	25.887
Personal	[€/a]		15.451	15.451
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		58.447	63.464
Sauerstoff	[€/a]		24.499	
PAK/GAK	[€/a]			91.800
FHM, FM	[€/a]			
Transport/ Logistik	[€/a]			
Schlamm Entsorgung	[€/a]			
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
<b>Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)</b>	<b>[€/a]</b>		<b>178.294</b>	<b>196.602</b>

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Niederkassel

<b>Reinvestitionskosten in EURO</b>	<b>Faktoren LAWA</b>		
Bautechnik	0 [€]	0	0
Maschinenteknik (nach 15 a)	0,66636 [€]	497.002	562.320
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967 [€]	295.502	334.305
Nebenkosten	0 [€]	0	0
<b>Gesamtkosten</b>	<b>[€]</b>	<b>792.505</b>	<b>896.625</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>Faktoren LAWA</b>		
Bautechnik	0,05102 [€/a]	54.814	47.631
Maschinenteknik	0,05102 [€/a]	63.409	71.743
Elektrotechnik	0,05102 [€/a]	26.693	30.199
Nebenkosten	0,05102 [€/a]	23.275	23.087
<b>Gesamtkosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>168.191</b>	<b>172.659</b>
<b>Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)</b>	Einheiten		
Jahreskosten gesamt	[€/a]	346.485	369.261
Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser	[€/(m <sup>3</sup> ·a)]	0,18	0,19
Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> Frischwasser	[€/(m <sup>3</sup> ·a)]	0,21	0,22
Spez. Jahreskosten je E	[€/(E·a)]	6,51	6,93

## **10 Anhang C – Pläne**

### **10.1 Hydraulischer Schnitt (Bestand)**

## **10.2 Lageplan Variante 1 (PAK-Dosierung in Belebung)**



### **10.3 Lageplan Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken)**

## **10.4 Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)**

## **10.5 Lageplan Variante 4 (GAK-Filtration)**