

# Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf dem Gruppenklärwerk Bedburg-Kaster

#### **ABSCHLUSSBERICHT**

**April 2018** 

Verfasser: Gefördert durch:



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



Machbarkeitsstu	die zur Mikroschadstoffelimination auf dem	GKW Bedburg-Kaster	
Auftraggeber:			
Erftverband			
Am Erftverba	nd 6, 50126 Bergheim		
Herr Beyerle,	02271-88-1243		Unterschrift
Aufgestellt du	rch:		
INGENIEURE	BÜRO ATEMIS GMBH		
Ingenieurbürd	für Abwassertechnik, Energiema	nagement und innovativ	e Systementwicklung
Dennewartstr	aße 25-27 – 52068 Aachen		
Tel.: 0241 96	3-1890, Fax: 0241 963-1899, info	@atemis.net	
Bearbeiter:	DiplBiol. Doris Schäpers		
	Katharina Kasper M.Sc.		
Aachen, den	04.04.2018		
ppa. M. Merte			

# **Inhaltsverzeichnis**

1		Einleitung und Veranlassung	.10
	1.1	Allgemeines	. 10
	1.2	Maßnahmen zur Minimierung von Mikroschadstoffeinträgen in die Umwelt und gesetzlic Rahmenbedingungen	
	1.2.1	Umweltqualitätsnormen (UQN)	. 14
	1.2.2	Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)	. 15
	1.2.3	PNEC (predicted no-effect concentration)	. 15
2		Ermittlung der Grundlagendaten	.17
	2.1	Beschreibung des GKW Bedburg-Kaster	
	2.2	Beschreibung der vorhandenen Bau-, Maschinen- und Anlagentechnik	
	2.3	Beschreibung des Einzugsgebietes des GKW Kaster	
	2.3.1	Einzugsgebiet des GKW Kaster	. 20
	2.3.2	Qualität des Vorfluters	. 20
	2.3.3	Zustand der Grundwasserkörper	. 24
	2.3.4	Landwirtschaft	. 24
	2.3.5	Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet	. 26
3		Verfahren zur Mikroschadstoffelimination	. 27
	3.1	Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle	. 29
	3.1.1	Grundlagen der Adsorption	. 29
	3.1.2	Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen	. 30
	3.1.3	Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	. 32
	3.1.4	Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	. 36
	3.2	Oxidative Verfahren	. 37
		Grundlagen der Oxidation	
	3.2.2	Einsatz von Ozon auf Kläranlagen	. 39
	3.3	Membranverfahren	
	3.3.1	Grundlagen der Membrantechnik	. 41
	3.3.2	Einsatz von Membranen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	
	3.4	Sonstige Verfahren	
		AOP Advanced Oxidation Processes	
		Weitere Verfahren	
	3.5	Photolyse	
	3.6	Ultraschall	
	3.7	Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen	
	3.7.1	Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen	
4		Auswertung der Betriebsdaten des GKW Bedburg-Kaster	
	4.1	Zulauf der Kläranlage	
	4.2	Ablauf der Flockungsfiltration	
	4.3	Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsst	
	4.4	Untersuchungen der Vorfluter	. 55
	4.4.1	Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie	.55

	4.5	Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs	58
	4.5.1	Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie	58
5		Entwicklung von Verfahrenskonzepten für das GKW Bedburg-Kaster	64
	5.1	Vorauswahl der Behandlungsverfahren	64
	5.2	Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe	66
	5.3	Nutzung von Bestand und mögliche Aufstellflächen für eine 4. Reinigungsstufe	68
	5.4	Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte	70
	5.4.1	Anbindung der 4. Reinigungsstufe an den Kläranlagenbestand	70
		Variante 1: PAK-Dosierung in die Belebung	
		Variante 2: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	
		Variante 3: Ozonbehandlung	
	5.4.5	Variante 4.1: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)	81
6		Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte	87
	6.1	Investitionen	
	6.2	Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten	
	6.3	Jahreskosten	
	6.4	Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation	
	6.5	Bewertung der Verfahrenskonzepte und der Errichtung einer 4. Reinigungsstufe a Kaster	
7		Anhang A - Untersuchungsergebnisse	97
	7.1	Untersuchungsergebnisse Vorfluter im Rahmen der Studie	97
	7.2	Untersuchungsergebnisse Kläranlage im Rahmen der Studie	
	7.3	Eliminationsraten Kläranlage	107
8		Anhang B – Investitionen	108
	8.1	Investitionen Variante 1	108
	8.2	Investitionen Variante 2	109
	8.3	Investitionen Variante 3	110
	8.4	Investitionen Variante 4.1	
	8.5	Investitionen Variante 4.2	
	8.6	Energiebedarf	
	8.7	Betriebskosten	
	8.8	Jahreskosten Variante 1 und 2	
	8.9	Jahreskosten Variante 3, 4.1 und 4.2	117
9		Anhang C – Pläne	
	9.1	Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)	
	9.2	Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)	
	9.3	Lageplan Variante 4.1 (GAK-Filtration)	
	9.4	Hydraulischer Längsschnitt Bestand	122

#### Abkürzungsverzeichnis:

ACP	Allgemeine chemisch physikalische Parameter
AOX	Halogenierte organische Verbindungen
ARA	Abwasserreinigungsanlage, Kläranlage
Bafu	Bundesamt für Umwelt, Bern (Schweiz)
BVT	Bed volume treated
DEHP	Bis(2-ethylhexyl)phthalat (Weichmacher)
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff (dissolved organic carbon)
Eawag	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EBCT	Empty bed contact time
ELWAS	Elektronisches Wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW
GAK oder GAC	granulierte Aktivkohle
GOW	Gesundheitlicher Orientierungswert
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ	Mittlerer Abfluss
OGewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK oder PAC	Pulveraktivkohle
PNEC	Predicted no effect concentration
Q	Wassermenge in m³/d, m³/h
REACH-Verordnung	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
UQN	Umweltqualitätsnorm
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

#### Literaturverzeichnis:

- 1. Umweltbundesamt. [Online] http://www.umweltbundesamt.de/.
- 2. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Bericht: Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in NRW. Düsseldorf: s.n., 2014.
- 3. Christian Götz, Juliane Hollender, Robert Kase. Mikroverunreinigungen Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des BAFU. Dübendorf : Eawag, 2010.
- 4. **Bayerisches Landesamt für Umwelt.** [Online] [Zitat vom: 01. 07 2016.] https://www.lfu.bayern.de/analytik\_stoffe/arzneimittelwirkstoffe/faq/index.htm.
- 5. Ina Ebert, Sabine Konradi, Arne Hein, Riccardo Amato. Arzneimittel in der Umwelt vermeiden, reduzieren, überwachen. s.l.: Umweltbundesamt, 2014.
- 6. Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf Pharmaka und endokrin wirksame Verbindungen. **Ternes, T.** Wasser Berlin : s.n., 2006.
- 7. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern Vierte Reinigungsstufe für weniger Einträge. 2015.
- 8. Christian Götz, Sabine Bergmann, Christoph Ort, Heinz Singer, Robert Kase. *Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser- Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein- Westfalen.* s.l.: Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), D, 2012.
- 9. **BIO Intelligence Service.** Study on the environmental risks of medicinal products, Final report prepared for Executive Agency for Health and Consumers. 2013.
- 10. **Umweltbundesamt.** REACH Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals. *Informationsportal.* [Online] [Zitat vom: 18. September 2015.] http://www.reach-info.de/.
- 11. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrheinwestfalen. ELWAS-WEB. [Online] http://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf.
- 12. Erftverband. Gruppenklärwerk Kaster Erweiterung und Sanierung. Düsseldorf : s.n., 2010.
- 13. Erftverband. GKW 79 Kaster 1:1000. [Hrsg.] Erftverband.
- 14. **Engelhardt, Norbert.** Betriebsanleitung dür die Betriebsstelle Nr. 79 GKW Kaster. s.l. : Erft Verband, 2012.
- 15. Wikipedia. [Online] [Zitat vom: ] https://de.wikipedia.org/wiki/Bedburg.

- 16. Wikipedia. [Online] [Zitat vom: 30. 11. 2016.] https://de.wikipedia.org/wiki/Bergheim.
- 17. Hydro Ingenieure. GWK Kaster Erweiterung und Sanierung Entwurfsplanung. 2010.
- 18. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen. 2014.
- 19. **Beyerle, Luk.** AW: Machbarkeitsstudie Mikroschadstoffe GKW Kaster Protokoll vom 10.1.2017 Protokoll. [E-Mail vom 01.02.2017]
- 20. **Statistische Ämter des Bundes und der Länder.** Regionaldatenbank Deutschland. [Online] https://www.regionalstatistik.de/genesis/online;jsessionid=E05172CE099CF938A3DC3A75C7C669BC?operation=previous&levelindex=3&levelid=1482316262886&step=3.
- 21. Erftverband. GKW Kaster Grundlagenermittlung. 2010.
- 22. 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.
- 23. Schleswig-Holstein Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume. Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein.
- 24. Wasserblick/BfG, Berichtsportal. Zitiert nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. [Online] [Zitat vom: 21. September 2015.] http://www.bmub.bund.de/themen/wasser-abfall-boden/binnengewaesser/fluesse-und-seen/zustand-deroberflaechengewaesser/.
- 25. Beyerle, Luk. AW: Spurenstoffstudie GKW Bedburg-Kaster. [E-Mail vom 20.02.2018]
- 26. Rüb, Bernhard (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Pressestelle). Landwirtschaftszählung NRW 2010: Tierbestände und Anbauflächen [E-Mail]. 07. Oktober 2015.
- 27. **Umweltbundesamt (Hrsg.).** Reaktiver Stickstoff in Deutschland Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen. 2014.
- 28. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Überblick über die wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen in Nordrhein-Westfalen Information der Öffentlichkeit gemäß § 36 WHG und Art. 14, Abs. 1 (b) der EG-Wasserrahmenrichtlinie. 2013.
- 29. **Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist.** *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.* Bern: Bundesamtfür Umwelt, 2012. Umwelt-Wissen Nr. 1214.

- 30. **ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. 2015.
- 31. Marc Böhler, Ben Zwickenpflug, Mariangela Grassi, Markus Behl, Silvio Neuenschwander, Hansruedi Siegrist, Falk Dorusch, Juliane Hollender, Brian Sinnet, Thomas Ternes, Guido Fink, Christoph Liebi, Walter Wullschläger. Abschlussbericht Aktivkohledosierung in den Zulauf zur Sandfiltration Kläranlage Kloten/Opfikon (ergänzende Untersuchungen zum Projekt Strategie MicroPoll). Dübendorf: s.n., 2011.
- 32. C. Bornemann, M. Hachenberg, S. Yüce, J. Herr, P. Jagemann, S. Lyko, F. Benstöm, D. Montag, C. Platz, M. Wett, N. Biebersdorf, J.M. Kaub, G. Kolisch, T. Osthoff, Y. Taudien, T. Rolfs, H. Stepkes. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MIKROFlock). 2012.
- 33. M. Böhler, A. Wittmer, A. Heisele, A. Wohlhausser, L. Salhi, U. von Gunten, C. Mc Ardell, P. Longrée, B. Beck, H. Siegrist. Berichterstattung Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut. Bern: Bafu, 2013.
- 34. Frank Benstöm, Andreas Nahrstedt, Marc Böhler, Gregor Knopp, David Montag, Hansruedi Siegrist, Johannes Pinnekamp. Granulierte Aktivkohle Ein Review halb- und großtechnischer Untersuchungen. *Gewäserschutz Wasser Abwasser.* 2016, Bd. 239.
- 35. Marc Böhler, Julian Fleiner, Christa S. McArdell, Cornelia Kienle, Max Schlachtler, Hansruedi Siegrist. Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach ozonung ReTREAT. *Gewässerschutz Wasser Abwasser*. 2016, Bd. 239.
- 36. Oliver Christ, Ralf Mitsdoerffer. Studie Weitergehende Reduzierung der Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Espelkamp. 2013.
- 37. Tobias Nöthe, Hans Fahlenkamp, Clemens von Sonntag, Alfred Golloch, Thomas Ries, Christoph B. Hannich. Einsatz und Wirkungsweise oxidativer Verfahren zur Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen, Teil 2a Versuche zur Elimination relevanter Spurenschadstoffe. 2005.
- 38. **K. Gantner, M. Barjenbruch.** Abschlussbericht: Reduzierung des Frachteintrags aus Mischwasserentlastungen. 2012.
- 39. **Türk, Jochen.** *Einsatz der Verfahrenstechnik Ozon.* Workshop "Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung" bei der Bezirksregierung Detmold am 19.09.2013 : s.n., 2013.
- 40. **Rita Triebskorn, Ludek Blaha, Brigitte Engesser et al.** SchussenAktiv Eine Modellstudie zur Effizienz der Reduktion der Gehalte an anthropogenen Spurenstoffen durch Aktivkohle in Kläranlagen. *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft.* 2013, Bd. 6, 8.

- 41. **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.
- 42. **Thomann, Michael.** *Versuchsaufbau und erzielte Resultate beim Großversuch.* [Vortrag] Wetzikon: s.n., 2013.
- 43. **J. Frischmuth, S. Henning, Chr. Karbaum, A. Steinert.** Schlussbericht Untersuchungen zur Eliminierung bestimmter gefährlicher Stoffe in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen. Dresden/Oppin: s.n., 2012.
- 44. **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.
- 45. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW. Ergebnisbericht Erft. Köln: s.n., 2005.
- 46. Johanna Obrecht, Michael Thomann, Jean-Marc Stoll, Kerstin Frank, Markus Sobaskiewicz, Markus Boller, Peter Freisler. PAK-Dosierung ins Belebungsbecken Alternative zur nachgeschalteten Pulveraktivkohleadsorption. *Aqua & Gas.* 2015, Bd. 2.
- 47. **Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.** *Mikroschadstoffentfernung machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination (Stand 20.10.2015).* 2015.
- 48. Erik Gawel, Wolfgang Köck, Harry Schindler, Robert Holländer, Sabine Lautenschläger. *Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe.* s.l.: Umweltbundesamt, 2015.

### 1 Einleitung und Veranlassung

#### 1.1 Allgemeines

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

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

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

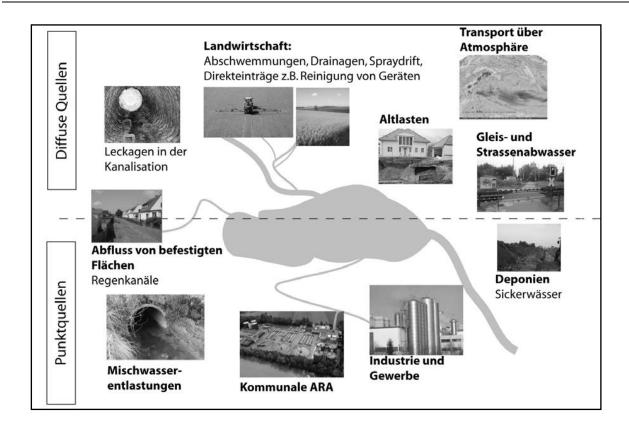


Abbildung 1-1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern (3)

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

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

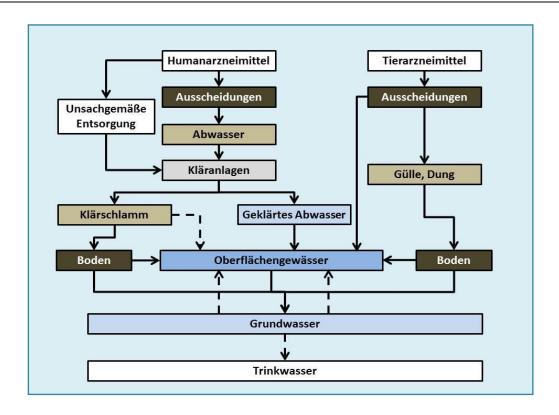


Abbildung 1-2: Haupteintragswege für Human- und Tierarzneimittel (nach (5))

Für viele in Oberflächengewässern nachgewiesene 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)

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

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

Aufgrund der besonderen Relevanz des Gewässerschutzes in NRW fördert das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) NRW zurzeit die Durchführung von Machbarkeitsstudien zur Mikroschadstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen. Der Erftverband hat sich aufgrund der vorstehend beschriebenen Thematik entschlossen, eine Machbarkeitsstudie für das GKW Bedburg-Kaster in Auftrag zu geben. Parallel zur Studie läuft das Projekt "Spurenstoffagenda Erft" des Erftverbandes, in das die Ergebnisse der Mikroschadstoffanalysen einfließen. Dieses soll klären, auf welchen Eintragspfaden Mikroschadstoffe in die Erft eingetragen werden und welche Gegenmaßnahmen ergriffen werden können.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 1.2.1 <u>Umweltqualitätsnormen (UQN)</u>

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

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

Neben den europaweit geregelten Stoffen zur Festlegung des "guten chemischen Zustands" sind von den EU-Mitgliedstaaten für weitere sogenannte flussgebietsspezifische Stoffe nationale Umweltqualitätsnormen rechtlich festzulegen, um den "guten ökologischen Zustand" der Oberflächengewässer zu definieren.

Die Liste der in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) aus dem Jahre 2016 enthaltenen Umweltqualitätsnormen für derartige flussgebietsspezifische Stoffe wurde im Vergleich zur Version von 2011 deutlich gekürzt und umfasst jetzt 67 Stoffe (vorher 162). Es handelt sich um Schwermetalle und organische Mikroverunreinigungen.

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

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

#### 1.2.2 <u>Gesundheitlicher Orientierungswert (GOW), allgemeiner Vorsorgewert (VW)</u>

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

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

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

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

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

Im Rahmen der Registrierung von Stoffen gemäß REACH-Verordnung (Europäische Chemikalienverordnung REACH "Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals"), für die ein Stoffsicherheitsbericht erstellt wird, muss der PNEC bestimmt werden. Im UBA-Informationsportal wird die Vorgehensweise wie folgt beschrieben: "Gemäß REACH müssen Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender ihre Chemikalien registrieren und sind für deren sichere Verwendung selbst verantwortlich. Die Registrierungsunterlagen werden von den Behörden allerdings nur stichprobenartig inhaltlich überprüft. Ausgewählte Stoffe werden von den Behörden bewertet und ggf. einer Regelung zugeführt. Besonders besorgniserregende Stoffe kommen in das Zulassungsverfahren. Als weitere Regulierungsmöglichkeit sieht REACH das Instrument der Beschränkung vor. Schließlich enthält REACH Bestimmungen zur Informationsweitergabe in der Lieferkette und Auskunftsrechte für Verbraucher" (10).

## 2 Ermittlung der Grundlagendaten

Die folgenden Angaben stammen, soweit nicht anders angegeben, aus der Betriebsanleitung zum GKW Kaster (Revision vom 15.02.2012).

#### 2.1 Beschreibung des GKW Bedburg-Kaster

Beim GKW Kaster handelt es sich um eine mechanisch-biologische Anlage. Das Einzugsgebiet der Kläranlage wird im Wesentlichen (ca. 80 %) im Mischsystem entwässert.

Die derzeitige Ausbaugröße der Kläranlage beträgt:

Ausbaugröße

66.000 EW

Aus der Grundlagenermittlung von 2010 können folgende Werte zusammengefasst werden:

Tageswassermenge (Q<sub>D</sub>)
 Trockenwetterzufluss (Q<sub>t</sub>)
 Mischwasserzufluss (Q<sub>M</sub>)
 10.560 m³/d
 715 m³/h
 1.872 m³/h

Zurzeit (Stand 2015) ist die Anlage mit ca. 48.500 EW belastet (11).

Das GKW Kaster besteht aus einer mechanischen Vorreinigungsstufe und einer einstufigen, zweistraßigen Belebungsanlage, die als Dreier-Kaskade (anaerb/anoxisch/aerob) mit Nährstoffelimination (Bio-P, Nitrifi-kation/Denitrifikation) ausgebildet ist. Verbleibender Phosphor wird mittels Simultanfällung entfernt. Der Belebtschlamm wird im Nachklärbecken vom gereinigten Abwasser abgetrennt. Im Anschluss an die Nachklärung wird das Abwasser über den ursprünglich als Flockungsfiltration geplanten Sandfilter geleitet. Das GKW Kaster wird mit einer Simultanfällung betrieben, die eine hinreichende Eliminationsleistung erzielt, um die Überwachungswerte sicher einzuhalten. Der Sandfilter dient heute dazu einen eventuellen Schlammflockenabtrieb aus der Nachklärung zu verhindern. Der auf dem Klärwerk anfallende Schlamm wird anaerob behandelt und anschließend maschinell entwässert.

Ein vereinfachtes Fließbild des GKW Kaster zeigt Abbildung 2-1.

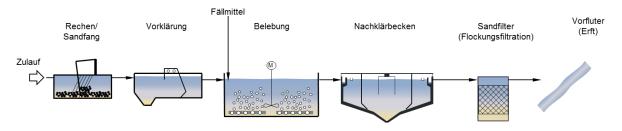


Abbildung 2-1: Vereinfachtes Fließbild des Gruppenklärwerks Bedburg-Kaster

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

Tabelle 2-1: Überwachungswerte im Ablauf des GKW Kaster

Parameter	Überwachungswert [mg/l]
CSB	50
BSB5	20
NH4-N	5*
N(ges)	18**
P(ges)	2

<sup>\*</sup> ständig einzuhalten

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

Das GKW Kaster verfügt über folgende Bauwerke (12):

- Rohwasserpumpwerk (4 Kreiselpumpen + 1 Redundanz, je 140 l/s)
- Rechenanlage mit Grob und Feinrechen, Stabrechen mit 20 bzw. 10 mm Stabweite
- Belüfteter Längssandfang, 2-straßig mit V<sub>ges.</sub> = 330 m<sup>3</sup>
- Vorklärung bestehend aus 2 Rechteckbecken mit V<sub>ges</sub>. = 1.100 m<sup>3</sup>
- Belebungsbecken, 2-straßig, untergliedert in Vornitrifikationsstufe, Anaerobstufe, vorgeschaltete Denitrifikationsstufe und Nitrifikationsstufe, Nutzinhalt gesamt: 11.900 m³
- Nachklärbecken bestehend aus 2 Rundbecken mit Saugräumern, Oberfläche gesamt: 2.270 m²
- Flockungsfiltration mit 6 abwärts durchströmten Filterzellen, Filterfläche gesamt: 150 m²
- Überschussschlammeindickung mit 2 Stück Siebtrommeln
- Stapelbehälter für Primärschlamm, 2 Behälter, V<sub>ges.</sub> = 300 m<sup>3</sup>
- Faulbehälter, 2 Behälter, V<sub>ges.</sub> = 2.000 m<sup>3</sup>
- Stapelbehälter für Faulschlamm, 2 Behälter, Vges. = 300 m³
- Schlammentwässerungsanlage mit einer Hochleistungszentrifuge
- Trübwasserspeicher, 1 Behälter, V = 200 m³

Ein Luftbild der Anlage ist in Abbildung 2-2 gezeigt.

<sup>\*\*</sup> einzuhalten von 01. Mai bis 31. Oktober



Abbildung 2-2: Luftbild des GKW Kaster (13)

Das Abwasser passiert die Rechenanlage und gelangt dann in die 2-straßigen Sandfänge, wo die mineralischen Bestandteile durch Sedimentation abgetrennt werden. Nach der mechanischen Vorreinigung gelangt das Abwasser in die aus zwei Rechteckbecken bestehende Vorklärung. Hier erfolgt eine Teilelimination von CSB, BSB<sub>5</sub>, absetzbaren Stoffen sowie Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Der anfallende Primärschlamm wird in den beiden Faulbehältern behandelt.

Das mechanisch vorgereinigte Abwasser wird der 2-straßigen Belebung zugeleitet. Hier erfolgt die biologische Abwasserreinigung (Kohlenstoffabbau, weitestgehende Stickstoffelimination). Nach der biologischen Reinigung gelangt das Abwasser zu den zwei Nachklärbecken, der hier anfallende Überschussschlamm wird gemeinsam mit dem Primärschlamm anaerob-mesophil stabilisiert. Im Teilstrom wird das Wasser aus der Faulschlammentwässerung biologisch behandelt (Deammonifikation). Das gereinigte Abwasser wird der Filtration zugeführt, bevor es in den Vorfluter (Erft) abgeleitet wird.

#### 2.3 Beschreibung des Einzugsgebietes des GKW Kaster

Das GKW Kaster liegt im Stadtgebiet von Bedburg im Norden des Rhein-Erft-Kreises in Nordrhein-Westfalen (14). Bedburg hat etwa 25.000 Einwohner auf einer Fläche von ca. 80 km² und gehört zum Regierungsbezirk Köln (15). Die Abwässer der Nachbarstadt Bergheim, mit einer Einwohnerzahl von ca. 60.000 und einer Ausdehnung von ca. 96 km² werden z.T. mitbehandelt (16). Unmittelbar am Klärwerksgelände vorbei führt die L 213, die Deutsche Bahn von Bedburg nach Grevenbroich und von Süden nach Norden die Erft (17). Die Umgebung ist geprägt durch die landwirtschaftliche Nutzung sowie den Braunkohle-Tagebau.

#### 2.3.1 Einzugsgebiet des GKW Kaster

Das Einzugsgebiet des GKW Kaster umfasst zum einen das Stadtgebiet von Bedburg, bestehend aus den Ortsteilen Lipp, Kirdorf und Blerichen, Kaster, Königshoven, Kirch-/Grottenherten, Pütz, Klein-/Kirchtroisdorf, Weiler Hohenholz sowie dem Industriepark Mühlenerft, zum anderen auch Ortsteile von Bergheim, nämlich Kernstadt, Kenten, Paffendorf, Glesch und Zieverich.

Geprägt wird das Einzugsgebiet durch Wohnungsbebauung und Gewerbeflächen. Indirekteinleiter sind u.a. ein Duftmittelhersteller, eine Maschinenfabrik, Labore, Zahnarztpraxen, Waschplätze und Tankstellen. Des Weiteren werden die Abwässer der zwei Krankenhäuser, des Maria-Hilf-Krankenhaus Bergheim sowie des St. Hubertus-Stift Bedburg, mitbehandelt (18; 11). Insgesamt befinden sich sieben Pflegeeinrichtungen mit insgesamt 541 Pflegeplätzen im Einzugsgebiet (eigene Erhebung des Erftverbands). Es zeigen sich darüber hinaus jedoch keine Auffälligkeiten bezüglich der Altersverteilung im Einzugsgebiet (siehe Abbildung 2-3), so dass mit durchschnittlichen Einträgen typischer geriatrischer Medikamente zu rechnen ist.

	Anteil 0-18-jähriger	Anteil 18-40-jähriger	Anteil 40-65-jähriger	Anteil >65-jähriger	
	an Gesamtbevölkerung	an Gesamtbevölkerung	an Gesamtbevölkerung	an Gesamtbevölkerung	
Bedburg	18%	24%	39%	19%	
Bergheim, Erft	18%	24%	39%	19%	
Nordrhein-Westfalen	17%	26%	37%	20%	

Abbildung 2-3: Altersverteilung (nach (19), (20))

Die Abwässer werden zum größten Teil im Mischsystem zum GKW Kaster geleitet (11). Das GKW Kaster leitet das gereinigte Wasser in die Erft ein. (14; 21)

Da es sich bei dem im GKW Bedburg-Kaster behandelten Abwasser zum größten Teil um kommunales Abwasser handelt, werden im Abwasserstrom der Kläranlage keine oder nur geringe Mengen an Industriechemikalien vermutet. Durch die einleitenden Krankenhäuser kann es jedoch zu einem deutlichen Eintrag von Medikamentenrückständen und Röntgenkontrastmitteln kommen.

#### 2.3.2 Qualität des Vorfluters

Das GKW Kaster leitet über einen Ablaufkanal, der unter der L213 und der DB-Strecke verläuft, in die Erft ein (14). Die Einleitstelle ist mit einem grünen Dreieck markiert (Abbildung 2-4).



Abbildung 2-4: Einleitstelle des GKW Kaster in die Erft (roter Kreis) (11)

Der chemische Zustand der Erft wurde bei Untersuchungen des Landes Nordrhein-Westfalen (OFWK, 3. Zyklus, 2012 - 2014) sowohl ober- als auch unterhalb des GKW Kaster als "nicht gut" beurteilt (Abbildung 2-5). Einige Stoffe, die sogenannten ubiquitären Stoffe, sind in geringen Konzentrationen europaweit in der Umwelt vorhanden. Im Hinblick auf diese Stoffe (zum Beispiel Nitrat und Quecksilber) bestehen keine realistischen Möglichkeiten auf ein Erreichen der für den guten Gewässerzustand festgelegten Umweltziele.



Abbildung 2-5: Chemischer Zustand der Erft und weiterer Gewässer in der Umgebung des GKW Kaster (11)

Betrachtet man den chemischen Zustand der Erft ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe, ergibt sich ein "guter" chemischer Zustand (Abbildung 2-6)

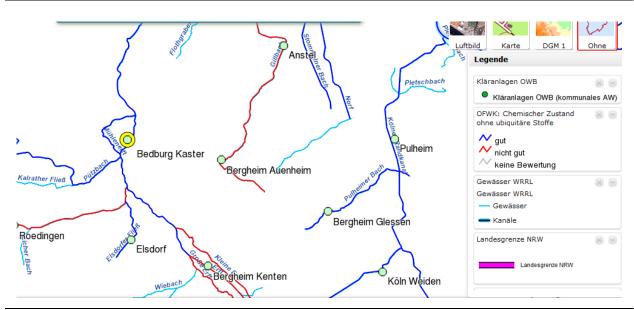


Abbildung 2-6: Chemischer Zustand der Erft und weiterer Gewässer ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe (11)

Der im Rahmen der oben genannten Untersuchung festgestellte ökologische Zustand der Erft ist "schlecht". Dies gilt sowohl ober- als auch unterhalb des GKW Kaster (Abbildung 2-7).

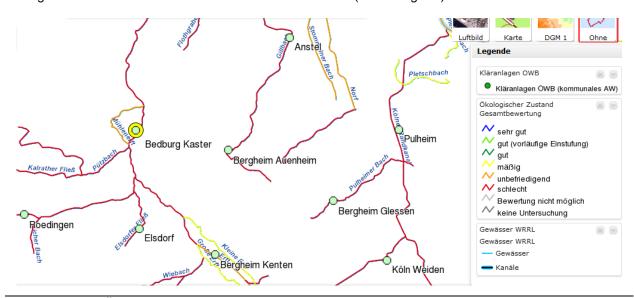


Abbildung 2-7: Ökologischer Zustand der Erft in der Umgebung des GKW Kaster (11)

In der direkten Umgebung des GKW Kaster liegt das Naturschutzgebiet "NSG Erft zwischen Bergheim und Bedburg/ BM-041" (Abbildung 2-8) und das "NSG Ehemalige Klaerteiche Bedburg / BM-040". Die Naturschutzgebiete reichen bis ca. 800 m an das GKW heran, die Erft durchfliest diese allerdings vor der Einleitstelle des GKW Kaster. Nach der Einleitstelle tangiert die Erft vor der Mündung in den Rhein nach knapp 17 km nur noch das kleine Naturschutzgebiet "NSG An der schwarzen Brücke/ NE-011" bei Wevelinghoven im Rhein-Kreis Neuss.

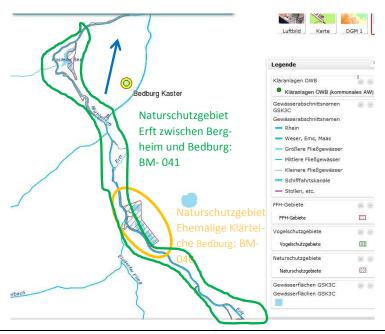


Abbildung 2-8: FFH-, Vogel- und Naturschutzgebiete in der Umgebung des GKW Kaster (11)

Deutschlandweit gab es in den vergangenen Jahren Untersuchungen zum chemischen und ökologischen Zustand von Gewässern (siehe Abbildung 2-9). Hierbei zeigte sich, dass der ökologische Zustand der meisten Gewässer in Deutschland schlecht, unbefriedigend oder mäßig (≈ 90%) ist. Im Gegensatz dazu ist der chemische Zustand vieler Gewässer (≈90%) in Deutschland gut, wenn man von den überall in Europa vorhandenen Schadstoffen, den sogenannten ubiquitären Schadstoffen wie Quecksilber (22), PCB oder Nitrat (23), absieht.

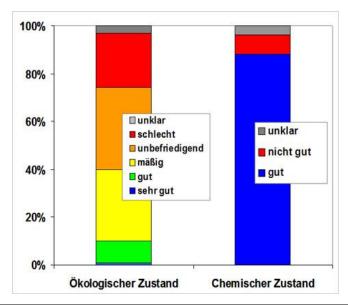


Abbildung 2-9: Ökologischer und chemischer Zustand der Oberflächengewässer in Deutschland (aus (24))

Der Abwasseranteil des GKW Kaster liegt mit einer durchschnittlichen Ablaufmenge von 131 l/s und einem mittleren oberhalb anfallenden Niedrigwasserabfluss der Erft von 6.207 l/s bei ca. 2 % (25).

#### 2.3.3 Zustand der Grundwasserkörper

Das GKW Kaster liegt im Bereich des Grundwasserkörpers 274\_03 / Tagebau und Kippen nördliche Rheintalscholle u. Venloer Scholle. Der Grundwasserkörpers 274\_03 hat eine Fläche von 8751 ha und liegt vollständig in NRW. Zuständige Stelle ist die Bezirksregierung Köln. Durch den Tagebau wurde der Grundwasserspiegel abgesenkt und die Grundwasserverhältnisse sind stark gestört. Ein natürlicher Stockwerksaufbau ist im ehemaligen Abbaubereich und heutigen Kippenbereich nicht mehr vorhanden. Im Gebiet des Grundwasserkörpers 274\_03 wird, laut Bewertung GWK Chemischer Zustand (2. BWP, 2007 - 2012), der chemische Gesamtzustand mit "schlecht" beurteilt. Die Grenzwerte für Ammonium, Arsen, Quecksilber und Sulfat werden überschritten. (11)

#### 2.3.4 Landwirtschaft

Die Umgebung von Bedburg und Bergheim ist durch die landwirtschaftliche Nutzung und den Tagebau geprägt. Mit Stand 2010 gibt es 57 Bestände mit insgesamt 9.217 Tieren (Tabelle 2-2) (26).

Tabelle 2-2: Tierbestände im Umland von Bedburg und Bergheim (nach (26))

Tierbestände	Stadt Bedburg		Stadt Bergheim		Gesamt	
Tierart	Bestände [Stk.]	Anzahl Tiere [Stk.]	Bestände [Stk.]	Anzahl Tiere [Stk.]	Bestände [Stk.]	Anzahl Tiere [Stk.]
Rinder	5	146	10	377	15	523
Schweine	3	1 600	2	-	5	1 600
Hühner	1	-	10	5 925	11	5 925
Mastgeflügel	-	-	4	327	4	327
Weitere Tierarten	2	_	20	842	22	842
Gesamt	11	1.746	46	7.471	57	9.217

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche der Städte Bedburg und Bergheim beläuft sich (Stand 2010) auf insgesamt 9.090 ha (26). Das entspricht einem Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen an der Gesamtfläche der beiden Städte von knapp 52 %. Die verschiedenen Nutzungsarten sind in Tabelle 2-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 2-3: Nutzungsfläche der Städte Bedburg und Bergheim (nach (26))

Nutzungsfläche		Stadt Bedburg	Stadt Bergheim	Gesamt
Silomais	ha	142	60	201
Körnermais inkl. CCM (Corn-Cob-Mix)	ha	23	20,85	44
Getreide (ohne Mais)	ha	2.198	2230,25	4.429
Dauergrünland	ha	34	269,39	304
Weitere stark landwirtschaftlich geprägte Fläche	ha	2.391	1.722	4.113
Gesamt	ha	4.788	4302,07	9.090

Nach einer Untersuchung des Bundesumweltamtes wird im Durchschnitt jeder Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche mit 97 kg Stickstoff überdüngt. (27) Unter der Annahme, dass dieser Wert auch für die Städte Bedburg und Bergheim angesetzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Überdüngung von rund 852.283 kg<sub>N</sub>/a. Im Vergleich dazu leitet die Kläranlage Kaster im Schnitt jährlich etwa 26.749 kg<sub>N</sub> in die Erft ein (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Stickstoffeinträge im Vergleich

Stickstoffeinträge pro Jahr							
		Bedburg	Bergheim	Gesamt			
Landwirtschaft							
Landwirtschaftlich genutzte Fläche 1)	ha	4.754	4.033	8.786			
Überdüngung	kg <sub>N</sub> /ha	97	97	97			
N-Eintrag	kg	461.113	391.170	852.283			
Kläranlage							
Durchschnittliche Ablaufmenge / Jahr m³		3.876.622					
Durchschnittlicher N <sub>anorg</sub> -Gehalt Abwasser mg/I		6,9					
Durchschnittliche Jahresfracht N <sub>anorg</sub> kg		26.749					

<sup>1)</sup> ohne Dauergrünland

In Abbildung 2-10 ist die Verteilung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser in Nordrhein-Westfalen gezeigt. Hohe Einträge ins Grundwasser werden durch hohe Stickstoffüberschüsse verursacht. Der Stickstoffeintrag im Erftkreis liegt dabei im Bundesdurchschnitt. Auch wenn nur ein geringer Anteil des durch die Landwirtschaft ausgebrachten Stickstoffüberschusses tatsächlich in die Gewässer gelangt, ist in landwirtschaftlich geprägten Gebieten mit einem Eintrag von Stickstoff in die Gewässer zu rechnen. Das Umweltbundesamt empfiehlt, den Stickstoffüberschuss drastisch bis auf 50 kg N/(ha\*a) bis zum Jahr 2040 zu verringern (27).

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

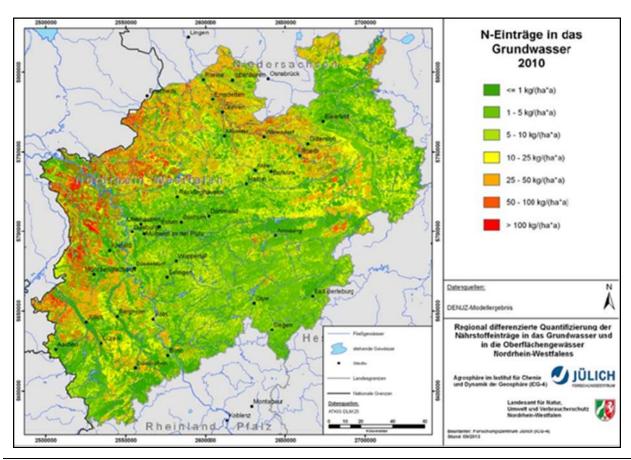


Abbildung 2-10: Verteilung der Stickstoffüberschüsse auf der Landesfläche (NRW) (28)

#### 2.3.5 Abschätzung relevanter Mikroschadstoffe im Einzugsgebiet

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

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

Der Eintrag verschiedener Stoffe in die Erft wird also durchaus auch durch die Einleitung der Kläranlage Kaster verursacht. Andererseits sind für eine Strategie zur Minderung des Mikroschadstoffeintrages möglichst viele andere Faktoren, wie die Landwirtschaft auf den anliegenden Flächen (Kapitel 2.3.4.), zu berücksichtigen.

#### 3 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,
- Schlammfaulung/anaerobe Behandlung.

Die heutigen Kläranlagen verfügen bereits über eine biologische Stufe, allerdings werden die Mikroverunreinigungen dort nur ungenügend entfernt. Die biologischen Verfahren mit den heutigen Betriebsweisen sind somit für die weitergehende Entfernung von 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 (29):

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

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

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

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

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

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

#### **Oxidative Verfahren:**

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

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

#### Physikalische Verfahren:

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

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

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

#### 3.1 Adsorptive Verfahren mit Aktivkohle

#### 3.1.1 <u>Grundlagen der Adsorption</u>

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

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

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

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

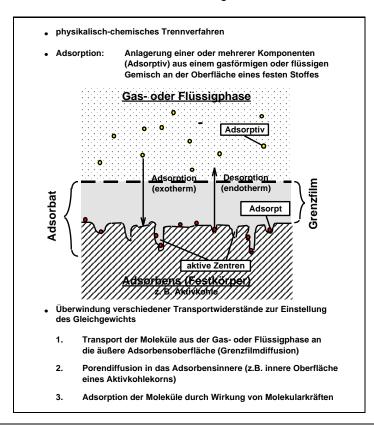


Abbildung 3-1: Grundlagen der Adsorption

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

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

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

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

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

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

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

Der Einsatz der Aktivkohle erfolgt entweder granuliert oder pulverförmig:

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

#### 3.1.2 Verfahrenstechnik und apparative Ausführung von Adsorptionsanlagen

In Abbildung 3-2 sind die prinzipiellen Verfahren der Aktivkohleadsorption dargestellt. Im Rührreaktor wird die Aktivkohle in suspendierter oder pulvriger Form in ein Reaktionsbecken gegeben und im Absetzbecken abgetrennt. Im Reaktionsbecken stellt sich eine mit der Restkonzentration korrespondierende Gleichgewichtsbeladung ein. Theoretisch wäre durch mehrstufige Anwendung der Pulverkohle im Gegenstrom eine optimale Ausnutzung möglich. In der Praxis hat sich eine Rückführung eines Teilstroms der vorbeladenen

Aktivkohle von der Abscheideeinrichtung zurück in das Reaktionsbecken bewährt, um die Adsorptionskapazität besser ausnutzen zu können.

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

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

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

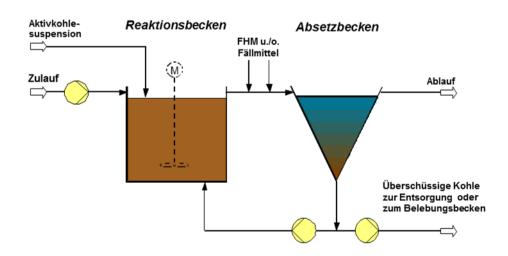
Am Eintritt der ersten Filterstufe (Säule) weist das Adsorbens entsprechend der Zulaufkonzentration die höchste Beladung auf. Für die Auslegung einer mehrstufigen Säulenanlage kann die in der Adsorptionsisotherme bestimmte Beladung bei Zulaufkonzentration zugrunde gelegt werden. Die mögliche Beladung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

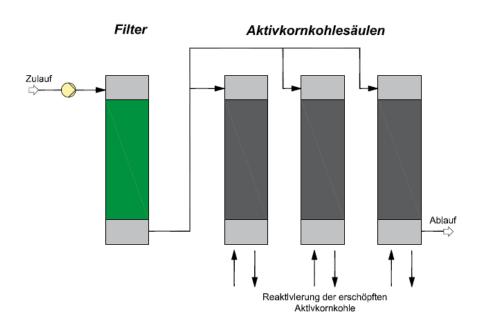
Durch den Einsatz mehrerer in Reihe geschalteter Filter können sehr niedrige Ablaufwerte erzielt werden. Die Anzahl der Filter und die Kontaktzeit müssen so gewählt werden, dass bei Erreichen der erlaubten Konzentration im letzten Filter der erste Filter möglichst vollständig beladen ist.

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

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

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





**Abbildung 3-2: Verfahrensprinzipien Aktivkohleadsorption** (oben: PAK Dosierung in Kontaktbecken unten: GAK-Filtration)

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

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

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

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

Das Verfahren der PAK-Abtrennung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Fällmittelmenge. Die Anforderungen an die Flockenstruktur unterscheiden sich, je nachdem, ob die Abtrennung mittels Sedimentation oder Raumfiltration erfolgt. Für die Sedimentation sind größere Flocken anzustreben, die leicht absinken. Dies wird mit einer Dosierung von ca. 0,4 g Fe / g PAK erreicht. Bei der Abtrennung im Sandfilter dürfen die Flocken weder zu groß, da sie sich dann auf der Oberfläche ansammeln (Flächenfiltration), noch zu klein sein, weil sie dann den Filter passieren. In der ARA Kloten/Opfikon hat sich eine Dosierung von 0,1 g Fe / g PAK bewährt. (29)

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

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

gelösten Stoffen, Feststoffen und Suspensa vor, die sich an die Aktivkohle anlagern können und die Adsorption der Mikroschadstoffe damit verschlechtern (Verdrängungseffekt).

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

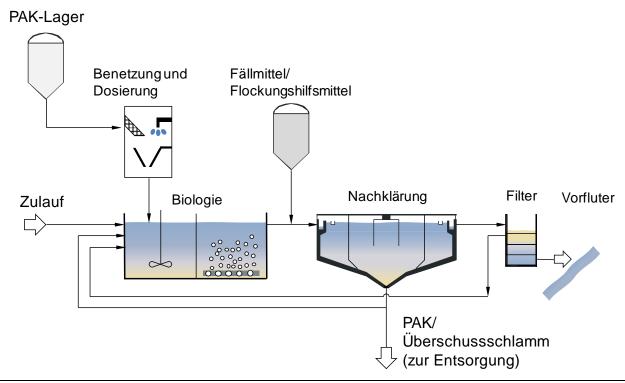


Abbildung 3-3: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in die Belebung

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

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

mittel dosiert werden. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 3-4 gezeigt. Die Überschusskohle kann entweder aus dem Sedimentationsbecken oder mit dem Überschussschlamm aus der Belebung entnommen werden. Eine Regeneration der Kohle wird nicht durchgeführt. Eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlamms ist bei diesem Konzept nicht möglich.

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

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

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

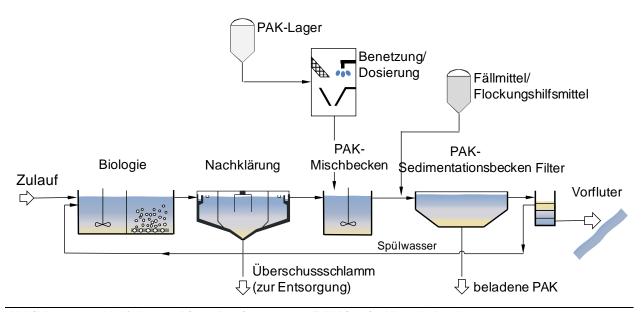


Abbildung 3-4: Verfahrensskizze Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken

#### 3.1.3.3 Dosierung von Pulveraktivkohle in den Überstau eines Sandfilters

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

Der eigentliche Kontaktraum zur Adsorption wird im Filterüberstand des nachgeschalteten Filters realisiert. Der Rückhalt der PAK erfolgt dabei allein durch den Filter. Die PAK wird mit dem Rückspülwasser vorzugsweise in die biologische Stufe zurückgeführt. Die Entnahme der PAK aus dem System erfolgt dann mit dem Überschussschlamm (31), (32).

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

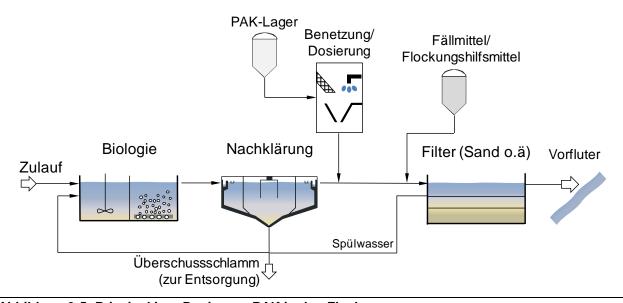


Abbildung 3-5: Prinzipskizze Dosierung PAK in den Flockungsraum

#### 3.1.4 Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Die granulierte Aktivkohle wird in der Regel in einer der Nachklärung nachgeschalteten Filtrationsstufe eingesetzt. Üblich ist der Einsatz von Festbettfiltern, die von oben nach unten durchströmt werden. Sind beispielsweise noch Fest- oder Schwebstoffe in hohen Konzentrationen vorhanden, setzen diese die Aktivkohle schnell zu und "verstopfen" die Poren. Eine zu schnelle Filterbelegung erfordert eine häufige Rückspülung des Filters. Je nach Qualität des Abwassers ist somit ggf. eine Vorfiltration zur Entfernung von Schweb- und Feststoffen erforderlich. Siehe auch die Verfahrensskizze in Abbildung 3-6.

Frische Kohle weist eine sehr hohe Adsorptionsfähigkeit auf, mit zunehmender Laufzeit nimmt diese ab. Die Durchbruchzeiten sind für verschiedene Stoffe sehr unterschiedlich, so dass sich u.U. sehr geringe Standzeiten der Filter ergeben können. In der Sickerwasserreinigung ist es des deshalb üblich mehrere Aktivkohlefilter hintereinander zu schalten und rollierend zu betreiben. Auf kommunalen Kläranlagen sind die Wassermengen jedoch wesentlich höher und dynamischer, so dass der Betrieb mehrerer Filter in Reihe voraussichtlich nicht darstellbar ist. Ein Maß für die Standzeit eines Filters ist das "durchgesetzte Bettvolumen", das auch abgekürzt als BVT (bed volume treated) bezeichnet wird. Die BVT geben an, wie oft ein

Reaktorvolumen von der gleichen Volumenmenge Abwasser durchfahren werden kann bevor es ausgetauscht werden muss. Die zurzeit vorliegenden Erfahrungen zeigen eine deutliche Spannbreite der erzielbaren Bettvolumina, die zwischen 3.000 - 15.000 BVT schwanken (30). Für einzelne Stoffe kann auch nach einer wesentlich längeren Standzeit eine Elimination erreicht werden.

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

In NRW wurden beim Einsatz von GAK Filtern zur Mikroschadstoffelimination positive Erfahrungen gesammelt (z.B. Obere Lutter in Gütersloh). Untersuchungen der Eawag (33) bewerten die Eliminationsleistung von GAK Filtern als eher gering, weil einige Mikroschadstoffe schon nach wenigen Tagen nicht mehr effizient zurück gehalten wurden. Laut Benstöm et al. kann die Standzeit der GAK-Filter durch eine Parallelschaltung mehrerer Filter verlängert werden, weil diese zu einer besseren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK führt, wenn immer die höchstbeladene GAK gegen frische GAK ausgetauscht wird (34). Daneben ist beim Einsatz einer GAK-Filtration zu beachten, dass hohe AFS-Gehalte im Abwasser dazu führen, dass die GAK-Filter häufig gespült werden müssen, was bei zu hoher Spülfrequenz einen zuverlässigen Betrieb der Filter nicht zulässt (34). Daher sollten hohe AFS-Gehalte evtl. durch eine vorgeschaltete Filtration vermieden werden.

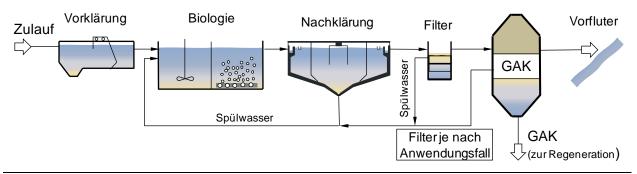


Abbildung 3-6: Verfahrensskizze granulierte Aktivkohle als Festbettfilter

#### 3.2 Oxidative Verfahren

#### 3.2.1 Grundlagen der Oxidation

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

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

Der Oxidationsvorgang von Ozon mit organischen Substanzen basiert auf zwei sich überlagernden Reaktionstypen (Abbildung 3-7).

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

Durch "Initiatoren" wie OH<sup>-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV-Strahlen oder gewisse organische Verbindungen (z.B. die im Abwasser vorkommenden Huminstoffe) werden O<sub>2</sub>-/HO<sub>2</sub>-Radikale gebildet; über Zwischenschritte entsteht das äußerst reaktive OH-Radikal. Die OH-Radikale reagieren mit den organischen Inhaltsstoffen (C), wobei Peroxylradikale entstehen, die ihrerseits O<sub>2</sub>-/HO<sub>2</sub>-Radikale abspalten und den Kreis damit schließen. Hohe Konzentrationen an "Radikalfängern" wie Carbonate/Hydrogencarbonate (CO<sub>3</sub>/HCO<sub>3</sub>) oder Alkylverbindungen wirken hier hemmend auf die Reaktionsgeschwindigkeit, da sie die Kettenreaktion durch Verbrauch von OH-Radikalen unterbrechen können.

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

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

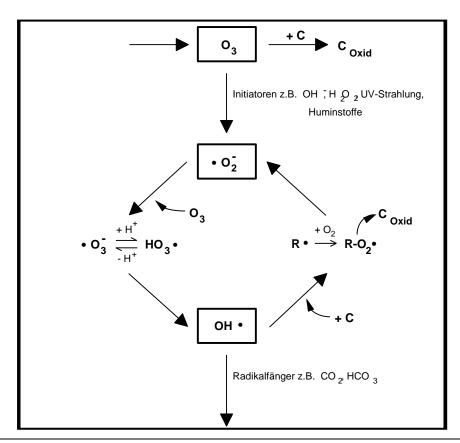


Abbildung 3-7: Reaktionsmechanismen bei der Oxidation mit Ozon

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

# 3.2.2 Einsatz von Ozon auf Kläranlagen

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

Da durch die Behandlung mit chemischen Oxidationsmitteln aus langkettigen, schwer abbaubaren Stoffen kurzkettige und leicht abbaubare Stoffe entstehen, bevor sie durch weitere Oxidationsmittelzugabe vollständig mineralisiert werden, ist eine Nachbehandlung in Form einer biologisch aktiven Filtration oder eines GAK-Filters hinter der Ozonung erforderlich. Durch eine biologisch aktive Nachbehandlung (z.B. durch eine Sandfiltration oder ein Wirbelbett) können die meisten Transformationsprodukte eliminiert werden. Dies gilt

jedoch nicht für die aus tertiären Aminen entstehenden N-Oxide. Diese können nur mit Hilfe von Aktivkohle (nachgeschalteter GAK-Filter) entfernt werden. (35) Bei der Ozonisierung kann außerdem durch die Reaktion von Bromid und Ozon Bromat entstehen, das in der Trinkwasserverordnung stark reglementiert ist.

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

Ozon muss vor Ort in einem Ozongenerator erzeugt werden und wird anschließend gasförmig ins Abwasser eingetragen. Als Ausgangsstoff 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, dieser Reaktor ist auf Kläranlagen in der Regel der Nachklärung nachgeschaltet. Der Ozoneintrag kann entweder über am Reaktorboden installierte Keramikbelüfter (siehe Abbildung 3-8) oder über ein Injektorsystem, mit dem das Ozon in das Abwasser eingedüst wird, erfolgen. Der Ozonreaktor muss ausreichend groß dimensioniert sein, damit das Ozon mit den Abwasserinhaltsstoffen ausreichend lang reagieren kann.

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

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

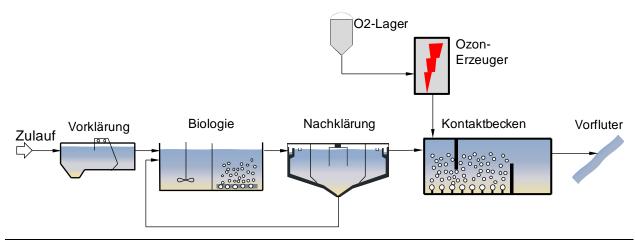


Abbildung 3-8: Mögliche Verfahrenseinbindung Ozonisierung

#### 3.3 Membranverfahren

### 3.3.1 <u>Grundlagen der Membrantechnik</u>

Die Membrantechnik, speziell die Nanofiltration (NF) und die Umkehrosmose (UO), zählt zu den physikalischen Behandlungsverfahren und ist ein druckgetriebener Prozess an einer semipermeablen Membran, bei dem der natürliche Vorgang der Osmose durch Aufprägung eines den osmotischen Druck der Lösung übersteigenden Druckes, wie in Abbildung 3-9 dargestellt, umgekehrt wird. Die treibende Kraft der Osmose beruht auf dem Bestreben zweier in Kontakt stehender Lösungen, einen Konzentrationsausgleich durch Diffusion zu erreichen. Wird das gegenseitige Vermischen der beiden Lösungen mittels einer semipermeablen Wand (Membran) verhindert, so dass die Vermischung (Konzentrationsausgleich) nur in eine Richtung stattfinden kann, nennt man diesen Vorgang Osmose.

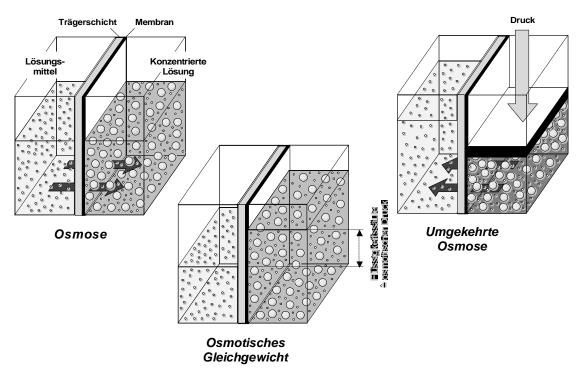


Abbildung 3-9: Osmose und Umkehrosmose

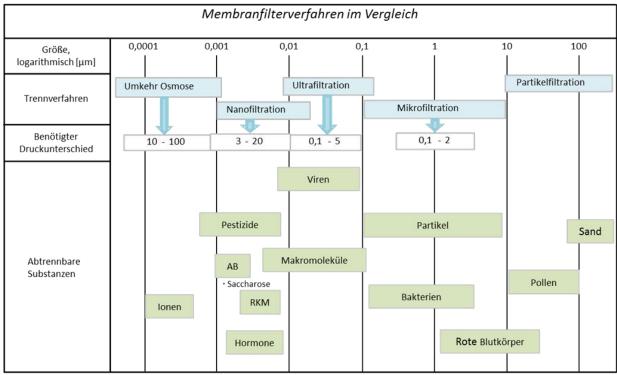
Die Trennung erfolgt dadurch, dass mindestens eine Komponente in der zu trennenden Lösung, in der Regel ist dies Wasser, die Membran nahezu ungehindert passieren (permeieren) kann, während andere Komponenten mehr oder weniger stark zurückgehalten werden. Bei der natürlichen Osmose permeiert daher bevorzugt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

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

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

Die Trennschärfe synthetisch hergestellter semipermeabler Membranen zum Einsatz in Umkehrosmoseund Nanofiltrationsanlagen deckt dabei den niedermolekularen Bereich der Filtrations- und Trennverfahren mit einer Teilchengröße von ca. 0,5 bis 10 nm ab. Man spricht hierbei auch oft von der Trenncharakteristik der Membran, welche dann auch als cut-off oder Molekulargewichtstrenngrenze angegeben wird. Diese Trenngrenze entspricht bei der Umkehrosmose ca. 30 - 50 g/mol und bei der Nanofiltration ca. 180 -250 g/mol.

Eine Übersicht über die Trennschärfe der verschiedenen Membranfiltrationsverfahren zeigt Abbildung 3-10. Nanofiltrations- und Umkehrosmoseverfahren können ein sehr breites Spektrum an Substanzen nahezu vollständig zurück halten. Viele Spurenstoffe, wie Arzneimittel, bewegen sich im Trennbereich der Nanofiltration und Umkehrosmose.



AB - Antibiotika; RKM - Röntgenkontrastmittel

Abbildung 3-10: 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 Anwendbarkeit der Membrantechnik bei der Abwasserreinigung wird neben der konstruktiven Gestaltung der einzelnen Modul- bzw. Membransysteme auch durch eine Vielzahl von weiteren begrenzenden Faktoren beeinflusst. In Abbildung 3-11 sind einige dieser Faktoren und deren Einflüsse auf die Anlage dargestellt.

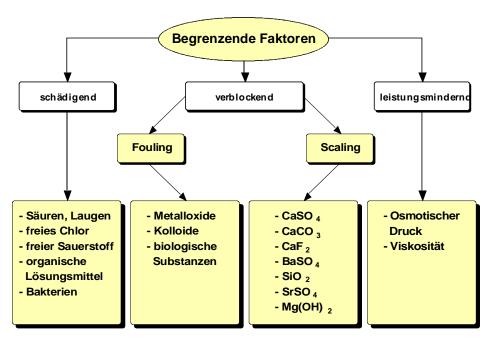


Abbildung 3-11: Begrenzende Faktoren

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

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

# 3.3.2 <u>Einsatz von Membranen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen</u>

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

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

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

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

#### 3.4 Sonstige Verfahren

#### 3.4.1 AOP Advanced Oxidation Processes

Unter "Advanced Oxidation Processes" (AOP) versteht man beispielsweise den Einsatz UV und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV und TiO<sub>2</sub> (oder einem anderen Halbleiter), O<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und weiteren Oxidationsmitteln. AOP sind grundsätzlich in der Lage, ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. AOP beruhen auf der Oxidation von organischen Inhaltsstoffen durch OH-Radikale (OH·). OH-Radikale müssen vor Ort (im Wasser) erzeugt werden und können nicht gelagert werden. Sie sind hoch reaktiv und reagieren mit praktisch allen organischen Stoffen, d. h. mit Mikroverunreinigungen, aber auch mit Hintergrund-DOC sowie mit einigen anorganischen Verbindungen. Die angegriffenen Substanzen werden wie bei der Ozonung in der Regel nicht zu CO<sub>2</sub> mineralisiert, sondern transformiert, wobei unbekannte Reaktionsprodukte entstehen. Aufgrund der hohen Reaktivität der Radikale ist eine gute Vorreinigung des Abwassers notwendig, damit die Radikale möglichst effizient mit den Mikroverunreinigungen reagieren können.

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

#### 3.4.2 Weitere Verfahren

#### 3.4.2.1 Ferrat

Bei Ferrat handelt es sich um sechswertiges Eisenoxid (Fe(VI)O<sub>4</sub><sup>2</sup>-), das erst vor kurzem für die Behandlung von Abwasser entdeckt wurde. Ähnlich wie Ozon reagiert auch Ferrat selektiv mit bestimmten chemischen Bindungen (funktionellen Gruppen). Die Elimination von Mikroverunreinigungen ist stark abhängig von der

Dosis. Die Dosierung erfolgt in einen Kontaktreaktor. Der Vorteil von Ferrat ist, dass es bei der Reaktion zu dreiwertigem Eisen reduziert wird, das für die Phosphatfällung genutzt werden kann. Die Anwendung von Ferrat wurde zunächst im Labormaßstab getestet, wobei diese Versuche vielversprechend verliefen. Ferrat kann, ähnlich wie Pulveraktivkohle, in die Belebung oder in eine eigene Behandlungsstufe dosiert werden. Bei der Dosierung in die Belebung ist eine höhere spezifische Dosiermenge notwendig. Die chemische Reaktivität ist etwas geringer als beim Ozon. Da Ferrat bislang nicht im industriellen Maßstab hergestellt wird, sind die Kosten relativ hoch. Die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit muss in der kommenden Zeit noch genauer untersucht werden. (29)

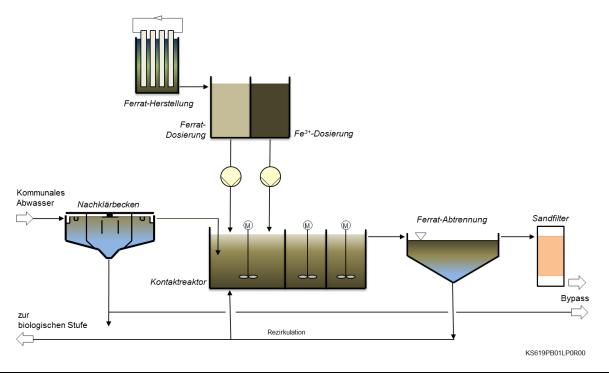


Abbildung 3-12: Prinzipskizze einer Ferratdosierung zur Mikroschadstoffelimination (nach (29))

#### 3.4.2.2 Chlor/Chlordioxid:

Chlor und Chlordioxid werden in der Trinkwasseraufbereitung hauptsächlich zur Desinfektion eingesetzt. Chlor ist ein starkes Oxidationsmittel, das selektiv mit bestimmten chemischen Bindungen reagiert. Es konnte gezeigt werden, dass Chlor keine Breitbandwirkung aufweist, d. h. nur ein kleines Stoffspektrum eliminieren kann. Für diese Eliminationsleistung sind zudem große Mengen Chlor notwendig (mehr als für die Desinfektion). Durch den hohen Gehalt an organischen Stoffen im Abwasser werden dabei relativ große Mengen an problematischen Nebenprodukten wie AOX (z.B. Trihalomethane) gebildet. Der Einsatz von Chlor ist daher für die Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser nicht geeignet. (29)

#### 3.5 Photolyse

Bei der Photolyse wird das Abwasser mit einer Strahlungsquelle bestrahlt. Dies kann entweder natürliches Sonnenlicht oder künstliche UV-Strahlung sein. UV-Strahlung ist für die Desinfektion von Trink- und Abwasser weit verbreitet. Zur Entfernung von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser ist die Photolyse jedoch nicht geeignet, da nur relativ wenige Substanzen entfernt werden können und damit die Breitbandwirkung nicht gegeben ist. (29)

#### 3.6 Ultraschall

Durch die Behandlung von Abwasser mit Ultraschall entstehen sehr kleinräumige und kurzlebige Mikroblasen, die lokal zur Freisetzung von großen Energiemengen führen. Dies führt zu einer Vielzahl von Prozessen, wie Pyrolyse oder Bildung von O- und OH-Radikalen. Durch diese Prozesse können Mikroverunreinigungen oxidiert werden. Dieses Verfahren muss in Zukunft noch genauer untersucht werden. (29)

#### 3.7 Bewertung der Behandlungsverfahren für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen

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

Nano- und Umkehrosmoseverfahren sind theoretisch in der Lage, die gesamte Anzahl an Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Auch technisch wären diese Verfahren auf Kläranlagen zu integrieren. Die hohen Kosten und die großen Mengen an Konzentrat, die bei diesen Verfahren anfallen, schließen diese Verfahren zurzeit jedoch für die 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 (29). Es ist jedoch beim Einsatz von Ozon zu beachten, dass die im Abwasser enthaltenden 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. 3.2.2). (35)

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

Grundsätzlich ist zu beachten, dass weder mit dem Einsatz von Aktivkohle noch mit dem Einsatz von Ozon alle Mikroverunreinigungen vollständig zu entfernen sind.

# 3.7.1 <u>Großtechnische Umsetzung von Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen</u>

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 Bad Sassendorf: Ozonung

KA Duisburg- Vierlinden: Ozonung

KA Mannheim: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Schwerte: PAK-Dosierung und Ozonung

KA Buchenhofen: PAK- Dosierung in Filterzelle

KA Obere Lutter: GAK-Filtration

KA Gütersloh- Putzhagen GAK-Filtration (Teilstrombehandlung)

KA Dülmen PAK - Kombination aus Sedimentation und Filtration

KA Rietberg GAK-Filtration

KA Warburg Ozonung

KA Öhringen PAK-Dosierung

KA Böblingen-Sindelfingen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Lahr PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Hechingen PAK-Dosierung

KA Westerheim GAK-Filtration

KA Laichingen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Steinhäule PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Albstadt-Lautlingen PAK-Dosierung

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

KA Stockacher Aach PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Langwiese PAK-Dosierung in Kontaktbecken

KA Kressbronn-Langenargen PAK-Dosierung in Kontaktbecken

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

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

# 4 Auswertung der Betriebsdaten des GKW Bedburg-Kaster

# 4.1 Zulauf der Kläranlage

Die Tageszulaufmengen der Jahre 2013-2015 sind in Abbildung 4-1 gezeigt. Die mittlere Zulaufmenge pro Tag beträgt etwa 10.700 m³/d.

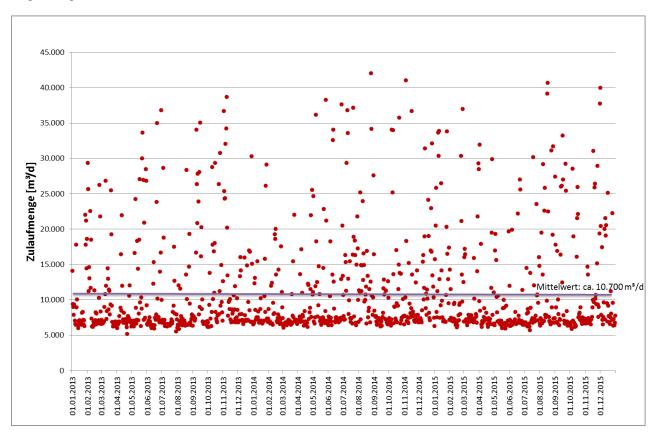


Abbildung 4-1: Tageszulaufmengen des GKW Kaster, 2013-2015

In Tabelle 4-1 sind die Schmutzfrachten im Zulauf des GKW Kaster sowie die aus dem bemessungsrelevanten 85 %-Perzentil ermittelten angeschlossenen Einwohnerwerte [EW] auf Basis der Betriebstagebücher für die Jahre 2005 bis 2008 zusammengefasst. Die Daten wurden der Grundlagenermittlung des Erftverbandes entnommen (12).

Tabelle 4-1: Tagesschmutzfrachten und Einwohnerwerte des GKW Kaster, 2005-2008

	FR	ACHTEN		EINW	OHNERWERT	Έ
	CSB	NH <sub>4</sub> -N	Ф	CSB	NH <sub>4</sub> -N	Р
	Zulauf-fracht BB	Zulauf-fracht BB	Zulauf-fracht BB	Einwohner Zulauf BB 120 g/E*d	Eirwohner Zulauf BB 7 g/E*d	Eirwohner Zulauf BB 1,8 g/E*d
	kg/d	kg/d	kg/d	EW	EW	EW
Anzahl der Werte	138	130	128	138	130	128
Max.	11854,1	1386,2	202,3	98.784	198.029	112.389
Min.	735,5	79,6	3,7	6.129	11.371	2.056
Mittelwert	3875,3	406,6	56,2	32.294	58.086	31.222
85%-Wert	5633,4	534,3	81,7	46.945	76.329	45.389

Das GKW Bedburg-Kaster ist im Vergleich zu seiner Ausbaugröße von 66.000 EW in Bezug auf das 85 %-Perzentil der Parameter CSB und P<sub>ges</sub> zu etwa 70 % ausgelastet. Für den Parameter Ammoniumstickstoff ergab sich für den Zeitraum 2005-2008 sogar eine Auslastung von 116 %. Durch die 2012 in Betrieb genommene Prozesswasserbehandlung wird jedoch ein großer Teil der Stickstoffrückbelastung aus der Schlammentwässerung im Teilstrom eliminiert.

# 4.2 Ablauf der Flockungsfiltration

Die folgende Tabelle 4-2 zeigt die Konzentrationen von CSB, P-gesamt und abfiltrierbaren Stoffen vor und nach der Flockungsfiltration. Zu beachten ist jedoch, dass es sich hierbei um Stichproben handelt, deren Aussagekraft nur begrenzt belastbar ist.

Tabelle 4-2: Stichproben zur Bewertung der Eliminationsleistung der Flockungsfiltration

GKW Kas	ter	Zul	auf Filtrat	ion	Ab	Ablauf Filtration Reduktion			า	
		P-Ges	CSB	Abfilt.	P-Ges	CSB	Abfilt.			Abfilt.
Nr	Datum	(mg/l)	(mg/l)	Stoffe (mg/l)	(mg/l)	(mg/I) Stoffe (mg/I)		P.Ges.	ICSB	Stoffe
1	01.07.2015	0,22	28,6	0	0,14	23,6	0	36%	17%	
2	02.07.2015	0,23	26	4	0,15	26	4	35%	0%	0%
3	03.07.2015	0,43	31,1	0	0,21	25,9	0	51%	17%	
4	27.07.2015	0,22	24,8	9	0,18	21,3	2	18%	14%	78%
5	04.08.2015	0,19	25,5	4	0,18	22,7	2	5%	11%	50%
6	10.08.2015	0,42	29,3	8	0,35	26,8	4	17%	9%	50%

Es ist eine deutliche Reduktion aller Parameter zu erkennen, wobei die Reinigungsleistung des GKW Kaster bzgl. CSB und P<sub>ges</sub> auch schon vor der Flockungsfiltration sehr gut ist.

Die Flockungsfiltration wird momentan ohne Dosierung von Fällmittel als Sandfilter betrieben.

In Abbildung 4-2 ist die CSB-Konzentration im Ablauf der Flockungsfiltration über den Zeitraum von Januar 2013 bis Juli 2016 dargestellt. Der Mittelwert der CSB-Konzentration liegt bei 25 mg/l. Maximal wurde eine Konzentration von 39 mg/l gemessen. Der Überwachungswert von 50 mg/l wird damit sicher eingehalten.

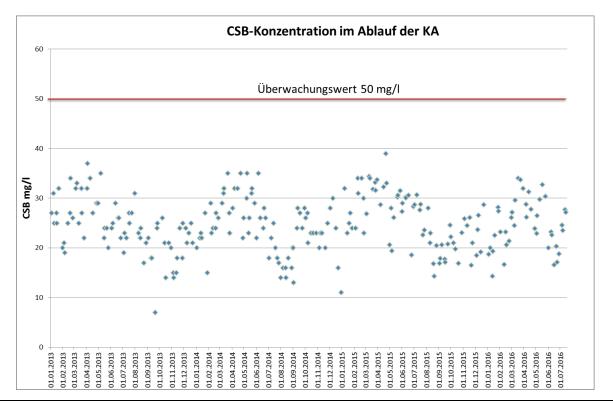


Abbildung 4-2: CSB-Konzentrationen im Ablauf der Flockungsfiltration des GKW Kaster

Der Gesamtgehalt an anorganisch gebundenem Stickstoff (N<sub>anorg</sub>) lag im Mittel bei 6,9 mg/l (Abbildung 4-3). Damit wird auch hier der Überwachungswert (18 mg/l; von Mai bis Oktober) sicher eingehalten. Die beiden hohen Stickstoffkonzentrationen (gekennzeichnet durch rote Kreise in der Abbildung) befinden sich außerhalb der verpflichtenden Gültigkeit des Überwachungswertes (November-April).

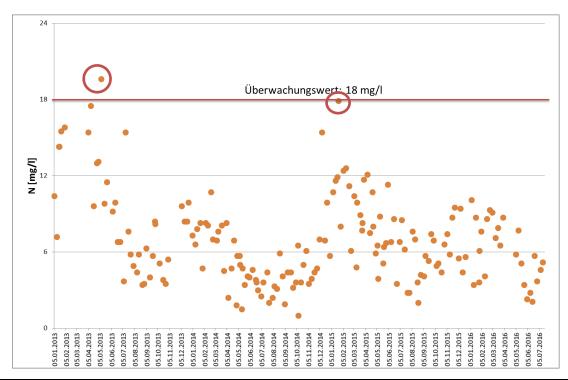


Abbildung 4-3: Nanorg-Konzentrationen im Ablauf des GKW Kaster

Abbildung 4-4 zeigt die NH<sub>4</sub>-N-Konzentration im Kläranlagenablauf. Im Mittel beträgt die Konzentration 0,44 mg/l, wobei die Konzentration im Winter höher ist als im Sommer. Der Überwachungswert von 5 mg/l wird sicher eingehalten.

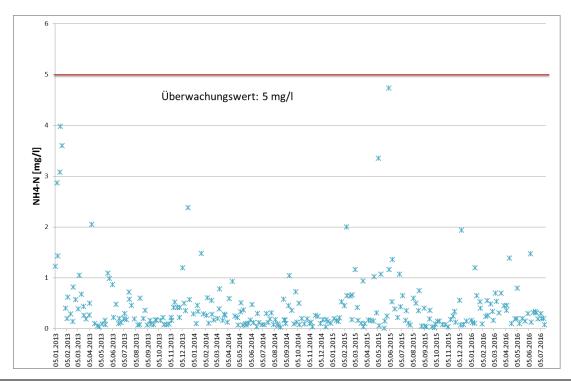


Abbildung 4-4: NH<sub>4</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf des GKW Kaster

Die P<sub>ges</sub>-Konzentration im Ablauf der Flockungsfiltration ist in Abbildung 4-5 dargestellt. Die Konzentration liegt im Mittel bei 0,49 mg/l und maximal bei 1 mg/l. Damit wird der Überwachungswert von 2 mg/l in der Regel sicher eingehalten.

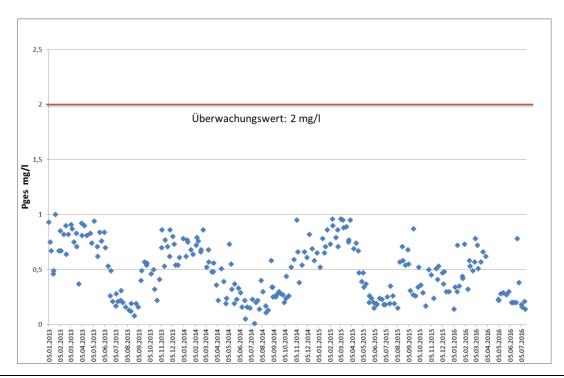


Abbildung 4-5: Pges-Konzentrationen im Ablauf des GKW Kaster

Die Konzentrationen von NO<sub>2</sub>-N und NO<sub>3</sub>-N sind in Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7 dargestellt. Die NO<sub>2</sub>-N-Konzentration liegt im Mittel bei 0,14 mg/l. Die Konzentration schwankt und kann insbesondere im Frühling/Frühsommer bis zu 1,4 bzw. 2,4 mg/l betragen. Die NO<sub>3</sub>-Konzentrationen schwanken im betrachteten Zeitraum stark. Sie betragen im Mittel 5,3 mg/l und liegen maximal bei 22,4 mg/l. Anstiege sind insbesondere im Winter zu beobachten.

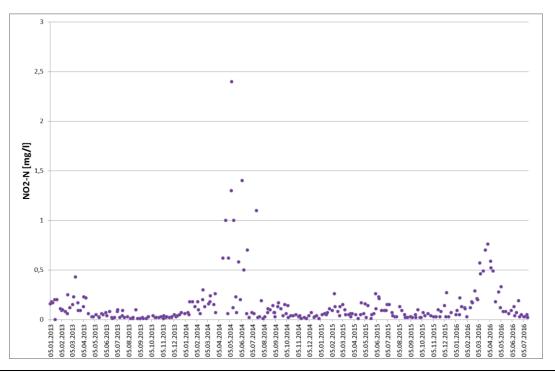


Abbildung 4-6: NO<sub>2</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf des GKW Kaster

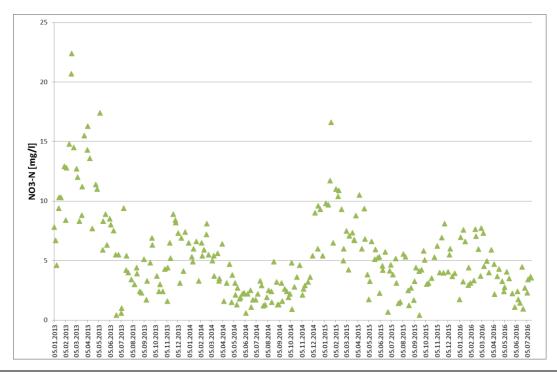


Abbildung 4-7: NO<sub>3</sub>-N-Konzentrationen im Ablauf des GKW Kaster

# 4.3 Bewertung des Anlagenbetriebes unter besonderer Berücksichtigung einer 4. Reinigungsstufe

Das GKW Bedburg-Kaster ist, bezogen auf seine derzeitige Ausbaugröße von 66.000 EW, zu etwa 70 % ausgelastet. In der Regel wird ein gutes Reinigungsergebnis erzielt, die Überwachungswerte werden sicher eingehalten. Erwähnenswert ist, dass auf der Anlage eine Sandfiltration betrieben wird, die in das Konzept der 4. Reinigungsstufe eingebunden werden kann.

Zu beachten ist zunächst, dass die vorgenannten Messungen der CSB-, N- und P-Konzentrationen im Ablauf der Sandfiltration durchgeführt wurden. Die 4. Reinigungsstufe sollte hingegen bei der Auswahl von PAK oder Ozon zwischen Nachklärung und Flockungsfiltration integriert werden, da diese zum einen geeignet ist, Schwebstoffe wie enthaltene PAK-Reste zurückzuhalten, zum anderen dazu, verbliebene Reaktionsprodukte der Ozonung ggf. zu reduzieren. Einzig bei der GAK-Filtration ist eine vorhergehende Flockungsfiltration sinnvoll, da so die Standzeit der GAK signifikant erhöht wird. Wird der Abwasserstrom vor der Flockungsfiltration abgegriffen, so muss mit höheren Werten verschiedener Parameter wie P<sub>ges</sub> und CSB gerechnet werden. Eine stichprobenartige Untersuchung des Erftverbandes ergab eine mittlere Reduktion des CSB um 11 %, die P<sub>ges</sub>-Konzentration wurde um 27 % verringert (vgl. Tabelle 4-2). Da diese Daten auf lediglich sechs Messungen über einen Zeitraum von sechs Wochen basieren, sollten zur exakten Auslegung noch weitere Daten erhoben werden.

Generell ist es für den Betrieb einer 4. Reinigungsstufe von Vorteil, wenn 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 (vergleiche Kap. 3). Ebenso sind hohe Nitritablaufkonzentrationen für den Einsatz von Behandlungsverfahren mit Ozon zu vermeiden. Nitrit verursacht eine hohe Ozonzehrung, was sich negativ auf die Betriebskosten auswirkt.

Zurzeit erreicht die CSB-Konzentration selten mehr als 35 mg/l. Über 39 mg/l lag die CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage nicht. Damit zeigt das GKW Kaster eine gute Reinigungsleistung. Da die NO<sub>2</sub>-N-Konzentrationen phasenweise stark ansteigen, ist es wichtig, die Phasen mit erhöhtem Nitritgehalt im Abwasser bei der Auslegung der 4. Reinigungsstufe (insbesondere im Hinblick auf den Einsatz von Ozon) zu berücksichtigen. Es sollte geprüft werden, ob eine Vergleichmäßigung der Konzentrationen durch einen veränderten Anlagenbetrieb bewirkt werden kann.

# 4.4 Untersuchungen der Vorfluter

Es wurden ober- und unterhalb der Einleitstelle Untersuchungen des Vorfluters Erft durchgeführt.

# 4.4.1 <u>Untersuchungen des Vorfluters im Rahmen dieser Studie</u>

Der Erftverband hat ein umfangreiches Messprogramm in Vorfluter, Kläranlagenzulauf und -ablauf durchgeführt. Insgesamt wurden im Vorfluter 212 Parameter untersucht, zum einen allgemeine chemische Parameter (ACPs), zum anderen Mikroschadstoffe wie landwirtschaftlich verwendete Stoffe (z.B. Pflanzenschutzmittel, Herbizide), Humanpharmaka wie Schmerzmittel, Antibiotika oder auch Röntgenkontrastmittel.

Die Probenahmen erfolgten jeweils am 21.03., 02.05., 01.06., 23.06., 11.07., 25.07., 15.08. und 30.08.2016, dargestellt ist der Mittelwert der nachweisbaren Stoffe. Die untersuchten Parameter nebst vollständigen Analysenergebnissen zeigt Anhang 7 zu dieser Studie.

Die wesentlichen Ergebnisse der Messungen in der Erft sind in Tabelle 4-3 zusammengefasst. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang der Studie zu finden (Kap. 7.1). Als Referenz zur ersten Einordnung der Ergebnisse wurden, soweit möglich, gesetzliche oder angestrebte Grenz- und Orientierungswerte angegeben.

Tabelle 4-3: Besonders relevante Ergebnisse Vorfluter

Sezeichnung	nach Einleitung* 21% 3% -2%	konz. [μg/l]	Referenzart	From all 1997
östrogen wirksame Stoffe         0,0001         0,0001           Chloridazon-Desphenyl         0,21         0,20           Chloridazon-Desphenyl-Methyl         0,07         0,06           Dimethenamid         &BG         0,06           Metamitron         0,20         0,22           Quinmerac         0,09         0,16           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,19           HCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCEP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,02           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03<	Einleitung* 21% 3% -2%			Fundstelle
östrogen wirksame Stoffe         0,0001         0,0001           Chloridazon-Desphenyl         0,21         0,20           Chloridazon-Desphenyl-Methyl         0,07         0,06           Dimethenamid         &BG         0,06           Metamitron         0,20         0,22           Quinmerac         0,09         0,16           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,19           HCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCEP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,02           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03<	21% 3% -2%			
Chloridazon-Desphenyl         0,21         0,20           Chloridazon-Desphenyl-Methyl         0,07         0,06           Dimethenamid <bg< td="">         0,06           Metamitron         0,20         0,24           Quinmerac         0,09         0,10           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,18           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,22           TCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,02           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03<!--</td--><td>3% -2%</td><td></td><td></td><td></td></bg<>	3% -2%			
Chloridazon-Desphenyl-Methyl         0,07         0,06           Dimethenamid <bg< td="">         0,06           Metamitron         0,20         0,24           Quinmerac         0,09         0,10           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,12           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47</bg<>	-2%			
Dimethenamid <bg< td="">         0,06           Metamitron         0,20         0,24           Quinmerac         0,09         0,10           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,19           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,22           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,20           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,05           Metoprolol         0,10         0,12      <t< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td></t<></bg<>				
Metamitron         0,20         0,24           Quinmerac         0,09         0,10           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,19           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,06           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03				
Quinmerac         0,09         0,10           Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,12           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,06           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21</bg<>	20%	0,1	ow	Anl. D4
Terbuthylazin         0,05         0,06           1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,19           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,20           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21</bg<>	20%	4	OW	Anl. D4
1H-Benzotriazol         0,44         0,48           1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,15           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,06           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,05           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           <td< td=""><td>11%</td><td>0,1</td><td>ow</td><td>Anl. D4</td></td<></bg<></bg<>	11%	0,1	ow	Anl. D4
1H-Benzotriazol-4-Methyl         0,11         0,11           Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,15           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,05           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Ami</bg<></bg<>	7%	0,5	J-MW	OGewV
Bisphenol A         0,02         0,03           Coffein         0,23         0,15           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,05           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iopamidol<td>14%</td><td>10</td><td>OW Benzotriazol</td><td>Anl. D4</td></bg<></bg<>	14%	10	OW Benzotriazol	Anl. D4
Coffein         0,23         0,19           DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,22           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iopamidol</bg<></bg<>	6%			
DEET         0,03         0,03           HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	50%	1	ow	Anl. D4
HHCB         0,11         0,13           Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	-17%	10	ow	Anl. D4
Triphenylphosphinoxid         0,24         0,25           TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon         <86	21%	71,3	OW	Anl. D4
TDCPP         0,02         0,02           TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,26           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,21           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	24%			
TCEP         0,02         0,02           TCPP         0,17         0,20           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	0%	12	ow	Anl. D4
TCPP         0,17         0,20           Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	-2%			
Bezafibrat         0,05         0,04           Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon         <8G	0%			
Bisoprolol         0,07         0,06           Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon         <8G	18%			
Carbamazepin         0,07         0,08           Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,05           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	4%	0,1	OW	Anl. D4
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy         0,13         0,13           Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	-4%	0,1	OW	Anl. D4
Diclofenac         0,12         0,14           4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	2%	0,5	OW	Anl. D4
4-Hydroxy-diclofenac         0,03         0,03           Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	11%			
Gabapentin         0,40         0,47           Iminostilben         0,09         0,09           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	24%	0,1	ow	Anl. D4
Iminostilben         0,09         0,05           Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	24%			
Metformin         0,33         0,26           Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	29%			
Metoprolol         0,10         0,12           Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	4%			
Naproxen         0,03         0,03           Phenazon <bg< td="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	-6%			
Phenazon <bg< th="">         0,21           Sotalol         <bg< td="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<></bg<>	23%	7,3	ow	Anl. D4
Sotalol <bg< th="">         0,05           Amidotrizoesäure         0,39         0,33           Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34</bg<>	2%	0,1	OW	Anl. D4
Amidotrizoesäure       0,39       0,33         Iohexol       0,44       0,60         Iomeprol       0,41       0,40         Iopamidol       0,25       0,34	320%	1,1	ow	Anl. D4
Iohexol         0,44         0,60           Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34	0%	0,1	OW	Anl. D4
Iomeprol         0,41         0,40           Iopamidol         0,25         0,34	1%	0,1	ow	Anl. D4
lopamidol 0,25 0,34	33%			
	23%	0,1	ow	Anl. D4
	28%	0,1	OW	Anl. D4
Iopromid 0,25 0,30	5%	0,1	ow	Anl. D4
Sulfamethoxazol <0,05 <0,05	0%	0,15	OW	Anl. D4
Terbutryn <0,05 <0,05	0%		J-MW	OGewV
Clarithromycin <0,2 <0,2	0%	0,02		Anl. D4

\* Die angegebene mittlere Eliminationsleistung setzt sich aus dem Mittelwert der einzelnen Eliminationsraten je Messdurchgang zusammen (Anhang). Bei Werten < Bestimmungsgrenze (<BG) wurde die Bestimmungsgrenze angenommen. Die mittleren Messwerte enthalten nur die positiven Befunde.

ow	Orientierungswert
J-MW	Jahresmittelwert
Anlg. D4	Anlage 4 zum Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer, Teil D (Land NRW)
OGewV	Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer
fett	Indikatorsubstanzen nach Kompetenzzentrum Spurenstoffe.NRW
	< Referenz
	= Referenz
	> Referenz

Die meisten Konzentrationsänderungen liegen im Bereich bis max. 50 % Zunahme. Eine starke Zunahme ist bei Phenazon zu beobachten, einem Schmerzmittel, das vor der Einleitung des Klärwerks nicht nachweisbar ist, nach der Einleitung aber mit im Mittel 0,21 µg/l vorliegt. Verglichen mit dem angegebenen Referenzwert handelt es sich jedoch um eine eher geringe Konzentration. Überschreitungen der Referenzwerte zeigen neben Diclofenac insbesondere die Röntgenkontrastmittel, die um den Faktor 3-4 über den Referenzwerten liegen. Auf Grund der beiden einleitenden Krankenhäuser ist es nicht verwunderlich, dass die auffälligen Konzentrationen in erster Linie bei den Arzneimitteln und Röntgenkontrastmitteln zu verzeichnen sind.

# 4.5 Untersuchungen des Kläranlagenablaufs und -zulaufs

#### 4.5.1 Untersuchung des Kläranlagenablaufs und -zulaufs im Rahmen dieser Studie

Das Messprogramm wurde vom Erftverband durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für die Studie zur Verfügung gestellt. Insgesamt wurden 163 Parameter untersucht, neben einigen ACPs waren darunter hauptsächlich Mikroschadstoffe analog zu den Untersuchungen im Vorfluter.

Es wurden jeweils acht Proben des Zu- und Ablaufs untersucht. Die Probennahmen erfolgten am 22.03., 13.04., 01.06., 22.06., 14.07., 25.07., 15.08. und 30.08.2016. Die vollständigen Ergebnisse der Untersuchungen finden sich in Kap. 7.2 und 7.3.

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 vermutlich nicht nur durch den Abbau der Mikroschadstoffe, sondern dürften teilweise auch durch eine Adsorption der Mikroschadstoffe an den Klärschlamm verursacht werden. Eine besonders hohe Reduktion ist bei den östrogen-wirksamen Stoffen, Coffein, Ibuprofen (je 100 %) und Metformin (99 %) gegeben.

Negative Eliminationsraten (also Konzentrationszunahmen) finden sich z.B. bei Phenazon (-404 %), Linuron (-360 %) und Dimethenamid (-131 %). Bei den Konzentrationsanstiegen könnte es sich theoretisch um eine Metabolitenrückbildung während der biologischen Behandlung des Abwassers handeln, wahrscheinlicher ist jedoch, dass das Rohabwasser wegen der hohen Schmutzkonzentrationen wesentlich schwieriger zu analysieren ist, was durch Matrixeffekte möglicherweise zu Ungenauigkeiten in den Analysenergebnissen führt. Daneben ist bei der Beurteilung der Eliminationsraten zu beachten, dass es sich bei den ausgewerteten Messungen um Stichproben handelt und dass daher statistische Effekte nicht auszuschließen sind.

Eine Zusammenfassung aller berechneten Eliminationsraten ist in Tabelle 4-4 gezeigt. Falls der Messwert im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster unterhalb der Bestimmungsgrenze lag, wurde die Bestimmungsgrenze zur Berechnung der Eliminationsraten herangezogen. Auf Grund der umfangreichen Datenbasis wurde der Mittelwert der gemessenen Konzentrationen angegeben. Für die Bildung der mittleren Konzentrationen

wurden die Werte <BG nicht berücksichtigt. Die mittlere Eliminationsrate wurde als Mittelwert der einzelnen Eliminationsraten angegeben. Zu beachten ist, dass die ermittelten Eliminationsleistungen der einzelnen Messungen untereinander teilweise stark abweichen, so dass hier keine eindeutige Aussage getroffen werden kann (siehe Anhang 7.3).

**Tabelle 4-4: Berechnete Eliminationsraten** 

KW Kaster: Messwerte Zulauf Biologie - Ablauf KA			Zunahme		
		Mittlere Ko	nzentration	Mittlere	
Stoff	Einheit	Zulauf	Ablauf	Eliminationsleistung	
östrogen wirksame Stoffe	ng/l	33,13	0,12	100%	
Aclonifen	μg/l	0,48	0,12	46%	
Bentazon	μg/l	0,01	0,02	0%	
СРА	μg/l	0,12	0,06	49%	
Clomazon	μg/l	0,15	0,08	72%	
Clopyralid	μg/l	0,02	0,03	-50%	
2,4-D	μg/l	0,11	0,06	19%	
Desethylterbuthylazin	μg/l	0,14	0,18	17%	
2,4-Dichlorbenzoesäure	μg/l	0,10	0,09	22%	
Dimethenamid	μg/I	0,18	0,81	-131%	
Dimethomorph	μg/l	0,05	0,19	-90%	
Diuron	μg/I	0,08	0,10	-32%	
Epoxiconazol	μg/l	0,06	0,10	-30%	
Ethofumesat	μg/l	0,06	0,08	-24%	
Fenpropimorph	μg/I	0,09	0,12	29%	
Flufenacet	μg/l	0,10	0,23	9%	
Imidacloprid	μg/I	0,10	0,10	-20%	
Isoproturon	μg/I	0,31	0,18		
Linuron	μg/l	<bg< td=""><td>0,23</td><td>-360%</td></bg<>	0,23	-360%	
MCPA	μg/l	0,34	0,18	25%	
Mecoprop (=MCPP)	μg/l	0,44	0,35	-36%	
Metamitron	μg/I	0,55	0,60	-29%	
Metribuzin	μg/l	0,46	0,49	-58%	
Prosulfocarb	μg/I	5,83	3,21	20%	
Simazin	μg/l	0,07	0,23	-64%	
Tebuconazol	μg/I	0,13	0,26	-20%	
Terbuthylazin	μg/I	0,10	0,22	-57%	
Terbuthylazin-2-hydroxy	μg/l	0,07	0,08	-13%	
Terbutryn	μg/I	0,07	0,08	-5%	
Acridin	μg/I	0,03	0,08	-39%	
1H-Benzotriazol	μg/I	14,44	6,58	54%	
1H-Benzotriazol-4-Methyl	μg/I	1,50		18%	
Bisphenol A	μg/I	0,06	0,07	31%	
Coffein	μg/I	116,33	0,16	100%	
DEET	μg/I	0,49	0,23	52%	
HHCB	μg/I	1,52	1,59	1%	
Triclosan	μg/I	0,05	0,03	37%	

Triphenylphosphinoxid	μg/Ι	0,04	0,06	-13%
TDCPP	μg/l	0,27	0,24	18%
TCEP	μg/l	0,17	0,18	4%
ТСРР	μg/l	2,13	1,96	16%
Atenolol	μg/l	0,59	0,21	60%
Bezafibrat	μg/l	0,72	0,10	85%
Bisoprolol	μg/l	0,69	0,92	-85%
Carbamazepin	μg/l	0,98	1,05	2%
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	μg/l	1,58	1,75	-78%
Clarithromycin	μg/l	0,48	0,41	39%
Diclofenac	μg/l	3,77	3,08	27%
4-Hydroxy-diclofenac	μg/l	0,46	0,19	52%
Erythromycin	μg/l	1,58	1,37	20%
Gabapentin	μg/l	16,79	5,96	59%
Ibuprofen	μg/l	13,76	0,06	100%
Iminostilben	μg/l	2,20	0,81	63%
Metformin	μg/l	218,43	1,17	99%
Metoprolol	μg/l	2,66	2,27	22%
Naproxen	μg/l	1,82	0,20	89%
Phenazon	μg/l	0,13	0,74	-404%
Propranolol	μg/l	0,10	0,11	14%
Roxithromycin	μg/l	0,29	0,27	35%
Sotalol	μg/l	0,28	0,28	6%
Sulfadiazin	μg/l	0,22	0,22	53%
Sulfamethoxazol	μg/l	0,73	0,27	69%
Trimethoprim	μg/l	0,19	0,45	39%
Amidotrizoesäure	μg/l	8,54	9,61	-67%
Iohexol	μg/l	5,31	2,73	50%
Iomeprol	μg/l	3,60	1,48	11%
Iopamidol	μg/l	13,06	17,96	-54%
Iopromid	μg/l	2,20	1,00	-6%

In Tabelle 4-5 sind die Konzentrationen der Mikroschadstoffe, die im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster nachgewiesen werden konnten, sowie Vergleichswerte des Ingenieurbüros ATEMIS zusammengefasst. Gelb unterlegt sind Ergebnisse, die über dem Mittelwert vergleichbarer Anlagen liegen, orange markiert sind Ergebnisse, die den Maximalwert vergleichbarer Anlagen überschreiten. Die genannten Referenzkonzentrationen wurden aus der Literatur und aus verfügbaren Studien zur Mikroschadstoffelimination zusammengetragen und erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 4-5: Ergebnisse der Mikroschadstoffanalysen

Bezeichnung Östrogen wirksame Stoffe Aclonifen Bentazon CPA Clomazon Clopyralid 2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure Dimethenamid	Konzentration [μg/l] 0,00 0,12 0,02 0,06 0,08 0,03 0,03 0,06 0,18 0,09 0,81 0,19	<0,05 <0,02 <0,05 0,02	<0,05 <0,02 <0,02
Aclonifen Bentazon CPA Clomazon Clopyralid 2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,12 0,02 0,06 0,08 0,03 0,06 0,18 0,09 0,81	<0,02	<0,02
Bentazon CPA Clomazon Clopyralid 2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,02 0,06 0,08 0,03 0,06 0,18 0,09 0,81 0,19	<0,02	<0,02
CPA Clomazon Clopyralid 2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,06 0,08 0,03 0,06 0,18 0,09 0,81 0,19	<0,02	<0,02
Clomazon Clopyralid 2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,08 0,03 0,06 0,18 0,09 0,81 0,19	<0,05	<0,05
2,4-D Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,06 0,18 0,09 0,81 0,19		
Desethylterbuthylazin 2,4-Dichlorbenzoesäure	0,18 0,09 0,81 0,19		
2,4-Dichlorbenzoesäure	0,09 0,81 0,19	0,2	~ -
	0,81 0,19		0,3
Dimothonomid	0,19		
Dimethomorph	0,10		
Diuron	0.40	0,1	0,4
Epoxiconazol Ethofumesat	0,10 0,08	<0,02	<0,02
Fenpropimorph	0,12	<0,02	<0,02
Flufenacet	0,23	<0,02	<0,02
Imidacloprid	0,10	0,3	0,7
Isoproturon	0,18	5,2	15,1
Linuron	0,23	<0,02	<0,02
MCPA	0,18	0,1	0,1
Mecoprop (=MCPP)	0,35		
Metamitron	0,60	<0,02	<0,02
Metribuzin	0,49	<0,02	<0,02
Prosulfocarb	3,21	<0,02	<0,02
Simazin	0,23	0,0900	0,0900
Tebuconazol	0,26	<0,02	<0,02
Terbuthylazin Terbuthylazin-2-hydroxy	0,22 0.08	<0,02 0,0202	<0,02
Terbutryn	0,08	0,0202	0,0204 0,2
Acridin	0,08	0,1	0,2
1H-Benzotriazol	6,58	5,1	10,0
1H-Benzotriazol-4-Methyl	1,22	0,7	1,0
Bisphenol A	0,07	1,3	9,7
Coffein	0,16		
DEET	0,23	0,1	0,1
ННСВ	1,59	0,6	0,6
Triclosan	0,03	0,1	0,1
Triphenylphosphinoxid TDCPP	0,06	1.1	2.5
TCEP	0,24 0,18	1,1 0,9	2,5 2,1
TCPP	1,96	1,3	1 3
Atenolol	0,21	0,2471	1,0750
Bezafibrat	0,10	0,1	0,4
Bisoprolol	0,92	0,3	2,2
Carbamazepin	1,05	0,9	1,8
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	1,75	2,0	2,0
Clarithromycin	0,41	0,3	1,2
Diclofenac	3,08	2,2	4,9
4-Hydroxy-diclofenac	0,19		
Erythromycin	1,37	0,2	0,2
Gabapentin Ibuprofen	5,96 <b>0,06</b>	0,2	0,3
Iminostilben	0,81	0,2	0,3
Metformin	1,17		
Metoprolol	2,27	1,9	5,3
Naproxen	0,20	0,2	
Phenazon	0,74	0,2	
Propranolol	0,11	0,02	0,02
Roxithromycin	0,27	0,1	0,1
Sotalol	0,28	0,4	0,8
Sulfadiazin	0,22	0,0540	0,0540
Sulfamethoxazol	0,27	0,4	1,1
Trimethoprim	0,45	0,2	0,2
Amidotrizoesäure	9,61	3,7	29,0
Iohexol Iomeprol	2,73 1,48	1,0 4,6	4,2 28,0
Iopamidol	1,46 17,96	5,3	
Iopromid	1,00	3,3	

= MW andere KA</th
> MW und = Max andere KA</th
> Max andere KA
 Manager De Company and Company and Company

rot	Nur ein Referenzwert vorhanden
	Indikatorsubstanz nach
fett	Kompentenzzentrum
	Mikroschadstoffe NRW

Die Datenlage für einige Parameter ist nur sehr dünn, so dass die Vergleichswerte hier mit Vorsicht betrachtet werden müssen. Zur sicheren Vergleichbarkeit sind weitere Daten erforderlich.

In Tabelle 4-6 sind die möglichen Verfahren für die 4. Reinigungsstufe sowie deren Eignung zur Elimination einiger der im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster nachgewiesenen Mikroschadstoffe zusammengefasst. Es zeigt sich, dass keines der Verfahren alle nachgewiesenen Mikroschadstoffe gleich gut entfernen kann. Für einige Stoffe gibt es zurzeit überhaupt keine befriedigenden Eliminationsverfahren (z.B. Amidotrizoesäure).

Tabelle 4-6: Bewertungsmatrix zur Mikroschadstoffelimination der im Ablauf des GKW Bedburg-Kaster gefundenen Mikroschadstoffe

		Bewertung der	Eliminationsleistun	g				
	Ozon- Behandlung	PAK 4. RS, ohne Rezirkulation in Biol.	PAK 4. RS, mit Rezirkulation in Biol.	PAK Dosierung in Belebung	GAK	Kläranlage ohne vierte Reinigungsstufe		
Antibiotika								
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht		
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht		
		Bet	ablocker					
Atenolol	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig		
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht		
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht		
		He	ormone					
17 beta-Estradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut		
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut		
17 alpha -Ethinylestradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
		weitere H	umanpharmaka					
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht		
Naproxen	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig		
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	Gut	mäßig	mäßig		
Phenazon	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	k.A.		
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht		
	Röntgenkontrastmittel							
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht		
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht		
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht		
Iopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig		
		weitere	Spurenstoffe					
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht		

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

Insgesamt wurde auf dem GKW Bedburg-Kaster ein sehr umfassendes Spektrum an Mikroschadstoffen untersucht. Die Analysenergebnisse tragen dazu bei, eine bessere Bestandsaufnahme hinsichtlich der Mikroschadstoffeinträge in Oberflächengewässer aus kommunalen Kläranlagen zu ermöglichen.

Zusätzlich ist vor dem Hintergrund, dass auch in Zukunft immer neue Substanzen mit verschiedenen chemisch-physikalischen Eigenschaften entwickelt werden und in Umlauf gelangen, eine Festlegung auf ein bestimmtes Vorzugsverfahren schwierig. Im Blickpunkt sollte deshalb immer die potenzielle Breitbandwirkung der Verfahren stehen.

# 5 Entwicklung von Verfahrenskonzepten für das GKW Bedburg-Kaster

#### 5.1 Vorauswahl der Behandlungsverfahren

Die Analysen des Kläranlagenablaufs des GKW Bedburg-Kaster haben gezeigt, dass alleine anhand der enthaltenen Mikroschadstoffe kein Vorzugsverfahren bestimmt werden kann. Eine wesentliche Besonderheit des GKW Kaster ist die bestehende Flockungsfiltration. Eine Umnutzung dieser ist nach Angaben des Erftverbandes möglich, da sie zur Erlangung der Überwachungswerte eigentlich nicht benötigt wird. Die Filtrationsanlage wird lediglich zum Suspensa-Rückhalt genutzt. Deshalb wird die Umrüstung der Flockungsfiltration zur GAK-Filtration im folgenden Kapitel als eine Variante betrachtet.

Alternativ werden andere gängige Methoden zur Mikroschadstoffelimination unter Beibehaltung der Filtration betrachtet. Wie in Kap. 3.7 beschrieben, kommen für die Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen zurzeit nur der Einsatz von Aktivkohle oder der Einsatz von Ozon in Frage. Die Eliminationsleistung der Verfahren für eine Auswahl von Mikroschadstoffen ist in Tabelle 5-1 dargestellt. Die Bewertung der Eliminationsleistung ist jedoch variabel und hängt signifikant von der Verfahrensführung ab. Die Elimination von Mikroschadstoffen steigt bspw. mit der Dosiermenge oder der Aufenthaltszeit deutlich an.

Tabelle 5-1: Eliminationsleistung für ausgewählte Mikroschadstoffe

Bewertung der Eliminationsleistung									
	0	PAK 4. RS, ohne	PAK 4. RS, mit	DAK Daaiamusa is		Kläranlage ohne			
	Ozon-	Rezirkulation in	Rezirkulation in	PAK Dosierung in	GAK	vierte			
	Behandlung	Biol.	Biol.	Belebung		Reinigungsstufe			
	•	An	tibiotika	•					
Clarithromycin	Gut	Gut	k.A.	Gut	mäßig	schlecht			
Sulfamethoxazol	Gut	mäßig	mäßig	schlecht	mäßig	schlecht			
	Betablocker								
Atenolol	Gut	Gut	k.A.	k.A.	Gut	mäßig			
Metoprolol	mäßig	Gut	Gut	Gut	Gut	schlecht			
Bisoprolol	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.			
Sotalol	Gut	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	schlecht			
		Ho	ormone						
17 beta-Estradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut			
Estron	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut			
17 alpha -Ethinylestradiol	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.			
		weitere H	umanpharmaka						
Diclofenac	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig	schlecht			
Naproxen	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	mäßig			
Bezafibrat	mäßig	Gut	Gut	Gut	mäßig	mäßig			
Oxazepam	Gut	Gut	Gut	Gut	k.A.	k.A.			
Phenazon	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	mäßig	k.A.			
Carbamazepin	Gut	Gut	mäßig	Gut	Gut	schlecht			
		Röntgen	kontrastmittel						
Amidotrizoesäure	schlecht	k.A.	schlecht	k.A.	schlecht	schlecht			
Iopamidol	mäßig	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht			
Iomeprol	schlecht	mäßig	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht			
lopromid	schlecht	mäßig	mäßig	Gut	k.A.	mäßig			
Zuckerersatzstoffe									
Acesulfam	mäßig	k.A.	mäßig	k.A.	k.A.	schlecht			
Sucralose	schlecht	k.A.	mäßig	k.A.	mäßig	schlecht			
Saccharin	schlecht	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut			
Cyclamat	mäßig	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Gut			
	-	weitere	Spurenstoffe						
Benzotriazol	mäßig	Gut	mäßig	Gut	mäßig	schlecht			

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

Für die Zusammenstellung wurden die Ergebnisse von großtechnischen Anlagen und Versuchsanlagen ausgewertet (Quellen: (36), (37), (38), (39), (40), (41), (42), (43), (44), Erfahrungswerte Ingenieurbüro ATEMIS)

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

Obwohl für eine Dosierung von PAK direkt in die Belebung bisher nur wenige Erfahrungen vorliegen und keine optimale Eliminationsleistung zu erwarten ist, wird diese Variante am Standort des GKW Bedburg-Kaster untersucht, weil diese Variante mit relativ wenig Aufwand (es ist wenig neue Infrastruktur erforderlich) umgesetzt werden kann (Variante 1). Durch die Dosierung der Aktivkohle in die Belebung ergibt sich automatisch eine Vollstrombehandlung. Die Belebungsbecken haben ein Volumen von V = 11.900 m³. Die Nachklärung, die zur Abscheidung der Aktivkohle genutzt werden soll, hat ein Volumen von V = 2.270 m³.

Untersucht wird auch die PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken, dabei kann die Aktivkohle zusätzlich auch rezirkuliert werden (siehe Kap. 3.1.3.2), um eine möglichst vollständige Beladung der Aktivkohle zu erreichen (Variante 2). Bei dieser Variante wird mit die beste Eliminationsleistung erzielt, jedoch ist auch die Verfahrensführung (Führung des Abwassers aus der Nachklärung in das Kontaktbecken, dann Sedimentationsbecken, dann Filtration) aufwändiger als bei den anderen Verfahren. Verfahrensabwandlungen wie die PAK-Dosierung in Kontaktbecken ohne Sedimentationsbecken (PAK-Abtrennung im Filter) oder die Dosierung der PAK vor dem Flockungsfilter sind möglich, werden jedoch in dieser Studie nicht detailliert dargestellt.

Zusätzlich wird für das GKW Bedburg-Kaster auch die Ozonbehandlung des Abwassers (Variante 3) sowie der Einsatz granulierter Aktivkohle in einer neu zu errichtenden Filteranlage (Variante 4.1) untersucht. Zusätzlich soll eine GAK-Filtration ohne Neubau unter ganzer oder teilweiser Umrüstung der bestehenden Flockungsfiltration untersucht werden (Variante 4.2).

Es ergeben sich damit 5 Verfahrensmöglichkeiten zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen, die grundsätzlich für den Standort Bedburg-Kaster geeignet sind und nachfolgend untersucht werden:

- Variante 1: PAK-Dosierung direkt in die Belebung
- Variante 2: PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken mit anschließendem Sedimentationsbecken
- Variante 3: Ozon-Behandlung
- Variante 4.1: GAK-Filtration (Neubau)
- Variante 4.2: GAK-Filtration in bestehender Flockungsfiltration

Am Standort ist eine Flockungsfiltration vorhanden, die, abgesehen von der Variante 4.2, für die Vor- oder Nachbehandlung des Abwassers der 4. Reinigungsstufe genutzt wird.

# 5.2 Relevante Wassermengen für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe

Ein allgemein gültiger Ansatz zur Festlegung der Auslegungswassermenge für die Bemessung einer 4. Reinigungsstufe ist bisher noch nicht verfügbar. In der "Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination" (30) werden verschiedene Aspekte genannt, die bei der Ermittlung der Bemessungswassermenge berücksichtigt werden sollten. Mit einbezogen werden muss die auf der jeweiligen Kläranlage anfallende Wassermenge und die Leistungsstärke des Vorfluters, aber auch das Eintragspotenzial für unerwünschte 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. Zu beachten ist außerdem, ob die Entwässerung des Einzugsgebietes (vorwiegend) im Misch- oder Trennsystem erfolgt.

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. Da das GKW Bedburg-Kaster vorwiegend Abwässer aus Mischkanalisation erhält, scheint eine Auslegung auf 80 % der Gesamtwassermenge ausreichend.

Wie zuvor erläutert, ist das Gewässer, in welches eingeleitet wird, ebenfalls zu berücksichtigen. Bei der Erft handelt es sich am Einleitpunkt des GKW Bedburg-Kaster um einen starken Vorfluter, der unterhalb der des GKW Kaster keine wasserabhängigen FFH- oder Vogelschutzgebiete durchfließt. (45) Der Abwasseranteil liegt mit einer durchschnittlichen Ablaufmenge von 131 l/s und einem mittleren oberhalb anfallenden Niedrigwasserabfluss der Erft von 6.207 l/s bei ca. 2 % (25). Bei Grevenbroich durchfließt die Erft das Naturschutzgebiet "An der schwarzen Brücke" (11).

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, ob im Kläranlagenablauf überdurchschnittlich hohe Mikroschadstofffrachten zu erwarten sind. Das für das GKW Kaster durchgeführte Screening auf ausgewählte Mikroschadstoffe zeigt einige Überschreitungen der gültigen oder vorgeschlagenen Grenzwerte (UQN) im Vorfluter. Dies betrifft vorrangig die Röntgenkontrastmittel, die auf Grund ihrer hohen Persistenz als relevant betrachtet werden. Ein nachteiliger Effekt auf die Umwelt ist hier bisher nicht festgestellt worden. Zu beachten ist, dass nicht für alle untersuchten Stoffe (gesetzliche) Referenzen vorliegen.

Auch fanden sich einige Überschreitungen von Referenzwerten vergleichbarer Anlagen im Kläranlagenablauf. Auffällig ist hier, dass die Konzentrationen der Röntgenkontrastmittel (mit Ausnahme von Iohexol) im Vergleich zu anderen Anlagen eher im niedrigen bis mittleren Konzentrationsbereich liegen. Für viele Stoffe liegen jedoch keine oder zu wenige Werte vor, um einen Vergleich mit anderen Kläranlagenabläufen vornehmen zu können. Es sind momentan, aber auch in der absehbaren Zukunft, keine nennenswerten bzw. problematischen Mikroschadstofffrachten aus der Industrie zu erwarten. Durch die zwei einleitenden Krankenhäuser können jedoch höhere Belastungen mit Medikamentenrückständen verursacht werden.

In Abstimmung mit dem Erftverband wurde eine Auslegung im Bereich des Trockenwetterzuflusses von 199 l/s, entsprechend 716 m³/h, untersucht. Diese Auslegungsmenge wäre jedoch nicht ausreichend, um die angestrebte Behandlung von 80 % der gesamten Jahresabwassermenge (JAM) zu erreichen. Gewählt wurde deswegen eine Auslegung auf 730 m³/h, was in etwa dem 85 %-Perzentil der gesamten betrachteten Wassermengen entspricht. In Abbildung 5-1 sind die Stunden-Ablaufwerte für Trockenwetter- und Regentage aufsteigend sortiert aufgetragen. Markiert ist der 85 %-Perzentilwert der Trocken- und Regenwetterabflüsse (entspricht 730 m³/h). Tabelle 5-2 zeigt die behandelte und die unbehandelte Abwassermenge pro Jahr, basierend auf den Daten von Februar 2014-Dezember 2015. Mit einer Auslegungswassermenge von 730 m³/h können rund 80 % der auf dem GKW Kaster anfallenden Abwassermenge behandelt werden.

Tabelle 5-2: Behandelte bzw. unbehandelte Wassermengen pro Jahr bei Auslegung auf das 85 %-Perzentil des Mischwasserzuflusses

Gesamte Abwassermenge [m³/a]	3.905.190
Behandelte Abwassermenge [m³/a]	3.105.322
Behandelte Abwassermenge [%]	80
Unbehandelte Abwassermenge [m³/a]	799.869
Unbehandelte Abwassermenge [%]	20

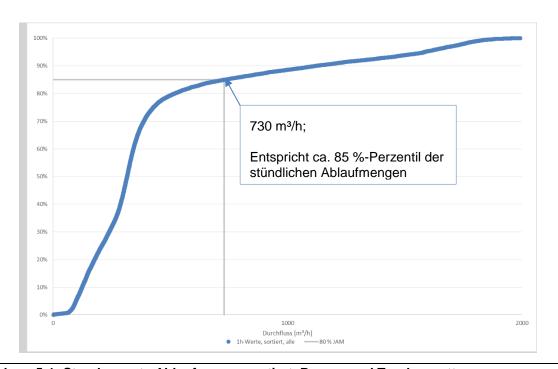


Abbildung 5-1: Stundenwerte Ablaufmenge, sortiert, Regen- und Trockenwetter

Als Regenwetterzufluss werden 1.872 m³/h angegeben (11). Durch die vorgelagerten Regenbecken und Pumpwerke ist der Zufluss auf diese Menge begrenzt. Gerundet auf 1.900 m³/h wird dieser Wert als Vollstrom angenommen.

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

Auf dem GKW Bedburg-Kaster steht eine Flockungsfiltration zur Verfügung, die evtl. umgerüstet oder in das Konzept der Mikroschadstoffelimination eingebunden werden kann. Eine Erweiterungsfläche für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe ist nord-östlich der Nachklärbecken vorhanden. Sie ist in Abbildung 5-2 gezeigt. Der hydraulische Schnitt des relevanten Anlagenteils (Ableitung Nachklärung bis Einleitung in die Erft) findet sich in Abbildung 5-3.



Abbildung 5-2: Erweiterungsgebiet (rot schraffierte Fläche) für die 4. Reinigungsstufe

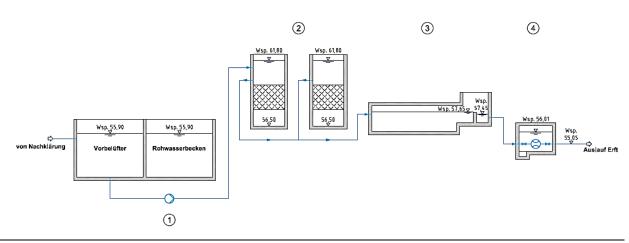


Abbildung 5-3: Hydraulischer Schnitt (Bestand ab Ablauf Nachklärung)

### 5.4 Bemessung und Ausführung der Verfahrenskonzepte

Für den Standort Bedburg-Kaster werden wie in Kap. 5.1 vorgeschlagen 5 verschiedene Verfahrensvarianten genauer untersucht. Bei Variante 1, der Dosierung der Pulveraktivkohle in die Belebung, erfolgt automatisch eine Vollstrombehandlung des Abwassers. Bei den Varianten 2 - 4.2 erfolgt eine Aufteilung des Abwasserstroms.

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

Für alle Varianten außer Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) und Variante 4.2 (Umrüstung der Flockungsfiltration) ist ein Zwischenpumpwerk zur Beschickung der Becken bzw. Filter erforderlich.

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

Bei einer Dosierung von Pulveraktivkohle direkt in die Belebung wird die vorhandene Belebung als Kontaktbecken für die PAK und die Nachklärung als Sedimentationsstufe für die PAK genutzt. Der biologische Teil des GKW Bedburg-Kaster besteht aus 2 Belebungsbecken (Vornitrifikation, Anaerobstufe, vorgeschaltete Denitrifikationsstufe, Nitrifikationsstufe), er besitzt ein Gesamtvolumen von 11.900 m³. Hier kann eine PAK-Dosierung erfolgen, wie die schematische Zeichnung der Verfahrensvariante in Abbildung 5-4 zeigt.

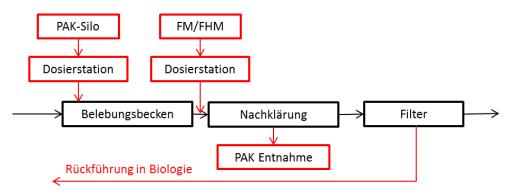


Abbildung 5-4: Verfahrensskizze PAK Dosierung in Belebung (Variante 1) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

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

Aktuelle Untersuchungen ergeben jedoch, dass bereits bei Dosiermengen von 18 mg/l ein Großteil der Mikroschadstoffe eliminiert wird. Bei einer Dosiermenge von 11 mg/l konnte jedoch eine deutlich verschlechterte Eliminationsleistung nachgewiesen werden (46).

# Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK

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

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

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

Jahresabwassermenge Qa	3.905.190	m³/a
PAK Dosierung		
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,02	kg/m³
Jahresbedarf PAK	78.104	kg/a
Tagesbedarf PAK	214,0	kg/d

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

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

Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m³
Gewählte Silogröße PAK	80	m³
Nachfüllung PAK alle	6,1	Monate

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

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

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

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

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

Fällmitteldosierung		
Dosiermenge Fe / Al aus FM	5	mg/l
	0,005	kg/m³
Jahresbedarf Fe / Al	19.526	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	139.471	kg/a
Dichte FM (FeCl3)	1.440	kg/m³
Gewählte Silogröße FM	50	m³
Nachfüllung FM-Silo alle	6,2	Monate
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,3	mg/l
	0,0003	kg/m³
Jahresbedarf FHM	1171,6	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m³
Wechsel des Gebindes	8,7	Monate

Der vorhandene Fällmittellagertank kann für die 4. Reinigungsstufe genutzt werden. Eine Dosierstation ist vorhanden, eine ggf. notwendige Erneuerung ist zu prüfen.

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

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

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

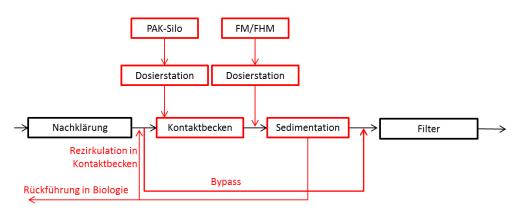


Abbildung 5-5: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken (Variante 2) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

In Anlehnung an die Auslegungsempfehlung nach (30) kann für die PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken, in welches vorbehandeltes, möglichst feststofffreies Abwasser zufließt, eine übliche Dosierrate (z<sub>PAK</sub>) von 10 - 20 mg<sub>PAK</sub>/I angesetzt werden. Die Aufenthaltszeit im Kontaktbecken (t<sub>Kont.</sub>) sollte mindestens 30 Minuten betragen. Beim Einsatz konventioneller Sedimentationsbecken wird eine hydraulische Aufenthaltszeit (t<sub>Sedi.</sub>) von 2 Stunden und eine Oberflächenbeschickung (q<sub>a, Sedi.</sub>) von 2 m/h empfohlen. Das empfohlene Rezirkulationsverhältnis liegt bei 0,5-1 (30).

#### Auslegung Kontaktbecken:

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

Tabelle 5-6: Auslegung Kontaktbecken, Variante 2

Auslegung Kontaktbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	730	m³/h
Kontaktzeit	30	min
	0,5	h
Erf. Volumen Kontaktbecken	365,0	m³
Wasserspiegelhöhe	4	m
Fläche Kontaktbecken (innen)	91,3	m²

## Auslegung Sedimentationsbecken:

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

Tabelle 5-7: Auslegung Sedimentationsbecken, Variante 2

Auslegung Sedimentationsbecken (PAK)		
Auslegungswassermenge	730	m³/h
Absetzzeit	120	min
	2	h
Volumen Sedimentationsbecken	1460	m³
Oberflächenbeschickung	2	m/h
Oberfläche Sedimentationsbecken	365,0	m²

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

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

Rezirkulationsverhältnis	0,7	-
Pumpleistung Rezirkulation	511,0	m³/h

## Abschätzung des Jahresverbrauchs an PAK:

Die erforderliche Dosiermenge an Pulveraktivkohle ist wie in Kap. 3.1.3 erläutert von verschiedenen Faktoren wie der organischen Hintergrundbelastung, der erforderlichen Eliminationsleistung etc. abhängig. Sie ist in Tabelle 5-9 dargestellt. Für die Abschätzung der jährlichen Menge an PAK (M<sub>PAK</sub>) wird, wie für die Varianten 3 und 4, ein Bemessungsvolumenstrom von 730 m³/h angenommen, wodurch sich eine ca. 80 %-ige Behandlung des Hauptstromes ergibt. Vor diesem Hintergrund wird die 80-%-ige Behandlung der Jahresabwassermenge zugrunde gelegt.

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

PAK Dosierung		
Jahresabwassermenge 4. RS	3.105.321	m³
mittlere angenommene PAK-Dosiermenge	0,01	kg/m³
Jahresbedarf PAK	31.053	kg/a
Tagesbedarf PAK	85,1	kg/d
Schüttdichte Aktivkohle	500	kg/m³
Gewählte Silogröße PAK	40	m³
Nachfüllung PAK alle	7,7	Monate

Abschätzung des Jahresverbrauchs an Fällmitteln und Flockungshilfsmittel

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

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

Fällmitteldosierung		
Jahresabwassermenge	3.105.321	m³
Dosiermenge Fe / Al aus FM	4	mg/l
<u> </u>	0,004	kg/m³
Jahresbedarf Fe / Al	12.421	kg/a
Eisen- / Aluminiumanteil FM	14	%
Jahresbedarf FM	88.723	kg/a
Dosierung FHM		
Dosiermenge FHM	0,3	mg/l
	0,0003	kg/m³
Jahresbedarf FHM	931,6	kg/a
Dichte FHM	850	kg/m³
Gewähltes Lagergebinde FHM	1	m³
Wechsel des Gebindes	10,9	Monate

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

Für die Zuleitung zur 4. Reinigungsstufe ist ein Zwischenpumpwerk vorgesehen. Die Kontaktbecken werden als Kaskade mit drei rechteckigen Becken mit einem Volumen von jeweils ca. 35 m³ ausgeführt.

Nachgeschaltet befindet sich das Sedimentationsbecken, das als Rundbecken mit einem Volumen von  $1460 \text{ m}^3$  ausgeführt wird. Für die Rückführung der PAK in die Kontaktbecken ist ein Pumpwerk vorgesehenen (Q =  $511 \text{ m}^3/\text{h}$  + Reserve).

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

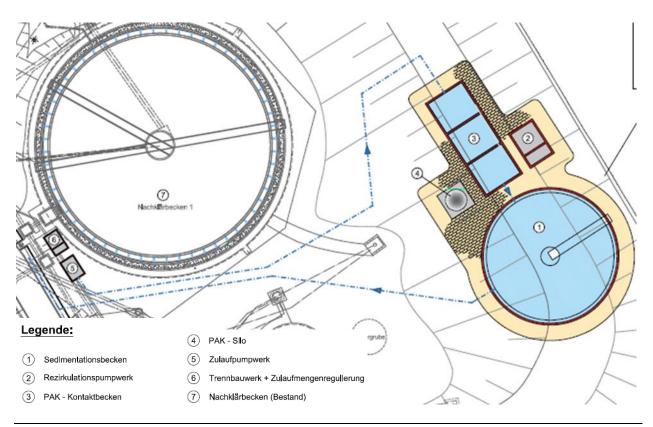


Abbildung 5-6: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Lageplanausschnitt

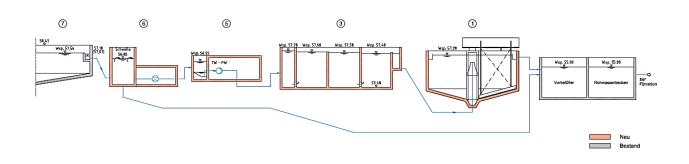


Abbildung 5-7: Variante 2 (PAK-Dosierung in Kontaktbecken), Längsschnitt

## 5.4.4 <u>Variante 3: Ozonbehandlung</u>

Die Ozonung wird der biologischen Behandlung des Abwassers nachgeschaltet. Um eine effektive Ausnutzung des Ozons für die Mikroschadstoffelimination sicher zu stellen, ist eine niedrige organische Hintergrundbelastung Voraussetzung. Eine effektive Nachklärung ist deshalb für die nachfolgende Ozonbehandlung eine Voraussetzung. Der Ozonbehandlung folgt in der Regel eine biologische Nachbehandlung (z.B.

durch biologische aktive Filter, Wirbelbett, Tropfkörper), um eventuell entstandene Transformationsprodukte zu entfernen. Dazu eignen sich z.B. biologisch aktive Filter oder eine GAK-Filtration (34).

Eine mögliche Verfahrensführung ist in Abbildung 5-8 gezeigt.

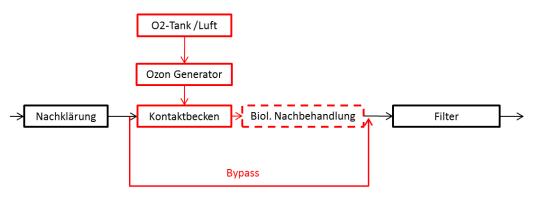


Abbildung 5-8: Mögliche Verfahrensführung Ozonung (Variante 3) (rot: geplant, schwarz: Bestand)

Für die Auslegung der Ozonungsanlage wird empfohlen, die voraussichtlich erforderliche Ozondosis in Abhängigkeit der DOC-Konzentration im Zulauf zur Ozonbehandlung festzulegen (30). Die erforderliche Dosierrate kann zwischen 0,6-0,9 mg O<sub>3</sub>/mg DOC angesetzt werden. (29), (30). 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 Nitritablauf-Konzentration nicht möglich ist, ist dieses bei der Auslegung des Ozonerzeugers zu berücksichtigen.

#### Auslegung des Ozonerzeugers

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

Die auf Basis der Ablaufwerte nach der Flockungsfiltration berechnete benötigte Ozonkonzentration sowie die sich daraus ergebende Mindestkapazität des Ozonerzeugers sind Tabelle 5-11 zu entnehmen. Da es bei der erfassten Maximalkonzentration von 39 mg CSB/I um eine starke Abweichung nach oben handelte, wurde der häufiger erreichte Wert von 36 mg/I angesetzt.

**Tabelle 5-11: Auslegung Ozongenerator, Variante 3** 

Auslegung Ozongenerator				
Ozondosierrate für DOC	0,8	g O3/g DOC		
Ozondosierrate für NO2-N	3,4	mg O3/mg NO2-N		
Bemessungsvolumenstrom	730	m³/h		
maßgebl. CSB-Konz. Abwasser	36	mg/I		
DOC-Konzentration Abwasser (berechnet)	10,9	mg/l		
	10,9	g/m³		
Erf. Zielkonzentration Ozon (bezogen auf DOC)	8,7	g O3/m3		
Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,5	mg/I		
	0,5	g/m³		
Zielkonzentration Ozon (bezogen auf Nitrit)	1,7	g O3/m3		
Zielkonzentration Ozon (für DOC und Nitrit)	10,4	g O3/m3		
Benötigte Kapazität Ozonerzeuger	7,61	kg O3/h		

## Abschätzen des Sauerstoffbedarfs und Ermittlung der Größe des Sauerstofftanks

Für kleinere Ozonisierungsanlagen wird in der Regel flüssiger Sauerstoff (LOX) für die Herstellung von Ozon eingesetzt. Für die Erzeugung von einem Gramm Ozon wird die 10-fache Menge (fo2/03) an Sauerstoff benötigt. Folgende Menge wird abgeschätzt (Tabelle 5-12):

Tabelle 5-12: Ermittlung des Sauerstoffbedarfs, Variante 3

Ermittlung des Sauerstoffbedarfs		
Ozondosierrate für DOC	0,8	g O3/g DOC
Ozondosierrate für NO2-N	3,4	mg O3/mg NO2-N
Jahresabwassermenge	3.905.190	m³/a
Jahresabwassermenge 4. RS	3.105.321	m³/a
mittlere CSB-Konz. Abwasser	24,7	mg/l
DOC-Konzentration Abwasser	7,5	mg/I
	7,5	g/m³
erf. Jahresmenge Ozon (für DOC)	18594	kg O3/a
mittlere Nitritstickstoff-Konzentration Abwasser	0,14	mg/I
	0,14	g/m³
erf. Jahresmenge Ozon (für Nitrit)	1478	kg O3/a
erf. Jahresmenge Ozon (gesamt)	20072	kg O3/a
f(O2/O3)	10	kg O2/kg O3
Erf. Jahresmenge Sauerstoff	200724	kg O2/a
Dichte Flüssigsauerstoff	1,1	g/cm³
	1100	kg/m³
Gewählte Größe Sauerstofftank	25	m³
Sauerstofflieferung alle	7	Wochen

## Auslegung des Ozonreaktors:

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

**Tabelle 5-13: Auslegung Ozonreaktor, Variante 3** 

Auslegung Ozonreaktor	
Bemessungsvolumenstrom	730 m³/h
Reaktionszeit	20 min
Ausgasungszeit	10 min
Aufenthaltszeit (gesamt)	30 min
	0,5 h
Erf. Volumen Ozonreaktor	365 m³
Einblastiefe	5 m
Fläche Ozonreaktor (innen)	73 m²

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

#### Nachbehandlung:

In verschiedenen Studien finden sich Hinweise, dass bei der Ozonung u.U. entstandene Transformationsprodukte durch eine biologische Nachbehandlung oder ein Adsorptionsverfahren (z.B. GAK) entfernt werden können. Eine biologische Nachbehandlung kann mit verschiedenen Verfahren erfolgen, z.B. durch biologisch aktive Filter, Wirbel- oder Festbettreaktoren, Tropfkörper etc. oder es kann alternativ eine GAK-Filtration eingesetzt werden. Am Standort Bedburg-Kaster ist eine Flockungsfiltration vorhanden.

## Anordnung der Ozonanlage und Flockungsfiltration:

Das Abwasser durchläuft den Ozonreaktor und danach die vorhandene Flockungsfiltration. Für die Unterbringung des Ozonerzeugers wird eine Containerlösung vorgesehen.

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

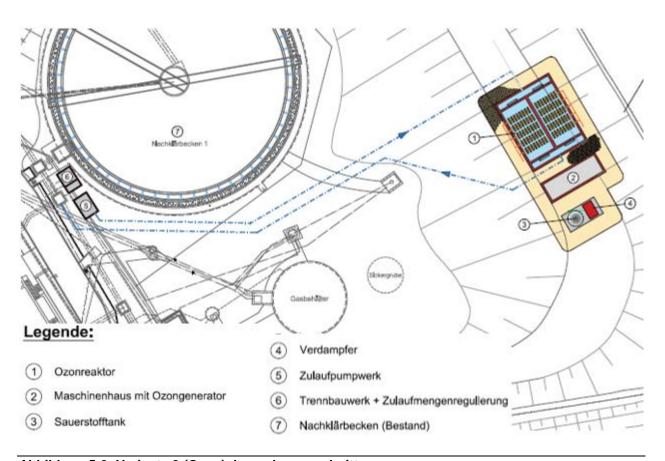


Abbildung 5-9: Variante 3 (Ozon), Lageplanausschnitt

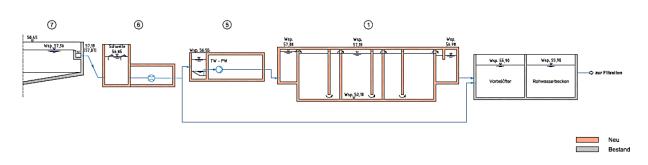


Abbildung 5-10: Variante 3 (Ozon), Längsschnitt

## 5.4.5 <u>Variante 4.1: Granulierte Aktivkohle (GAK-Filtration)</u>

Zur Mikroschadstoffelimination auf dem GKW Bedburg-Kaster kann auch eine Filtration mit granulierter Aktivkohle eingesetzt werden (siehe auch Kap. 3.1.4). Das gereinigte Abwasser aus der Flockungsfiltration

wird dabei den GAK-Filtern zugeführt. Bei einem sehr hohen Suspensaanteil im Ablauf der Nachklärung muss eine Vorfiltration des Abwassers erfolgen, um die GAK-Filter vor einer zu schnellen Verblockung zu schützen und zu häufige Rückspülungen des GAK-Filters zu verhindern. Vor der Umsetzung dieser Variante am Standort Bedburg-Kaster muss detailliert untersucht werden, wo die Flockungsfiltration optimal eingebunden werden sollte. Die GAK-Filtration wird auf mehrere parallel betriebene Filtereinheiten aufgeteilt, da sich regelmäßig Filtereinheiten in Rückspülung befinden.

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



Abbildung 5-11: Mögliche Verfahrensführung Variante 4.1 (GAK)

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

#### Auslegung der GAK-Filtration:

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

Tabelle 5-14: Auslegung GAK-Filtration

Jahresabwassermenge	3.905.190	m³/a
Jahresabwassermenge 4. RS	3.105.321	m³/a
Bemessungsvolumenstrom	730	m³/h
Rückspülwasser (10 % von JAM 4. RS)	35,4	m³/h
Auslegungsvolumenstrom	765,4	m³/h
Leerbettkontaktzeit	20	min
	0,333	h
Erforderliches Filtervolumen	255,1	m³
Maximale Filterbettgeschwindigkeit	8	m/h
Filterbetthöhe GAK	2	m
Erforderliche Filterfläche	127,6	m²
Resulierende Filtergeschwindigkeit	6	m/h
Filterbetthöhe GAK	2	m
Anzahl paralleler Filter	5	
erf. Fläche je Filter	25,5	m²
Gewählte Fläche je Filter (manuell wählen)	25,5	m²
Gewählte Anzahl Filter	6,0	
Resultierendes Gesamtfiltervolumen	306,18	m³
Erreichbare Bettvolumina	12.500	BVT
Durchsetzbares Abwasservolumen	3.827.244	m³
Nutzungsdauer GAK	13,4	Monate
Schüttdichte GAK	350	kg/m³
erf. GAK Menge Erstbefüllung je Filter	17.860	kg GAK/Filter
Rückspülgeschwindigkeit GAK-Filter		m/h
Volumenstrom Spülung	1275,74812	
Spüldauer	10	min
Spülwasserspeicher	212,6	m³

Rechnerisch werden fünf Filter mit je 25,5 m² Fläche benötigt. Es wird ein zusätzlicher Reservefilter vorgesehen.

## Anordnung der GAK-Filtration und Flockungsfiltration:

Für die Variante 4 (GAK-Filtration) wird für das Anheben des Abwassers auf die GAK-Filter ein neues Zwischenpumpwerk benötigt. Das Abwasser wird auf die 6 parallel betriebenen Filter verteilt. Die bestehende Flockungsfiltration kann theoretisch vor oder nach der GAK-Filtration angebunden werden. Wird diese vor der GAK-Filtration betrieben, erhöht sich die Standzeit der GAK.

Der Lageplanausschnitt für Variante 4 ist in Abbildung 5-12 gezeigt. Den Längsschnitt zeigt Abbildung 5-13. Der komplette Lageplan ist als Anhang C- Pläne (Kapitel 9) beigefügt.

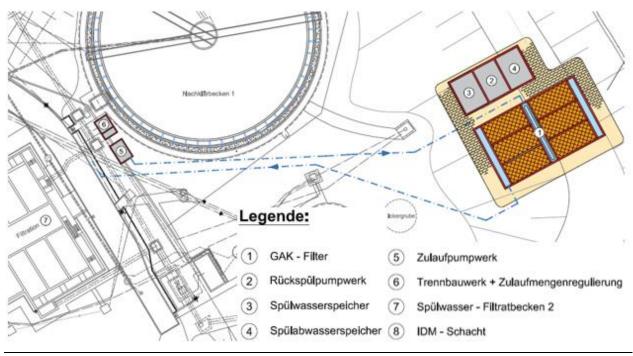


Abbildung 5-12: Variante 4.1 (GAK-Filtration), Lageplanausschnitt

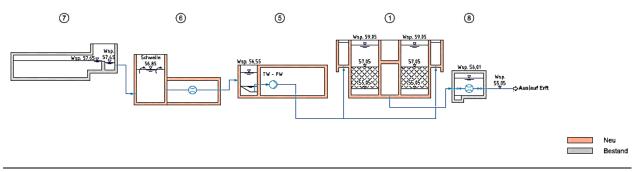


Abbildung 5-13: Variante 4.1 (GAK-Filtration), Längsschnitt

### Variante 4.2: GAK-Filter in bestehender Flockungsfiltration

Im Rahmen dieser Studie wurde auch die Option geprüft, ob ein teilweiser oder kompletter Austausch des Filtermaterials der Flockungsfiltration (Bestand) durch GAK als 4. Reinigungsstufe ausreicht (siehe auch Kap. 5.1). Das grundsätzliche Schema ist der folgenden Abbildung dargestellt:



Abbildung 5-14: Mögliche Verfahrensführung Variante 4.2 (Umrüstung Flockungsfiltration)

Die bestehende Flockungsfiltration (Sandfiltration) verfügt über 6 Filterkammern, die parallel betrieben werden (weitere Informationen siehe nachfolgende Tabelle 5-15). Auf Basis der Auslegungswerte des GAK-Filters wie in Variante 4 beschrieben (bzgl. Filtergeschwindigkeit, Kontaktzeit etc.) wurde folgendes ermittelt (Tabelle 5-15):

Tabelle 5-15: Teilweise oder komplette Umnutzung der Flockungsfiltration als GAK-Filtration

## Bestand: Flockungsfiltration

6	Filterkammern			
25	25 m² Filterfläche pro Kammer			
2	m Filterhöhe			
150	m² Filterfläche gesamt			
300	m <sup>3</sup> Filtervolumen gesamt			

## Mindestens benötigt für GAK-Filtration (ohne Redundanz/Reserve)

12	28	m² Filterfläche
2!	55	m³ Filtervolumen
30	06	m³ rechnerisch inkl. Reserve benötigt

Die vorhandene Filteranlage ist bei einer Umrüstung auf eine GAK-Filtration nur für eine Teilstrombehandlung von ca. 730 m³/h ausreichend. Hieraus ergibt sich, dass eine Vollumrüstung der Flockungsfiltration notwendig wäre, um 80 % der Jahresabwassermenge (730 m³/h) zu behandeln. Darüber hinaus gehende Wassermengen würden an der GAK Filtration im Bypass vorbei geleitet und ohne abschließende Filtrationsstufe in den Vorfluter eingeleitet.

Zur Umrüstung ist zunächst die Entleerung der Filterzellen notwendig. Der Sand muss fachgerecht entsorgt werden. Die Filterdüsen müssen im Zuge der voraussichtlichen Umrüstung erneuert werden. Die Eignung der vorhanden Spülwasser- und Spülluftpumpen muss im Detail geprüft werden. In den Kostenschätzungen werden Kosten für die Erneuerung der Maschinentechnik abgeschätzt.

Auf Grund des Fehlens der Flockungsfiltration vor der GAK-Filtration wäre mit einer reduzierten Standzeit der GAK um bis zu 50 % zu rechnen. Um die Standzeit und die Ablaufwerte genauer prognostizieren zu können sollten hier vor einer Umsetzung des Konzepts Vorversuche und ein längeres, regelmäßiges Messprogramm im Ablauf der Nachklärung durchgeführt werden. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die stichprobenartigen Untersuchungen eine deutliche Reduktion der Pges.- und CSB-Konzentrationen zeigt. Zu klären ist, ob die Überwachungswerte auch ohne Flockungsfiltration bzw. Sandfilter noch sicher eingehalten werden können.

## 6 Kostenschätzung und Bewertung der Verfahrenskonzepte

Für die Bewertung der eingesetzten Verfahrenstechniken und die wirtschaftliche Bewertung werden für das GKW Kaster folgende Verfahrenskonzepte berücksichtigt:

- Variante 1: Dosierung von PAK in die Belebung
- Variante 2: Dosierung von PAK in ein Kontaktbecken
- Variante 3: Ozonierung
- Variante 4.1: GAK-Filtration (Neubau)
- Variante 4.2: GAK-Filtration (Umbau bestehende Filtration)

Es gilt dabei, die o.g. Verfahrenskonzepte wirtschaftlich zu vergleichen. Für den wirtschaftlichen Vergleich werden die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW veröffentlichten Vorgaben zur Kostenermittlung genutzt (47). Die Ermittlung erfolgt dabei in Anlehnung an die LAWA-Richtlinie. In diese Berechnung gehen sowohl die Erstinvestitionen mit den Re-Investitionen als auch die Betriebsmittelverbräuche, Versicherungen, Personalbedarf und Reststoffverwertungskosten ein.

#### 6.1 Investitionen

Für die Ermittlung der Investitionen wurden u.a. folgende Annahmen getroffen:

- Bei den Varianten 1 3 wird die bestehende Filtration für den Vollstrom weiter betrieben und dient als Nachbehandlung zur PAK-Restabscheidung sowie zur Nachbehandlung der Ozonierung.
- Bei Variante 4.1 wird die bestehende Filtration als Vorfiltration vor der GAK-Stufe genutzt.
- Bei Variante 4.2 wird die bestehende Filtration zur GAK-Filtration umgerüstet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Filterböden ausgetauscht werden, ebenso wird angesetzt, dass ein Teil der Maschinentechnik erneuert wird.
- Bei den Varianten 4.1 und 4.2 ist die GAK Erstbefüllung in den Investitionen enthalten (wird unter "Baunebenkosten und Sonstiges" eingeordnet).
- Es wird <u>kein</u> neuer Fällmitteltank (Nutzung Bestand) errichtet, lediglich Dosiereinrichtungen werden berücksichtigt.
- Die Unterbringung des Ozongenerators erfolgt in einem <u>Maschinencontainer</u>.
- Die Sauerstofflagereinheit wird als Mietanlage vorgesehen.
- Bei den Varianten 2, 3 und 4.1 müssen ein Trennbauwerk (Aufteilung der Wassermengen auf die 4. RS und Bypass) sowie ein Zwischenpumpwerk errichtet werden. Bei Variante 4.2 muss ein Trennbauwerk errichtet werden.

• Für die Variante 1 ist ggf. eine Ertüchtigung der Nachklärung nötig, da diese als Sedimentationsbecken für die PAK fungiert. Hierfür wird ein Pauschalbetrag angesetzt, der in Abhängigkeit vom tatsächlichen Aufwand variieren oder sogar entfallen kann. Im Zuge einer weiteren Planung müsste die Nachklärung vor diesem Hintergrund detailliert betrachtet werden.

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

Tabelle 6-1: Zusammenstellung der geschätzten Investitionen

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung im Bestand)
Bautechnik	[€]	34.980	992.690	598.370	973.875	102.290
Maschinentechnik	[€]	405.000	696.000	910.000	564.000	330.000
EMSR-Technik	[€]	121.500	208.800	136.500	169.200	99.000
Nebenkosten	[€]	101.066	341.548	296.077	408.794	261.447
Summe Investitionen netto	[€]	662.546,40	2.239.038,20	1.940.946,60	2.115.868,50	792.737,40
Summe Investitionen brutto	[€]	788.430,22	2.664.455,46	2.309.726,45	2.517.883,52	943.357,51

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen ist der Anlage B (Kapitel 8.1 bis 8.5) zu entnehmen. Die Kostenangaben basieren auf den Submissionsergebnissen aus der Ausschreibung vergleichbarer Anlagen und auf Anfragen von Richtpreisen für Hauptkomponenten bei verschiedenen Lieferanten.

Die Investitionen sind für Variante 1 (PAK-Dosierung in die Belebung) mit 788.400 Euro brutto am niedrigsten. Auch Variante 4.2 GAK-Filtration (Umnutzung der bestehenden Filtration) weißt niedrige Investitionen von 943.400 Euro auf. Bei diesen Varianten sind die wenigsten Infrastrukturmaßnahmen notwendig. Für die Varianten 2, 3 und 4.1 mit dem Neubau einer 4. Reinigungsstufe und Weiternutzung der bestehenden Filtration fallen wesentlich höhere Investitionen zwischen 2.309.700 bis 2.664.500 Euro brutto an.

#### 6.2 Betriebsmittel- / Verbrauchsmittelkosten

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

Energiekosten: 0,21 Euro/kWh

Personalkosten: 60.000 Euro/Mannjahr

Pulveraktivkohle: 1.600 Euro/t

Granulierte Aktivkohle: 1.200 Euro/t (als regenerierte Kohle)

Fällmittel: 140 Euro/t

Flockungshilfsmittel: 1.400 Euro/t

Sauerstoff: 0,2 Euro/kg (inklusive Miete der Sauerstofftankanlage)

Schlammentsorgung: 240 Euro/t TR

Die Abschätzung der Verbrauchsmittelkosten erfolgt für Variante 1 (PAK in die Belebung) für den gesamten derzeit anfallenden Abwasserstrom von 3.905.190 m³/a. Für die Varianten 2 - 4.2 wird der bei der aktuellen Auslastung der Kläranlage in der 4. Reinigungsstufe behandelte Abwasserstrom von 3.105.321 m³/h angesetzt.

Für die Abschätzung des Energiebedarfs wurden die Hauptverbraucher wie Pumpen, Rührwerke, Räumer und der Ozongenerator berücksichtigt. Eine Übersicht über die Ermittlung des Energiebedarfs ist Kap. 8.6 zu entnehmen.

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

Bei Variante 4.1 (GAK Neubau) wurde ein Bettvolumen von 12.500 BTV angesetzt, weil die bestehende Filtration als Vorbehandlung genutzt wird. Bei Variante 4.2 (GAK Umbau Bestandsfiltration) wird ein Bettvolumen von 10.000 BTV angesetzt, weil keine Vorfiltration durchgeführt wird.

Bei der Ozonungsanlage wurden Kosten in Höhe von 0,20 Euro/kg Sauerstoff angesetzt. Die spezifischen Kosten beinhalten auch die Miete für die Sauerstofflagereinheit.

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

Die Zusammenstellung der Betriebsmittel- und Verbrauchsmittelkosten ist in Kap. 8.7 dargestellt. Tabelle 6-2 zeigt eine Zusammenfassung der auf das Jahr 2017 als Bezugsjahr umgerechneten Betriebskosten.

Tabelle 6-2: Betriebskostenschätzung für die Varianten 1 – 4.2; Bezugsjahr: 2017

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK-Dosierung in die Belebung	PAK-Dosierung in Kontaktbecken	Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung im Bestand)
Energie	[€/a]	11.846	58.842	93.330	57.913	0
Personal	[€/a]	24.000	30.000	24.000	24.000	6.000
Wartung/Instandhaltung	[€/a]	13.687	37.510	35.138	32.938	12.259
Sauerstoff	[€/a]	0	0	48.174	0	0
PAK/GAK	[€/a]	137.463	54.653	0	114.773	143.466
FHM, FM	[€/a]	21.171	13.723	0	0	0
Schlammentsorgung	[€/a]	37.024	19.375	0	0	0
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]	245.191	214.103	200.641	229.624	161.725
Betrieb Gesamtkosten (Bruttokosten)	[€/a]	291.777,08	254.782,99	238.763,34	273.252,01	192.452,96

Aus Tabelle 6-2 geht hervor, dass bei Variante 4.2 (GAK Umrüstung Bestand) voraussichtlich mit den niedrigsten Betriebskosten von ca. 192.500 Euro brutto/a zu rechnen ist. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die bestehende Filtrationsstufe nicht weiter betrieben wird und zur GAK-Filtration umgerüstet wird (deshalb hier: geringerer zusätzlicher Personalaufwand angesetzt, geringerer zusätzlicher Wartungs- und Instandhaltungsaufwand berücksichtigt, kein zusätzlicher Energieverbrauch angenommen).

#### 6.3 Jahreskosten

Der Berechnung der Jahreskosten wurde die vom Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW zur Verfügung gestellte Tabelle zur Kostenberechnung zugrunde gelegt. Kap. 8.8 und Kap. 8.9 zeigen die Berechnung der Jahreskosten für die 5 Varianten. Eine Zusammenstellung der Jahreskosten enthält Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Jahreskostenschätzung für die Varianten 1 – 4.2; Bezugsjahr: 2017

Bezugsjahr: 2017		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		DAK Desierung	PAK-Dosierung			GAK
		PAK-Dosierung in die Belebung	in	Ozon	GAK (Neubau)	(Umrüstung im
		in die Belebung	Kontaktbecken			Bestand)
Kapitalkosten	[€/a]	55.616	151.721	139.001	138.327	58.219
Betriebsgebundene Kosten	[€/a]	37.687	67.510	59.138	56.938	18.259
Verbrauchsgebundene Kosten	[€/a]	207.504	146.593	141.503	172.685	143.466
Jahreskosten (netto)	[€/a]	300.807	365.824	339.642	367.951	219.944
Jahreskosten (brutto)	[€/a]	357.960	435.331	404.174	437.862	261.733

Es zeigt sich, dass die Variante 4.2 (GAK Umrüstung Bestand) mit 261.700 Euro brutto mit Abstand die niedrigsten Jahreskosten aufweist.

Die spezifischen Kosten je in der 4. Reinigungsstufe behandeltem m³ Abwasser liegen für die Varianten 2, 3 und 4.1 eng zusammen mit 0,11 Euro netto bis 0,12 Euro netto. Die günstigsten Kosten werden bei Variante 4.2 mit 0,07 Euro netto/m³ und Variante 1 mit 0,08 Euro netto/m³ erreicht.

Die spezifischen Kosten je angeschlossenem Einwohner liegen unter 8 Euro netto pro Jahr (4,53 Euro netto (Variante 4.2) bis 7,59 Euro netto (Variante 4.1)).

#### 6.4 Diskussion der voraussichtlichen Kostensituation

Im Rahmen der Kostenermittlung wurden für den Standort Kaster verschiedene Annahmen getroffen, die die Kostensituation wesentlich beeinflussen.

Auf dem GKW Kaster ist eine Filtrationsstufe vorhanden, die bei den Varianten 1, 2 und 3 für die Nachbehandlung der 4. Reinigungsstufe weiter genutzt werden kann. Für Variante 4.1 wird die bestehende Filtration zur Vorbehandlung genutzt. Für Variante 4.2 kann die bestehende Filtrationsstufe umgerüstet werden.

Alle anderen Bauwerke wie Reaktionsbecken, Sedimentationsbecken, Pumpenschächte etc. müssen neu errichtet werden, weil auf der Kläranlage keine Bestandsbauwerke zur Unterbringung von Anlagenteilen genutzt werden können. Für die Aufstellung des Ozonerzeugers wird ein Maschinencontainer vorgesehen.

Einen besonders hohen Anteil an den Betriebsmittelkosten verursachen die Verbräuche an Chemikalien und Hilfsmitteln. Die erforderlichen Dosiermengen an Pulveraktivkohle wurden über mittlere Dosiermengen abgeschätzt. Für die granulierte Aktivkohle wurden Annahmen für das erzielbare Bettvolumen getroffen (BVT = 12.500 für Variante 4.1 und BVT = 10.000 für Variante 4.2). Die Verbrauchsmengen an den vorgenannten Kohlen können sich jedoch u.U. auch erhöhen, wenn besondere Reinigungsziele (Eliminationsleistungen für ausgewählte Mikroschadstoffe) mit der 4. Reinigungsstufe eingehalten werden müssen. Zurzeit bestehen dazu noch keine gesetzlichen Anforderungen. Die Verbrauchsmittelkosten werden jedoch in Zukunft voraussichtlich auch von neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen. Ebenso haben die angesetzten Nutzungszeiten bzw. Bettvolumina einen wesentlichen Einfluss auf die Betriebskosten, so dass diese in Abhängigkeit einer längeren oder kürzeren Standzeit deutlich anders ausfallen können. Eine Verminderung der Kosten kann evtl. durch die Regeneration des eingesetzten GAK-Materials oder durch eine optimierte Inbetriebnahmereihenfolge der GAK-Filter (wodurch sich eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität der GAK ergibt) möglich sein (34).

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

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

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

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

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

Bei der Verfahrensbewertung muss – wie schon in Kap. 5.1 erläutert – berücksichtigt werden, dass nicht für alle Verfahrensvarianten und für alle relevanten 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

Bei der PAK-Dosierung werden die besten Eliminationsraten erzielt, wenn die PAK in ein separates Kontaktbecken mit nachfolgender Sedimentationseinheit dosiert wird und die PAK zusätzlich rezirkuliert wird (Variante 2). Im Hinblick auf die Zugabe der PAK direkt in die bestehende Belebung (Variante 1) stehen noch keine ausreichenden Erkenntnisse zur Leistungsfähigkeit zur Verfügung. Aufgrund der Konkurrenzsituation der Mikroschadstoffe mit den Abwasserinhaltsstoffen und mit dem Schlamm in der Belebung um die Bindungsplätze an der PAK wurden für diese Verfahrensweise bisher eher niedrige Eliminationsraten bei gleichzeitig hohen PAK-Dosiermengen angenommen. Gute Eliminationsleistungen bei einer akzeptablen PAK-Dosiermenge von ca. 18 mg PAK/I wurden bei aktuellen Untersuchungen auf der ARA Flos in Wetzikon (Schweiz) ermittelt (46). Für eine abschließende Bewertung dieser Verfahrensvariante, die mit relativ geringen Infrastrukturmaßnahmen auskommt, sollten weitere Untersuchungen abgewartet werden oder eigene Versuche mit mobiler Dosiereinrichtung unternommen werden.

Bei der Ozonung ist zu beachten, dass die entstehenden Transformationsprodukte oft sehr reaktiv sind und ebenfalls Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Sie müssen daher vor der Einleitung des Abwassers in den Vorfluter entfernt werden. Dazu ist neben einer biologischen Nachbehandlung in biologisch aktiven Filtern ggf. auch der Einsatz von GAK denkbar, für die die sicherste Elimination angenommen wird (35).

Beim Einsatz der granulierten Aktivkohle wird von sehr unterschiedlichen Eliminationsleistungen berichtet. Während auf der KA Obere Lutter bei Gütersloh sowie auf der KA Gütersloh-Putzhagen von guten Eliminationsleistungen berichtet wurde, wurde bei Untersuchungen auf der ARA Neugut (Schweiz) die Mikroschadstoffelimination mittels GAK als nicht ausreichend bewertet, da schon nach kurzen Filterlaufzeiten eine Verschlechterung der Eliminationsleistung für einige Mikroschadstoffe festgestellt wurde (33). Derzeit

wird aber davon ausgegangen, dass z.B. durch eine optimierte Bewirtschaftung der GAK-Filter eine bessere Ausnutzung der Adsorptionskapazität und damit eine Verbesserung der Adsorptionsleistung erreicht wird (34), so dass die GAK-Filtration als Verfahren für die Spurenstoffelimination zunehmend an Bedeutung gewinnt.

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

#### **Betriebsaufwand**

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

#### Sonstiges

Beim Einsatz von Ozon kann es zur Bildung von Transformationsprodukten kommen, die u.U. schädlich sind. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass diese Produkte in biologisch aktiven nachfolgenden Stufen wie Wirbelbett, Tropfkörpern oder biologisch aktiven Filtern wieder abgebaut werden, ob dieser Abbau für alle Transformationsprodukte vollständig erfolgt, ist jedoch noch nicht sicher nachgewiesen. Für den Standort Kaster wird davon ausgegangen, dass die bestehende Filtrationsanlage im Anschluss an die Ozonung zur Reduktion der Transformationsprodukte genutzt werden kann. Auch der Einsatz eines GAK-Filters zur Nachbehandlung der Ozonung ist denkbar (35); diese Kombination wird in der Trinkwassergewinnung bereits eingesetzt. Es wird vor einer Umsetzung von Variante 3 empfohlen, die Bromid-Konzentration im Abwasser im Hinblick auf eine Ozonbehandlung über einen längeren Zeitraum genauer zu untersuchen.

#### Voraussichtliche Kosten und Eignung der Verfahren

Das Verfahren mit den niedrigsten Jahreskosten ist die GAK-Filtration (Umrüstung der vorhandenen Filtration, Variante 4.2) mit rund 262.000 Euro brutto. Die ermittelten Jahreskosten für die anderen untersuchten Varianten liegen alle wesentlich höher.

Mit einer geeigneten Verfahrensführung (gestaffelte zeitliche IBN der Filterzellen und zeitlich gestaffelter Austausch des Filtermaterials) kann die GAK-Filtration gute Eliminationsleistungen erzielen und kann am Standort Kaster voraussichtlich erfolgreich eingesetzt werden. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass die bisher betriebene Filtrationsanlage für den Kläranlagenbetrieb zukünftig definitiv nicht mehr erforderlich ist. Wenn diese vorgenannte Voraussetzung erfüllt ist, ist die Variante 4.2 die günstigste der betrachteten Verfahrensvarianten.

### Bewertung einer 4. Reinigungsstufe am Standort Kaster

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

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

Bei den gemessenen Mikroschadstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage konnten nach heutigem Kenntnisstand nur wenige Auffälligkeiten festgestellt werden. Die meisten untersuchten Stoffkonzentrationen lagen unterhalb der Konzentrationen, die in Abläufen anderer Kläranlagen gefunden wurden oder zumindest deutlich unter den maximalen, bei anderen Kläranlagen gemessenen Werten. Große Industrieeinleiter sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden, so dass von dieser Seite nicht mit relevanten Mikroschadstoffeinträgen zu rechnen ist. Aufgrund der angeschlossenen Krankenhäuser ist mit einem erhöhten Eintrag von Medikamentenrückständen zu rechnen, wobei die gefundenen Konzentrationen an Medikamenten nach heutigem Kenntnisstand in den meisten Fällen nur gering erhöht waren. Beim Vorfluter "Erft" handelt es sich an der Einleitstelle um einen starken Vorfluter, der nur eine geringe Abwassermenge aus der Kläranlage aufnehmen muss. Das GKW Kaster befindet sich nicht im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungslagen und der Vorfluter "Erft" durchfließt unterhalb der Kläranlage keine Naturschutzgebiete o.ä.

In der Studie "Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotentiale für Nordrhein-Westfalen" (8) wird beschrieben, dass es hinsichtlich der Verbesserung der Gewässersituation in NRW voraussichtlich vorrangig sinnvoll ist, zunächst Kläranlagen mit einer 4. Reinigungsstufe auszustatten, die:

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

Durch Maßnahmen auf den betreffenden Kläranlagen kann eine wesentliche Verringerung der Mikroschadstoffeinträge in die Gewässer erreicht werden. Für das GKW Kaster trifft keiner der oben genannten Punkte zu.

## Finanzierung einer 4. Reinigungsstufe

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

#### Förderung der Investitionen

Vom Land Nordrhein-Westfalen können bei einer Antragstellung bis 2019 ausgewählte Maßnahmen zur Spurenstoffelimination mit der Übernahme von 70 % der Erstinvestitionen gefördert werden, danach mit bis zu 50 %. Hinsichtlich der langfristigen Entwicklung der Förderung durch das Land NRW können keine

verbindlichen Aussagen getroffen werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Förderung wesentlich reduziert wird oder erlischt, sobald die 4. Reinigungsstufe verpflichtend eingeführt werden sollte.

#### Erklärung niedrigerer Überwachungswerte

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

## Verrechnung mit der Abwasserabgabe

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

Mögliche zukünftige Finanzierungsmodelle für Kläranlagen, die vorrangig eine Mikroschadstoffelimination durchführen sollten, werden auch im sog. "Leipziger Modell" vorgestellt (48).

#### <u>Fazit</u>

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

Als Vorzugsverfahren für das GKW Kaster kommt aufgrund der berechneten Jahreskosten die Variante 4.2 (GAK Umrüstung im Bestand) infrage, wenn auf die bestehende Filtrationsstufe verzichtet werden kann. Vor der weiteren Umsetzung müsste z.B. mit einem Messprogramm überprüft werden, ob bei allen Betriebszuständen bereits im Ablauf der Nachklärung die relevanten Überwachungswerte eingehalten werden.

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht die Variante 4.2 (GAK Umrüstung im Bestand) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor. Wenn diese Variante nicht umgesetzt werden kann, sind im Hinblick auf die zu erwartende Eliminationsleistung die Varianten 2, 3 und 4.1 zu empfehlen. Die Kostendifferenzen dieser Varianten liegen unterhalb der Schätzgenauigkeit und sind somit als gleichwertig zu betrachten.

Da der Nutzen der 4. Reinigungsstufe auch im Hinblick auf den Ressourcen- und Klimaschutz abgewogen werden muss (Der Betrieb der 4. Reinigungsstufe verursacht einen nicht zu vernachlässigenden hohen Stoff- und Energieeinsatz.), wäre es für den Betreiber der Kläranlage daher sinnvoll, wenn Betriebserfahrungen bestehender und bald in Betrieb gehender Anlagen sowie Ergebnisse von Forschungsprojekten der

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

Daneben ist in den kommenden Jahren mit Entscheidungen bezüglich gesetzlicher Vorgaben zur Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe zu rechnen. Dieses wird die Planungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber erheblich erhöhen, da dann auch mit den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Erfahrungen die standortspezifisch effektivste Verfahrenstechnik zum Einsatz kommen kann.

# 7 Anhang A - Untersuchungsergebnisse

## 7.1 Untersuchungsergebnisse Vorfluter im Rahmen der Studie

	Proben-	1601281	1601282	1602119	1602218	1602647	1602648	1603185	1603186	1603584	1603583	1603860	1603931	1604233	1604232	1604572	2 1604	573
	Objekt	7300	7280	7300	7280	7300	7280	7300	7280	7300	7280	7300	7280	7300	7280	7300	7	280
	ObjName	Erft oberhalb	Erft unterhall	Erft oberhalb	Erft unterhall	Erft oberhalb I	Erft unterhalb	Erft oberhalb	Erft unterhalb	Erft oberhall	Erft unterha	Erft oberhalb	Erft unterhal	Erft oberhal	Erft unterha	Erft oberhalk	Erft unterh	alb
	Probestelle																	
	Probenahme	21.03.2016	21.03.2016	02.05.2016	06.05.2016	01.06.2016	01.06.2016	23.06.2016	23.06.2016	11.07.2016	11.07.2016	25.07.2016	27.07.2016	15.08.2016	15.08.2016	30.08.2016	30.08.2	016
		14:51	15:11	10:14	07:30	10:50	10:40	07:45	08:00	11:10	11:00	09:50	08:15	10:40	10:25	08:35	5 08	3:45
					07:45													
		Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	Stichprobe	
		Herr Dr. Trim	Herr Dr. Trim	Frau Kothe	Herr Sovagov	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Herr Schwabe	e Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	Frau Kothe	
	Bemerkung	E28	E29	E28														
Witterung	WIT				trocken	1							trocken	1				
Lufttemperatur	TL				12								18,5	5				
Probentemperatur	TP				17,9					19,2	19,2	24,3	21,1	23	23	22	2	22
Farbe	FAR				farblos 1/	00				farblos 1	farblos 1	L farblos 1,	leicht gelb	farblos 1	farblos 1	farblos 1	/farblos	1/00
Geruch	GER				geruchlos	1/00				geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	geruchlos	1/00
rübung	TRU				klar 1					klar 1	klar 1	schwach getr	klar 1	klar 1	klar 1	klar 1	klar	1
Schwimmstoffe	SSt				nicht vorhand	len 1							vorhanden	2				
Durchsicht	DSI				>50								>50					
oH-Wert (Vor-Ort-Messung)	pH.vO				7,6					4,5	6,8	7,6	7,4	7,5	7,7	7,6	6	7,7
eitfähigkeit (Vor-Ort)	LF.vO				769					836	837	699	808	736	739	789	9	779
Sauerstoff, frei	Of				6,7					9,2	9,2	8,1	8,3	8,7	8,5	8,8	8	8,9
Sauerstoff nach 2 Tagen	O48				8,4								8,2	2				
Abfiltrierbare Stoffe	ABF				13								10	)				
iltrattrockenrückstand rechn.	TR.f,r				472								508	3				
Gesamttrockenrückstand	TR.h				485								518	3				
Gesamtglührückstand	GR.h				425								459					
Säurekapazität (pH 4.3)	kS4_3				4,3								4,9					
Gesamthärte	dHg				12,1								12,9					
Carbonathärte	dHC				12								13,7	7				
(MnO4-Verbrauch, homogenisiert	KMnO4.h				3								14	l l				
CSB, homogenisiert	CSB.h				15								16	5				
BSB (ohne ATH), homogenisiert	BSB.hA				<3								<3					
OC, homogenisiert	TOC.h				3,31					2,84	2,64	4,41	3,77	2,5	2,36	3,16	6 3	3,18
Stickstoff, gesamt (TNb)	TNb				2,18								2,76	5				
Gesamtstickstoff, berechnet	N.g				<4,9								<2,9					

org. geb. Stickstoff	Norg				<3,00									1,2				
Ammonium-Stickstoff	NH4-N				<0,4									0,1				
Ammonium-Stickstoff	NH4-N				<u> </u>					0.	,1 <0,1		0,1		0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Nitrit-Stickstoff	NO2-N				<0,10					<0,10	<0,10	<0,10	<0,10		0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Nitrat-Stickstoff	NO3-N				1,	4				1,3	31	1,38	1,58	1,5	1,14	1,1	1,1	1,12
Phosphor, gesamt	P.g				<0,10					0,1		0,14	0,37	0,16	0,14			
Phosphor, gelöst	P.I				<0,10								<0,10					
Orthophosphat-Phosphor (gelöst	o-PO4-P.f									<0,02	<0,02		0,06	0,02 <0	0,02	<0,02	<0,02	0,02
Sulfat	SO4				78,	8				73,	,3	74,9	62,5	82,9	74	77,	,9 92,	,1 88,7
Chlorid	CI				71,	5				76,	.4	81,5	61,4	68,9	65,5	65,	,6 69,	,3 67,9
Natrium	Na				76,	8								78,6				
Calium	К				9,1	4								9,61				
Calcium, gesamt	Ca.g				54,	9								57,6			T	
Calcium, gelöst	Ca.I				53,	4								54,6				T
Magnesium, gesamt	Mg.g				19,	3								21				
Magnesium, gelöst	Mg.I				18,	7								19,3				
Eisen, gesamt	Fe.g				1,3	1								1,71				
Eisen, gelöst	Fe.I				1,	2								0,03				
Vlangan, gesamt	Mn.g				0,18	4								0,212				
Mangan, gelöst	Mn.I				0,18	2								0,149				
Cadmium, gesamt	Cd.g				<0,5								<0,5					
Cadmium, gelöst	Cd.I				<0,5								<0,5					
Cobalt, gesamt	Co.g				0,00	6								0,008				
Cobalt, gelöst	Co.I				0,00								<0,00	5				
Chrom, gesamt	Cr.g				<0,005								<0,005	5				
Chrom, gelöst	Cr.I				<0,005								<0,005	5				
Cupfer, gesamt	Cu.g				0,00	6							<0,005					
Kupfer, gelöst	Cu.l				<0,005								<0,005	5				
Quecksilber, gesamt	Hg.g				<0,5								<0,5					
lickel, gesamt	Ni.g				0,01	4								0,018				
Nickel, gelöst	Ni.I				0,01	3								0,01				
Blei, gesamt	Pb.g				<0,005									0,02				
Blei, gelöst	Pb.I				<0,005								<0,005	-				
Zink, gesamt	Zn.g				0,0	7								0,05				
ink, gelöst	Zn.l				<0,05								<0,05					
östrogen wirksame Stoffe	A-YES	0,04	4 0,04	45 0,02		6 0,065	0,0	59 0,14	1 0	),1 0,1	1	0,11	0,1	0,078	0,088	0,07	79 0,03	0,065
Koloniezahl (44h, 20 Grad)	BAK20													4500				
(oloniezahl (44 Std, 36 Grad)	BAK36													4800				
Coliforme Keime gesamt (MPN)	COLIFn													14700				
. coli (MPN)	ECOLIn													430				
Aclonifen	595M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Machlor	180M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ametryn	517M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Atrazin	186M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Atrazin-2-hydroxy	562M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Atrazin-desethyl-2-hydroxy	563M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Atrazin-desisopropyl-2-hydroxy	565M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05

1-	1						1											
Bentazon	191M3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		0,1	0,1	0,02	0,02 <0,02	<0,02		0,02 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Bifenox	597M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Bromacil	192M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Bromoxynil	282M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Buturon	518M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Carbetamid	193M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Chloramben	196M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Chlorfenvinphos	569M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Chloridazon	197M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Chloridazon-Desphenyl	519M1		0,49	0,34	0,18	0,15	0,22	0,22	0,14	0,2	0,14	0,19	0,22	0,22	0,12	0,14	0,15	0,12
Chloridazon-Desphenyl-Methyl	520M1		0,08	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Chloroxuron	351M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
PA	492M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
hlorpyrifos	567M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
hlorthal-dimethyl	591M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
hlortoluron	200M1		0,06 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Clomazon	572M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
lopyralid	201M3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		0,02	0,02 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02		0,02 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
yanazin	202M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
ybutryn (Irgarol)	538M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
,4-D	203M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
,4-DB	283M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
esethylatrazin	277M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
esethylterbuthylazin	338M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
esisopropylatrazin	287M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Desmetryn	521M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Diazinon	205M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dicamba	206M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dichlobenil	207M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
,6-Dichlorbenzamid	502M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
,4-Dichlorbenzoesäure	541M3		0,02	0,02	0,06 <0,02		0,02	0,02 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
ichlorprop	208M3	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Dichlorvos	586M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Diclofop-methyl	596M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethenamid	573M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,00	0,06 <0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethomorph	617M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethylsulfamid	532M1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
iuron	217M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
poxiconazol	574M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
thidimuron	522M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
thofumesat	459M3	<0,03	<0,02	<0,02	<0,02	.5,65	0,11	0,1	0,02	0,02 <0,02	<0,02	<0,03	<0,03	<0,03	<0,02	<0,03	<0,02	
enbendazol	537M1	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0.05	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	
enoprop	284M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
enoxaprop-P	598M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
enpropidin	523M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
· ·	224M1	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	
enpropimorph	224W1 226M3	<0,05	<0,05	<0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05 <0,05	<0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
luazifop-p-butyl																		
Flubendazol	534M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Flufenacet	577M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	

		_								1			1	_					_		
Fluroxypyr	227M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,02	<0,02	_	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Flurtamon	460M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Haloxyfop	228M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Hexazinon	229M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	•	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Imidacloprid	571M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
loxynil	285M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	•	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Isoproturon	231M1		0,09	0,07 < 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Lenacil	535M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Linuron	234M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
MCPA	236M3		0,08	0,07 < 0,02	<0,02		0,04	0,04	C	0,03 <0,02		<0,02	<0,02		0,06 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		
Mecoprop (=MCPP)	237M3	<0,02	<0,02		0,02 <0,02		0,02	0,02 <	0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		
Metalaxyl	239M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metamitron	337M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,2	0,24 <	0.05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metazachlor	241M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metconazol	576M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Methabenzthiazuron	242M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metobromuron	247M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metolachlor	248M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	_	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Metoxuron	249M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05		0.05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
	250M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05 0,05			-	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05			
Metribuzin										<0,05		<0,05	-			<0,05			<0,05		
Monolinuron	330M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Monuron	251M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Napropamid	575M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Nicosulfuron	533M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Penconazol	693M1			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Pendimethalin	257M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Prometryn	278M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	•	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Propazin	262M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Propiconazol	578M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Prosulfocarb	524M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Quinclorac	592M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Quinmerac	593M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,09	0,1 <	0,02	<0,02		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Quinoxyfen	568M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Sebuthylazin	266M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Simazin	268M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Sulcotrion	536M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
2,4,5-T	286M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Tebuconazol	461M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Terbumeton	272M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Terbuthylazin	272IVI1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-0,03	0,05	0,06 <	,	10,03	0,05 <	-	<0,05	10,03	0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Terbuthylazin-2-hydroxy	566M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Terbutryn	279M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
	279M1 275M3		<0,05	<0,05					0,05 0,05			-	-		<0,05				<0,05		
Triclopyr		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05		<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			
Trifluralin	276M3	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	_	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Acridin	616M1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
1H-Benzotriazol	OC1M2		0,7	0,69	0,46	0,44	0,38	0,53		),49	0,5	0,3			0,38	0,42	0,23	0,3	0,47	0,47	
1H-Benzotriazol-4-Methyl	691M2				0,12	0,1	0,1	0,11		0,1	0,11	0,0	8 0,	1	0,1	0,08	0,08	0,1	0,17	0,18	

Coff						<0,02	<0,02	<0,02		<0,02		0,02	_	0,03 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,	12
COII	<0,1	<0,1			0,14 <0,1		0,3	0,2 <0,1		<0,1		0,34	4	0,16	0,17 < 0,1		0,19 <0,1	<0,1		0,2
OC2M3	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	2		0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
OC8M3	(	),13	0,3		0,13	0,07	0,17	0,17	0,05		0,06	0,06	5	0,07	0,15	0,12	0,09	0,11	0,09	0,15
OC5M3	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,	02
OC6M3	(	),24	0,25		0,57	0,62	0,16	0,11	0,17		0,16	0,29	9	0,28	0,18	0,14	0,14	0,15	0,2	0,28
OC7M3	(	),02	0,03		0,03	0,02	0,03	0,03	0,02		0,02	0,02	2	0,02	0,03	0,02 <0,02	<0,02		0,02	0,02
OC4M3	<0,02	<0,02			0,02 <0,02	<0,02		0,02 <0,02		<0,02	<0,02	2	<0,02		0,02 <0,02	<0,02	<0,02		0,02	0,02
OC3M3	(	),26	0,25		0,18	0,15	0,13	0,16	0,14		0,15	0,15	5	0,18	0,24	0,22	0,11	0,13	0,17	0,35
AMW14M2	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0!	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
AMW1M3	(	),02	0,03		0,07	0,04 <0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	2	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,	02
AMW15M2	(	),07	0,07		0,06	0,05 <0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0	5		0,05 < 0,05		0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
AMW10M1	<0,1	<0,1			0,06	0,06 <0,1		0,1	0,05		0,05 <0,1			0,11	0,11	0,11 <0,1	<0,05		0,06	0,06
618M1	(	),19	0,19		0,29	0,15	0,08	0,1	0,08		0,1	0,1	1	0,14	0,11	0,13	0,06	0,08	0,13	0,12
AMW23M2	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,	2
AMW3M3	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
AMW25M2	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	)5
AMW4M3	(	),24	0,33		0,17	0,13	0,1	0,13	0,07		0,08	0,07	7	0,12	0,13	0,14	0,05	0,07	0,09	0,1
612M3	(	),03	0,04		0,02 <0,02		0,03	0,03 <0,02		<0,02		0,02	2	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
AMW19M2	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		<0,2	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,	2
AMW5M3	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0!	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
692M1					0,76	0,53	0,4	0,58	0,42		0,48	0,25	5	0,38	0,35	0,57	0,23	0,35	0,41	0,43
AMW6M3	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0!	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
AMW7M3	(	0,03	0,03		0,03 <0,02		0,02	0,02 <0,02		<0,02	<0,02	2	<0,02		0,02 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,	02
AMW8M3	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		0,08	0,09	0,05		0,05 <0,05	5	<0,05	<0,05	<0,05		0,13	0,13 <0,05	<0,	05
AMW24M1					0,56	0,2	0,53	0,58	0,3		0,31	0,19	9	0,22	0,48	0,22	0,11	0,13	0,13	0,17
AMW16M2	(	),18	0,19		0,12	0,1	0,12	0,16	0,11		0,12	0,05	5	0,08	0,1	0,12	0,05	0,08	0,09	0,1
AMW9M3	(	0,06	0,07		0,04 <0,02		0,02	0,03	0,02		0,02 <0,02	2		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
AMW2M1	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,0	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	05
AMW26M2	<0.05			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05			<0.05	5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.	05
AMW27M2	<0.05	.,	0.21	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	5	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.	05
		<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05						<0.05				<0.05			
	-,	<0,2		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		<0,2	-,		<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		
-		<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05					<0,05	<0,05	-,-	0,05 <0,05	<0,05	<0,05		
	-,	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		-,	-,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
		<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
	-,	-,		-,	-,	.,	.,	-,		-	-,		-,				-,	-,,		
				<0.2	<0.2												<0.2			
	,	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05		<0.05		-,			<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05		
RKM5M2	-,	-,,		.,	0.45	0.26 < 0.2	<0.2	.,,,,		.,	-,		-,	0.4	0.25		.,	0.23	0.28	0.25
-		, -			-, -	-,,		0.6	-					-,	-, -		<0.2	-, -	-, -	-, -
		, -				-, -		-,-	5,0					-, -						
		,	,		5,75	-, -	-,	-,,	0.29		-,	-,-		-,,	٠٠,٧	-,		10,2	-,	0,26
-				-0,2	0.22	/	-, -	-,	-, -	<0.2	3,11				<0.2			<0.2		
	OC5M3 OC6M3 OC6M3 OC7M3 OC6M3 OC7M3 OC4M3 OC3M3 AMW14M2 AMW19M1 AMW15M2 AMW15M1 AMW25M2 AMW3M3 AMW25M2 AMW4M3 612M3 AMW5M3 692M1 AMW6M3 AMW7M3 AMW7M3 AMW26M2 AMW9M3 AMW26M1 AMW26M2 AMW2M1 AMW26M2 AMW17M1 AMW26M2 AMW11M1 AMW26M2 AMW11M1 AMW20M2 AMW11M1 AMW20M2 AMW11M1 AMW21M1 AMW31M1 AM	OC5M3	OC5M3         <0,02	OC5M3	OC5M3         <0,02	OC5M3	OCSM3	OCEMIS   0,02	Coching   Coch	CCMM  COMM  COMM	Cocking	Common	Common	Common						

## 7.2 Untersuchungsergebnisse Kläranlage im Rahmen der Studie

		Nr.	1601393		1601714		1602776		1603214						1604275		1604623		
	-	Nr.	6		6		6					6					6		6
	ObjName													v Gruppenklärw					
	Probestelle													Ablauf Kläranl					
	Probenahm		22.03.2016 08:00		08:00		07:00		22.06.2016 08:00				25.07.2016		15.08.2016	15.08.2016 11:00	30.08.2016 10:00		
		Beginn Ende	08:00		08:00		07:00								11:00		10:00		
		Art												r Tagesmischpro					
										Frau Kothe						Frau Kothe F		Frau Kothe	pre
			hme oder Anal		LITEVEIDANU	Liitveibailu	Kiaiwaitei	Kiai wai tei	i i au kotile	i iau kotile	i i au Kotile	Trau Kotile	Kiaiwaitei	Kiaiwaitei	i i au Rouile	Trad Rottle T	iau kotile	TTau Kottie	
Witterung	WIT	Zui i i obciic	illine oder Andr	yerk															
Lufttemperatur		°C																	
Probentemperatur	TP	°C										7.6	8,7	7 21,6		21.1		21	L.8
arbe	FAR											,,,		farblos 1/0	n	farblos 1/0	n		1/00
Geruch	GER													geruchlos 1/		I. n. Fäkalien		geruchlos	
rübung	TRU													schwach getrül		schwach getrü	•	klar :	
chwimmstoffe	SSt																		
urchsicht	DSI	cm																	
H-Wert (Vor-Ort-Messung)	pH.vO											7,6	9,7	7 7,1		7		7	7,3
eitfähigkeit (Vor-Ort)	LF.vO	μS/cm										911				694			15
auerstoff, frei	Of	mg/l										10,7				9,2			9,2
auerstoff nach 2 Tagen	048	mg/l										-,	,	,					
Abfiltrierbare Stoffe	ABF	mg/l																	
iltrattrockenrückstand rechn.		mg/l																	
esamttrockenrückstand	TR.h	mg/l																	
esamtglührückstand	GR.h	mg/l																	
äurekapazität (pH 4.3)	kS4_3	mmol/l																	
esamthärte		Grad dH																	
Carbonathärte		Grad dH																	
MnO4-Verbrauch, homogenisiert	KMnO4.h	mg/l																	
SB, homogenisiert	CSB.h	mg/l																	
SB (ohne ATH), homogenisiert	BSB.hA	mg/l																	
OC, homogenisiert	TOC.h	mg/l										8,13	3	8,12		6,28		8,	09
tickstoff, gesamt (TNb)	TNb	mg/l																	
iesamtstickstoff, berechnet	N.g	mg/l																	
rg. geb. Stickstoff	Norg	mg/l																	
mmonium-Stickstoff	NH4-N	mg/l																	
mmonium-Stickstoff	NH4-N	mg/l										<0,1		0,2		0,2		C	),2
itrit-Stickstoff	NO2-N	mg/l										<0,10		<0,10		<0,10		<0,10	
itrat-Stickstoff	NO3-N	mg/l										3,76	5	1,5		1,48		1,	75
hosphor, gesamt		mg/l										0,18	3	0,18		0,15		0,	11
hosphor, gelöst	P.I	mg/l																	
rthophosphat-Phosphor (gelöst	o-PO4-P.f	mg/l										0,04		0,05		0,05		0,	04
ılfat	SO4	mg/l										106		126		84,8			5,6
nlorid		mg/l										97,1	l .	106		76,4		1	19
atrium		mg/l																	
alium	K	mg/l																	
alcium, gesamt		mg/l																	
alcium, gelöst	Ca.l	mg/l																	
lagnesium, gesamt	Mg.g	mg/l																	
lagnesium, gelöst	Mg.I	mg/l																	
sen, gesamt		mg/l																	
isen, gelöst	Fe.l	mg/l																	
langan, gesamt		mg/l																	
Mangan, gelöst	Mn.l	mg/l																	

Cadmium, gesamt	Cd.g	μg/l																			
Cadmium, gelöst	Cd.I	μg/l																			
Cobalt, gesamt	Co.g	mg/l																			
Cobalt, gelöst	Co.I	mg/l																			
Chrom, gesamt	Cr.g	mg/l																			
Chrom, gelöst	Cr.I	mg/l																			
Kupfer, gesamt	Cu.g	mg/l																			
Kupfer, gelöst	Cu.l	mg/l																			
Quecksilber, gesamt	Hg.g	μg/l																			
Nickel, gesamt	Ni.g	mg/l																			
Nickel, gelöst	Ni.l	mg/l																			
Blei, gesamt	Pb.g	mg/l																			
Blei, gelöst	Pb.I	mg/l																			
Zink, gesamt	Zn.g	mg/l																			
Zink, gelöst	Zn.l	mg/l																			
östrogen wirksame Stoffe	A-YES	ng/l		25	0,07			16	0,047	2	1	0,15	52	0,11	47		0,12	54	0,17	50	0,2
Koloniezahl (44h, 20 Grad)	BAK20	1/ml			-,-									-			,		,		-,
Koloniezahl (44 Std, 36 Grad)	BAK36	1/ml																			
Coliforme Keime gesamt (MPN)	COLIFn	1/100 ml																			
E. coli (MPN)	ECOLIn	1/100 ml																			
Aclonifen	595M3	μg/l		1,4	0,12	0,05 < 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	)5
Alachlor	180M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Ametryn	517M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Atrazin	186M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Atrazin-2-hydroxy	562M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Atrazin-desethyl-2-hydroxy	563M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Atrazin-desisopropyl-2-hydroxy	565M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Bentazon	191M3	μg/l	<0,02	<0,02	<0,02	,	0,02 <0,02	<0,02			2 <0,02	<0,02	<0,02			<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		
Bifenox	597M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Bromacil	192M1	μg/l	10,03	10,03	10,03	10,00	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Bromoxynil	282M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Buturon	518M1	μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Carbetamid	193M1	μg/I μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chloramben	195M3	μg/I μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chlorfenvinphos	569M1	μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chloridazon	197M1	μg/I μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chloridazon-Desphenyl	519M1	μg/I	<0,03	<0,03	<0,1	<0,0	<0,1	<0,03	<0,03		<0,03	<0,03	<0,03	<0,0		<0,03	~0,03	0,19 < 0,1	<0,03	<0,	
Chloridazon-Desphenyl-Methyl	520M1	μg/I μg/I	<0,05	<0,1	<0,05	<0,0		<0,05			<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chloroxuron	351M1	μg/I	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0.05	<0,05	<0,05	<0,05		
CPA	492M3	μg/I μg/I	<0,05	0,1 <0,05	<u,u5< td=""><td>0,09 &lt; 0,05</td><td></td><td>&lt;0,05</td><td>&lt;0,05</td><td></td><td>&lt;0,05</td><td>NU,U5</td><td>0,2 &lt;0,05</td><td>&lt;0,05</td><td>0,29</td><td>-,</td><td>0,05 &lt;0,05</td><td>&lt;0,05</td><td>NU,U5</td><td>0,08</td><td>0.06</td></u,u5<>	0,09 < 0,05		<0,05	<0,05		<0,05	NU,U5	0,2 <0,05	<0,05	0,29	-,	0,05 <0,05	<0,05	NU,U5	0,08	0.06
Chlorpyrifos	567M3	μg/I μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		.,
.,			-																		
Chlorthal-dimethyl	591M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Chlortoluron	200M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Clomazon	572M1	μg/l	<0,05	<0,05	0.00	0,29	0,08 <0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Clopyralid	201M3	μg/l	.0.05	0,02	0,03	0,02	0,02 <0,02	<0,02	<0,02		<0,02	-0.5-	0,02	0,03	0,02		0,04 <0,02	<0,02	<0,02		0,03
Cyanazin	202M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		
Cybutryn (Irgarol)	538M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,	)5

2,4-D	203M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02	<	0,02	<0,05		0,06 <0,05	<0,05		0,21 <0,05	<0,05		0,05
2,4-DB	283M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Desethylatrazin	277M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Desethylterbuthylazin	338M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,32	0,27	0,11	(	0,09 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Desisopropylatrazin	287M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Desmetryn	521M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Diazinon	205M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dicamba	206M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,02 <	0,02		0,05 <0,05		0,07 < 0,05		0,11 < 0,05	<0,05	<0,05	
Dichlobenil	207M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
2,6-Dichlorbenzamid	502M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
2,4-Dichlorbenzoesäure	541M3	μg/l		0,11	0,14	0,09	0,07	0,09	0,07	0,05	(	0,02	0,09	0,07	0,15	0,13	0,19	0,11	0,1	0,08
Dichlorprop	208M3	μg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<	0,02	<0,02	<0,02		0,11 <0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Dichlorvos	586M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Diclofop-methyl	596M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethenamid	573M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,35	0,81 <0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethomorph	617M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,1		0,19 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Dimethylsulfamid	532M1	μg/l	.,.,	.,	-,	.,	<0,2	<0,2	<0,2		0,2	<0,2	.,,,,	0,23 <0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Diuron	217M1	μg/l	< 0.05	<0,05		0.06	0.11	0,06	0.08	0.14	,	0.06	0.19	0.14	0,06	0.14	0.07	0,07 < 0,05		0,08
Epoxiconazol	574M1	μg/l	<0,05	<0,05		0,07	0,12	0,1	0,12 <0,05		0,05	<0,05	<0,05	.,=.	0,05	0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	,,
Ethidimuron	522M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05			0.05	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	
Ethofumesat	459M3	μg/l	<0,02	<0,02	3,00	0.02	0.03	0,23	0.23	0,07	-,	0,1	0.04	0,05	0,04	0,05 <0,02	<0,02	,	0,02	0,02
Fenbendazol	537M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-, -		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-,
enoprop	284M3	μg/l	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	
Fenoxaprop-P	598M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Fenpropidin	523M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	10,03	0,46 <0,05	
Fenpropimorph	224M1	μg/l	<0,05	<0,05	10,03	0,17	0,12 <0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Fluazifop-p-butyl	226M3	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Flubendazol	534M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Flufenacet	577M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	10,03	0,16	0,23 <0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	10,03	0,13 <0,05	
Fluroxypyr	227M3	μg/l	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05			0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	
Flurtamon	460M1	μg/I	<0,05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	-,,		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	
Haloxyfop	228M3	μg/I	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05		0.05	<0,05	<0.05	<0,03	0,05 <0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
Hexazinon	229M1	μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	-,		0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	
Imidacloprid	571M1	μg/I	<0.05	<0,05	\U,U3	0,2	0,11 <0,05	~0,03	0,05	0,19 <	.,	<0,05	<0,05	~0,05	0,05	0,1 <0,05	<0,05	NU,U3	0,06	0,13
loxynil	285M3	μg/I	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	3,13
Isoproturon	231M1	μg/I	<0,05	\U,U3	0,05	1,8	0,57	0,06	0,06	0,05 <		\U,U3	0,13	0,25	0,08	0,07 <0,05	<0,05	NU,U3	0,05	0,06
Lenacil	535M1	μg/I	~0,03		0,03	1,0	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,00
Linuron	234M1	μg/I μg/I	<0.05	<0.05			<0.05	<0.05			0.05	<0.05	<0.05	<0,05	NU,05	0,23 <0,05	<0.05	<0.05	<0.05	
MCPA	234WII 236M3	μg/I	~0,03	0,04	0,04	0,81	0.45	0,22	0,27	0,74	-,	0,06	0,2	0,18	0,39	0,23 <0,03	0,54	0,06	0,08	0,12
Mecoprop (=MCPP)	230IVI3 237M3	μg/I μg/I		0.04	0,04	0.09	0,45	0,22	0,27	0,74		0.04	0,2	0,18	0,39	0,23	2.6	0,06	0,08	1,1
Metalaxyl	237IVI3 239M1	μg/I μg/I	<0,05	<0,04	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		:0,05	<0,04	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,1
,							<0,05	1,5	1.5	0,14		0,26 <0,05	<0,05							
Metamitron	337M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.0F	-					<0.0F	0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Metazachlor	241M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Metconazol	576M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Methabenzthiazuron	242M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Metobromuron	247M1	μg/l	<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05		0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Metolachlor	248M1	μg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	

Metoxuron	249M1	μg/l	<0,05	<0,	05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Metribuzin	250M1	μg/I	<0,03	1.1	1,		0.65	0.27	0.18	0.72	0.78	-0,05	0.07	0.06	0.12 < 0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	~0,05	0.07
Monolinuron	330M1	μg/l	<0,05	<0,		,	0,03	<0,05	<0,05	<0,05	-,-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,07
Monuron	251M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Napropamid	575M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Nicosulfuron	533M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Penconazol	693M1	μg/l	,	,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Pendimethalin	257M1	μg/l	<0,05	<0,	05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Prometryn	278M1	μg/l	<0.05	<0,		<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0.05	<0,05	
Propazin	262M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Propiconazol	578M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	.,	0,06 <0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Prosulfocarb	524M1	μg/l	,	23	9.		0.17	0.21	0,16	0,12 <0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Quinclorac	592M3	μg/l	<0,05	<0,	/	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Quinmerac	593M3	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,02		<0,02	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Quinoxyfen	568M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
ebuthylazin	266M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Simazin	268M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	-0,03	0,14	0,23 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Sulcotrion	536M1	μg/l	<0.05	<0.		<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	
2,4,5-T	286M3	μg/l	<0,05	<0.		<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05	
Febuconazol	461M1	μg/l	<0,05	<0,		12,03	0,33	0.64	0,25	0,27	0,08	,	0,08	0,05	0,05 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	10,03	0,05 <0,05	
Terbumeton	272M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05		<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Terbuthylazin	273M1	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	12,03	0,22	0,25	0,09	.,	0,18 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Ferbuthylazin-2-hydroxy	566M1	μg/l	<0,05	<0,		,	0,06	0,08	0,09	0,08	0,14		0,15 <0,05	,	0,05 <0,05		0,07 <0,05		0,06 <0,05	,	0,05
Terbutryn	279M1	μg/l	,	0.09	0.0	5	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09		0.1	0.1	0.11	0.06	0.1	0.07	0.09	0.09	0.06
riclopyr	275M3	μg/l	<0,05	<0,	-,-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-,	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-,
Frifluralin	276M3	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Acridin	616M1	μg/l	<0,05	<0,		,	0,06	0,13 <0,05		<0,05		<0,05	<0,05	.,,,,,,	0,05 <0,05		0,05 <0,05	<0,05	<0,05	,	0,07
IH-Benzotriazol	OC1M2	μg/l	.,	17	7,	R	31	12	4	3,8	16	.,	3,7	12	5,4	14	7,2	18	4.8	18	7.9
IH-Benzotriazol-4-Methyl	691M2	μg/l				-	2,7	2,4	0,38	0,47	1,2		0,71	0,86	0,73	0.74	0.76	2,9	1,1	3,2	2,4
Bisphenol A	OC9M3	μg/l	<0.02	<0.	02		0.03 < 0.02	-	0,18	0.09	0.05		0.04	0.02 < 0.02	-,	0.02 < 0.02	.,	0.12 < 0.02	<0.02	<0,02	
Coffein	Coff	μg/l		170 <0.			180	0,2	22 <0.1	-,,,,	95 <	<0.1	-,	140	0,12	120 <0,1		160 < 0.1	-,	160 < 0.1	
DEET	OC2M3	μg/l		0,36	0,2	4	0,21	0,05	0,08	0,09	0,14	•	0,04	0,48	0,26	1,5	0,69	0,9	0,22	0,77	0,21
ннсв	OC8M3	μg/l		2,6	2,		1,1	2,2	1,2	1,3	1,6		0,89	2	1,6	1,9	1,6	1,2	1,2	2,1	1,5
Triclosan	OC5M3	μg/l		0,03 <0,			0,04	0,05	0,05	0,03	0,07		0,03	0,09	0,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02
Friphenylphosphinoxid	OC6M3	μg/l		0,04		3 <0,02	<0,02		0,04	0,03	0,07		0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,16	0,05	0,04
ГОСРР	OC7M3	μg/l		0,31	0,3	,.	0,67	0,4	0,18	0,16	0,14		0,16	0,33	0,28	0,29	0,28	0,23	0,1	0,27	0,15
TCEP	OC4M3	μg/l		0,17	0,1		0,16	0,21	0,21	0,2	0,13		0,14	0,21	0,2	0,31	0,25	0,11	0,07	0,25	0,2
ТСРР	OC3M3	μg/l		2,7	3,		3,2	2,2	0,99	1,1	1,4		0,97	2,4	2,6	3,4	2,8	2	1,2	3,1	1,7
Atenolol		μg/l		0,68	0,1		0,87	0,18	0,1	0,11	0,56		0,16	0,98	0,37	0,81	0,3	0,59	0,17	0,68	0,21
Bezafibrat	AMW1M3	μg/l		0.76	0,3		1,2	0,2	0,17	0.06	0.92		0.04	0,91	0.05	0,71	0.04	0.45	0.02	1,4	0,06
Bisoprolol		μg/l		0,86	2,		1	1,8	0,23	0,34	0,86		0,34	1,2	0,92	1,5	0,91	0,42	0,16	0,1	0,68
Carbamazepin		μg/l		1,5	1,		1,6	1,6	0,23	0,32	0,71		0,38	1,1	1,3	0,96	1,2	1,2	0,77	1,5	1,4
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	618M1	μg/l		1.9	2,		2,2	1,8	1,2	0.79	2,8		0.98	1,8	1,9	1,5	2,3	2,5	1.3	0,3	2.4
Clarithromycin		μg/l		0.58	0,3		0.83	0,61 <0,2	<0,2	.,	0,29 <	<0.2	-,	0,71	0,37	0.7	0.34	0,22 <0,2	-,-	0,49 <0,2	-, .
Clofibrinsäure	AMW3M3	μg/l	<0,05	<0,		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Diazepam	AMW25M2	μg/l	<0,05	<0.		<0,05	<0.05	<0,05	<0,05	<0.05		<0.05	<0,05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	<0.05	<0,05	
Diclofenac	AMW4M3	μg/l	10,03	4,8	5,		6,9	3,8	0,96	0,86	2,5	_,00	1.1	4.1	3,6	5,9	4	3.6	1,9	5,2	4,1

4-Hydroxy-diclofenac	612M3	μg/l		0,09		0,06	0,81	0,46	0,2	0,19	0,4		0,23	0,48	0,19	0,3	31	0,13	0,91	0,13	0,95	0,1
Erythromycin	AMW19M2	μg/l		0,66		1	1,2	0,86 <0,2	<0,2		0,69		0,21	7,7	5,5	0,4	18	0,4 <0,2	<0,2		0,3	0,22
Fenoprofen	AMW5M3	μg/l	<0,05		<0,05	<0,0	5 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	· <	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Gabapentin	692M1	μg/l					21	15	4,3	4,5	22		4,7	13	4,4	- :	22	7,1	28	4	24	2
Gemfibrozil	AMW6M3	μg/l	<0,05		<0,05	<0,0	5 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Ibuprofen	AMW7M3	μg/l		22		0,04	17 <0,02		6,2	0,14	8,6 <0	0,02		13 <0,02	!	:	L7	0,05	25	0,04	15	0,02
Iminostilben	AMW8M3	μg/l		1,9		0,68	6,2	1,6	0,83	0,47	2,6		1,2	1,4	0,67	1	,2	0,35	4,1	0,95	1,6	0,53
Metformin	AMW24M1	μg/l							49	3	240		1,1	320	0,66	32	20	0,97	370	0,59	230	0,71
Metoprolol	AMW16M2	μg/l		3,3		4,6	4,3	3,7	0,8	0,79	3,2		0,94	1,5	1,1		3	2,4	4	1,9	3,8	2,7
Naproxen	AMW9M3	μg/l		2,6		0,32	2,8	0,26	0,58	0,13	1,5		0,14	2,2	0,19	2	,3	0,21	1,9	0,11	2,5	0,26
Pentoxifyllin	AMW2M1	μg/l	<0,05		<0,05	<0,0	5 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Phenacetin	AMW26M2	μg/l	<0,05		<0,05	<0,0	5 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Phenazon	AMW27M2	μg/l		0,3		1,8	0,26	1,7	0,11	0,15	0,21		0,3	0,07	0,15	0,0	)7	0,83	0,07	0,21	0,1	0,8
Propranolol	AMW17M2	μg/l		0,11		0,14	0,14	0,14 < 0,05	<0,05		0,07 <0	0,05		0,12	0,09	0,3	1	0,09	0,13	0,07	0,11	0,1
Roxithromycin	AMW20M2	μg/l		0,26	<0,2		0,63	0,27 <0,2	<0,2		0,26 <0	0,2	<0,2	<0,2		0,3	32 <0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Sotalol	AMW18M2	μg/l		0,32		0,47	0,44	0,4	0,06	0,09	0,19		0,08	0,38	0,31	0,4	11	0,39	0,39	0,2	0,34	0,31
Sulfadiazin	AMW11M1	μg/l	<0,05		<0,05		0,09 < 0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05		0,58	0,22 <	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Sulfadimidin	AMW12M1	μg/l	<0,05		<0,05	<0,0	5 <0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<(	0,05	<0,05	<0,05	<	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Sulfamethoxazol	AMW13M1	μg/l		1,3		0,62	1,4 <0,05	<0,05	<0,05		0,96		0,06	0,65	0,4	0,3	34	0,11	0,36	0,11	0,86	0,33
Tetracyclin	AMW22M2	μg/l		0,25	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<(	0,2	<0,2	<0,2		0,5	64 <0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Trimethoprim	AMW21M2	μg/l		0,41		0,54	0,5	0,35	0,06 <0,05		0,25 <0	0,05		0,09 <0,05		0,0	0,05		0,15 <0,05		0,17 < 0,05	
Amidotrizoesäure	RKM5M2	μg/l		15		12	18	16	2,4	3,9	7,6		4,7	1,9	12	7	,8	11	16	7,3	8,2	10
Iohexol	RKM1M2	μg/l		7,7		2,9	12	9,5	0,55	0,85	2,3		1,9	14 <0,2		1	,3	0,29	2,6 <0,2		7,3	0,96
Iomeprol	RKM2M2	μg/l		1		1,8	0,9	2	2,3	1,7	15		2,2	7,5	2,5	0,7	76	0,92	0,67	0,39	4,3	0,32
Iopamidol	RKM3M2	μg/l		4,8		8,7	26	29	3,6	7,2	9,5		11	36	48	3	,6	11	8	8,8	26	20
Iopromid	RKM4M2	μg/l		5,6		1,4	0,43	1,2	1	0,82 <0,2	<(	0,2	<0,2		0,58	0,3	39 <0,2		5,8 <0,2		2,2 <0,2	

## 7.3 Eliminationsraten Kläranlage

Eliminationsraten

	Eliminationsra							
	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	30.08.2016
östrogen wirksame Stoffe	100%	001	100%	99%	100%	100%	100%	100%
Aclonifen	91%	0%		00/				
Bentazon CPA	50%	0% 44%		0% 17%	75%	83%		25%
Clomazon	30%	72%		1770	73%	63%		23%
Clopyralid	-50%	0%			-50%	-100%		-50%
2,4-D	-50%	070			-20%	-100/0	76%	-30%
Desethylterbuthylazin			16%	18%	2070		70,0	
2,4-Dichlorbenzoesäure	-27%	22%	22%	60%	22%	13%	42%	20%
Dimethenamid		·	-131%					
Dimethomorph				-90%				
Diuron		-83%	-33%	57%	26%	-133%	0%	-60%
Epoxiconazol		-71%	-20%			0%		
Ethofumesat		-50%	0%	-43%	-25%	-25%		0%
Fenpropimorph		29%						
Flufenacet			-44%					62%
Imidacloprid		45%	0%	74%		-100%		-117%
Isoproturon	0%	68%	0%	0%	-92%	13%		-20%
Linuron						-360%		
MCPA	0%	44%	-23%	92%	10%	41%	89%	-50%
Mecoprop (=MCPP)	-25%	-11%	-25%	43%	-188%	71%	87%	-244%
Metamitron	1		0%	-86%	0%			
Metribuzin	-55%	58%	-300%	91%	-100%			-40%
Prosulfocarb	60%	-24%	25%					
Simazin		0.40/	20/	20/	-64%			004
Tebuconazol		-94%	-8%	0%	0%			0%
Terbuthylazin		-33%	-14% 11%	-100% -7%	0%	-40%	-20%	0%
Terbuthylazin-2-hydroxy Terbutryn	44%	-33%	0%	-11%	-10%	-40%	-20%	33%
Acridin	4470	-117%	0/6	-11/6	0%	0%	-23/6	-40%
1H-Benzotriazol	54%	61%	5%	77%	55%	49%	73%	56%
1H-Benzotriazol-4-Methyl	5470	11%	-24%	41%	15%	-3%	62%	25%
Bisphenol A		33%	50%	20%	0%	0%	83%	257
Coffein	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
DEET	33%	76%	-13%	71%	46%	54%	76%	73%
ННСВ	8%	-100%	-8%	44%	20%	16%	0%	29%
Triclosan	33%	-25%	40%	57%	56%	60%	0%	71%
Triphenylphosphinoxid	25%		25%	57%	0%	0%	-220%	20%
TDCPP	-16%	40%	11%	-14%	15%	3%	57%	44%
TCEP	-12%	-31%	5%	-8%	5%	19%	36%	20%
TCPP	-15%	31%	-11%	31%	-8%	18%	40%	45%
Atenolol	74%	79%	-10%	71%	62%	63%	71%	69%
Bezafibrat	53%	83%	65%	96%	95%	94%	96%	96%
Bisoprolol	-156%	-80%	-48%	60%	23%	39%	62%	-580%
Carbamazepin	7%	0%	-39%	46%	-18%	-25%	36%	7%
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	-32%	18%	34%	65%	-6%	-53%	48%	-700%
Clarithromycin	47%	27%		31%	48%	51%	9%	59%
Diclofenac	-10%	45%	10%	56%	12%	32%	47%	21%
4-Hydroxy-diclofenac	33%	43%	5%	43%	60%	58%	86%	89%
Erythromycin	-52%	28%	F0.	70%	29%	17%	0001	27%
Gabapentin	40001	29%	-5%	79%	66%	68%	86%	92%
Ibuprofen Iminostilhan	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%
Iminostilben Metformin	64%	74%	43% 94%	54% 100%	52% 100%	71% 100%	77% 100%	67% 100%
Metoprolol	-39%	14%	1%	71%		20%	53%	29%
Naproxen	-39% 88%	91%	78%	71% 91%	27% 91%	91%	94%	90%
Phenazon	-500%	-554%	-36%	-43%	-114%	-1086%	-200%	-700%
Propranolol	-300%	0%	-30/0	29%	25%	18%	46%	9%
Roxithromycin	23%	57%		23%	23/0	38%	40/0	3/1
Sotalol	-47%	9%	-50%	58%	18%	5%	49%	9%
Sulfadiazin		44%	50,0	3570	62%	5,0	.5,0	3/1
Sulfamethoxazol	52%	96%		94%	38%	68%	69%	62%
Trimethoprim	-32%	30%	17%	80%	44%	38%	67%	719
Amidotrizoesäure	20%	11%	-63%	38%	-532%	-41%	54%	-22%
Iohexol	62%	21%	-55%	17%	99%	78%	92%	87%
Iomeprol	-80%	-122%	26%	85%	67%	-21%	42%	93%
Iopamidol	-81%	-12%	-100%	-16%	-33%	-206%	-10%	23%

# 8 Anhang B – Investitionen

## 8.1 Investitionen Variante 1

			I	I
PAK-Dosierung in die Belebung				
	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen				
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)				1.980,00€
Fundamentplatte für PAK-Silo				20.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	100	m²	130,00€	13.000,00€
Zwischensumme baulich netto				34.980,00€
Maschinelle Maßnahmen				
PAK-Silos (V = 80 m³) inkl. Dosiereinheiten und isolierter Standzage				230.000,00€
Verrohrung				25.000,00€
Ertüchtigung der Nachklärung				150.000,00€
Summe maschinell netto				405.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				121.500,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				121.500,00€
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)				11.229,60€
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				84.222,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)				5.614,80€
Summe Nebenkosten netto				101.066,40€
Gesamtkosten netto				662.546,40€
+ 19 % Mehrwertsteuer				125.883,82€
Zwischensumme brutto				788.430,22€

#### 8.2 Investitionen Variante 2

PAK-Dosierung in Kontaktbecken				
PAR-DOSIEI UIIG III KOIITAKEDEEKEII	Menge	Einhoit	Finzalprois [Fura]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen	ivierige	Ellilleit	Ellizerpreis (Euro)	desamilpreis netto [Euro]
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)				56.190,00€
Vorbereitende Arbeiten:				30.190,00 €
Baufeldräumung				20.000,00€
Herstellung der Rohrleitungsanschlüsse (vorh. Ablaufleitung zum Trennbauwerk)				20.000,00€
Herstellung Trennbauwerk inkl.Erdarbeiten, Rohrleitungsanschlüssen, Schlosserarbeiten	60	m³	600,00€	36.000,00€
-				
Pumpenschacht für Zwischenhebewerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten Kontaktbecken I, II und III, Stahlbetonbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und	100	m³	450,00€	45.000,00€
Schlosserarbeiten	600.0	m³	300,00€	180.000,00€
Fundamentplatte PAK Silo und Dosieranlage	000,0		300,000 €	12.000,00€
Sedimentationsbecken, Stahlbetonrundbecken inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und				121000,000
Schlosserarbeiten	1550,0	m³	280,00€	434.000,00€
Pumpenschacht für Rezirkulationspumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und				
Schlosserarbeiten	120,0	m³	450,00€	54.000,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 450	80	lfdm	400,00€	32.000,00€
DN 400	90	lfdm	350,00€	31.500,00€
Leerrohre	170	m	100,00€	17.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	500	m²	100,00€	50.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen				5.000,00€
Zwischensumme baulich netto				992.690,00€
Maschinelle Maßnahmen				
Zwischenpumpwerk:				
3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				60.000,00€
Rohrleitungen, Armaturen				60.000,00€
Ausrüstung Kontaktbecken:				
3 Rührwerke				36.000,00€
PAK-Silo (V = 80 m³) inkl. Dosiereinheiten und isolierte Standzage und verbindender				·
Rohrleitungen				245.000,00€
Fällmittel und FHM Dosieranlagen				10.000,00€
Ausrüstung Sedimentationsbecken:				
Räumerbrücke				90.000,00€
Ablaufrinne				35.000,00€
Rückführpumpwerk:				
3 Pumpen, Trockenaufstellung				60.000,00€
Rohrleitungen, Armaturen				30.000,00€
Schlammpumpwerk:				
2 Pumpen, Trockenaufstellung				40.000,00€
Rohrleitungen, Armaturen				30.000,00€
Summe maschinell netto				696.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				208.800,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				208.800,00€
• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	1			
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)				37.949,80€
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				284.623,50€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)	1			18.974,90 €
Summe Nebenkosten netto	1			341.548,20 €
				312.515,20 €
Gesamtkosten netto	<u> </u>			2.239.038,20€
+ 19 % Mehrwertsteuer	1			425.417,26€
Zwischensumme brutto	1			2.664.455,46 €
	1	<u> </u>	L	2.004.433,46 €

#### 8.3 Investitionen Variante 3

Ozonung				
Ozonang	14	Cialcate	Cincolonoia (Conol	Constitution of the [Figure]
Bauliche Maßnahmen	Menge	Einneit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)				33.870,00€
Vorbereitende Arbeiten:	-			
Baufeldräumung				20.000,00€
Herstellung der Rohrleitungsanschlüsse (vorh. Ablaufleitung zum Trennbauwerk)				20.000,00€
Herstellung Trennbauwerk inkl.Erdarbeiten, Rohrleitungsanschlüssen, Schlosserarbeiten	60	m³	600,00€	36.000,00€
Pumpenschacht für Zwischenhebewerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	100	m³	450,00€	45.000,00€
Ozonkontaktbecken zweistraßig, Stahlbetonbecken einschl Zu- und Ablaufrinnen inkl.				
Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	700,0	m³	400,00€	280.000,00€
Fundamentplatten für Maschinencontainer, Sauerstofftank und Verdampferanlage				35.000,00€
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,				33333,533
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
DN 450	85	lfdm	400,00€	34.000,00€
DN 400	90	lfdm	350,00€	31.500,00€
Leerrohre	180	m	100,00€	18.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	400	m²	100,00€	40.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen				5.000,00€
Zwischensumme baulich netto				598.370,00€
				,
Maschinelle Maßnahmen				
Zwischenpumpwerk:				
3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				60.000,00€
Rohrleitungen, Armaturen				60.000,00€
Ozonkontaktbecken:				
4 Absenkrinnenschieber mit E-Antrieb				30.000,00€
Ozonanlage bestehend aus 2 Ozongeneratoren, Keramikdiffusoren, Kühlwassersystem und				,
Restozonvernichter inkl. Messtechnik und Schaltanlage und Maschinencontainer				760.000,00€
Summe maschinell netto				910.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik	-			
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 15 % der Kosten der Maschinentechnik *				136.500,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				136.500,00€
Baunebenkosten				
Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)				32.897,40€
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				246.730,50€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)				16.448,70€
Summe Nebenkosten netto				296.076,60€
Gesamtkosten netto				1 040 045 50 5
+ 19 % Mehrwertsteuer	+			1.940.946,60€
	+			368.779,85€
Zwischensumme brutto				2.309.726,45€

<sup>\*</sup> EMSR-Technik teilweise in den maschinellen Maßnahmen enthalten

#### 8.4 Investitionen Variante 4.1

Boulick Midnahmen	CAN Filmed and		ı		
Saute   Saut	GAK-Filtration				
Saustile Reinfrichtung (6 % der Baukosten)		Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Vorbereinde Arbeiten:					
Baufeldräumung					55.125,00€
Herstellung der Rohrletungsanschlüsse (vorh. Ablaufleitung zum Trennbauwerk)					
Herstellung Trennbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungsanschlüssen, Schlosserarbeiten					,
Pumpenschacht für Zwischenhebewerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten   100 m²   450,000   450,000   560,000,000   560,0					
GAK-Filtrebecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu und Ablaufgerinne, Rohrkanal, Inkl. Fridarbeiten, Rohrie taungen und Schlosserarbeiten   100,0 m²   400,000   560,000,000	Herstellung Trennbauwerk inkl.Erdarbeiten, Konrieitungsanschlussen, Schlosserarbeiten	60	m³	600,00€	36.000,00€
Pumpenhaus für Spülpumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten  Rückspülwasservorlage inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten  80 m² 350,000 282,000,00	Pumpenschacht für Zwischenhebewerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten GAK-Filterbecken, Stahlbetonbecken einschl. Zu- und Ablaufgerinne, Rohrkanal, inkl.	100	m³	450,00€	45.000,00€
Rückspülwasservorlage inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten   80 m²   350,00 €   28,000,00 €	Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	1400,0	m³	400,00€	560.000,00€
Spullwasserspeicher inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten   80 m²   350,00 €   28,000,00 €	Pumpenhaus für Spülpumpwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	150	m³	450,00€	67.500,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten	Rückspülwasservorlage inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m³	350,00€	28.000,00€
DN 450   70   16m	Spülwasserspeicher inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungen und Schlosserarbeiten	80	m³	350,00€	28.000,00€
DN 400	Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
Leerrohre	DN 450	70	lfdm	400,00€	28.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	DN 400	75	lfdm	350,00€	26.250,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen   5.000,00 €   273.875,00 €   373.875,00 €	Leerrohre	150	m	100,00€	15.000,00€
Maschinelle Maßnahmen	Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	400	m²	100,00€	40.000,00€
Maschinelle Maßnahmen	Landschaftspflegerische Maßnahmen				5.000,00€
Zwischenpumpwerk:       3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       60,000,00 €         Rohrleitungen, Armaturen       40,000,00 €         GAK-Filterbecken:       1         6 Filterböden à 25,5 m²       100,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       84,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60,000,00 €         Rückspülanlagen:       2 Spülvasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50,000,00 €         2 Spüllufgebläse       9,000,00 €         Spüllufgebläse       40,000,00 €         Spüllufgebläse       9,000,00 €         Spüllufgebläse       2,000,00 €         Spüllufgebläse       9,000,00 €         Summe maschinell netto       169,200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169,200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169,200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t	Zwischensumme baulich netto				973.875,00€
Zwischenpumpwerk:       3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       60,000,00 €         Rohrleitungen, Armaturen       40,000,00 €         GAK-Filterbecken:       1         6 Filterböden à 25,5 m²       100,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       84,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60,000,00 €         Rückspülanlagen:       2 Spülvasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50,000,00 €         2 Spüllufgebläse       9,000,00 €         Spüllufgebläse       40,000,00 €         Spüllufgebläse       9,000,00 €         Spüllufgebläse       2,000,00 €         Spüllufgebläse       9,000,00 €         Summe maschinell netto       169,200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169,200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169,200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t					
3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve 60.000,00 € Rohrleitungen, Armaturen 60.000,00 € Rohrleitungen, Armaturen 50 100.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung 84.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung 84.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung 60.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung 60.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung 60.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen 70.000,00 € Rohrleitungen und Armaturen 70.000,00 € Rohrleitungen (rohrleitungen, Armaturen 70.000,00 € Rohrleitung, Armaturen	Maschinelle Maßnahmen				
Rohrleitungen, Armaturen       60.000,00 €         GAK-Filterbecken:       100.000,00 €         Filterböden à 25,5 m²       100.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       60.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60.000,00 €         Rückspülanlagen:       25 pülluftgebläse         25 pülluftgebläse       30.000,00 €         Rohrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülluftgebläse       50.000,00 €         Rohrleitungen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       32.06.81,25 €         Ingenieurleistungen (rd. 1% der Investitionskosten)       23.06.81,25 €         Geramtkosten netto       22.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Zwischenpumpwerk:				
GAX-Filterbecken:       6 Filterböden à 25,5 m²       100,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       84,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60,000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60,000,00 €         Rückspülanlagen:       2 Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50,000,00 €         2 Spülluftgebläse       30,000,00 €         Rohrleitungen und Armaturen       40,000,00 €         Spülusserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20,000,00 €         Summe maschinell netto       564,000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169,200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169,200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169,200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1,200,00 €         Baunebenkosten       34,111,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34,111,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       15,378,75 €         Summe Nebenkosten netto       220,681,25 €         Gesamtkosten netto       2,115,868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402,015,02 €         Gesamtkosten brutto       2,517,883,52 €	3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				60.000,00€
6 Filterböden à 25,5 m²       100.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       84.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60.000,00 €         Röhrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60.000,00 €         Rückspülanlagen:       9.000,00 €         2 Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50.000,00 €         2 Spülufürgebläse       30.000,00 €         Röhrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Röhrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €         Baunebenkosten       31.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       31.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       220.201,50 €         41 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517,883,52 €	Rohrleitungen, Armaturen				60.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung       84.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60.000,00 €         Rückspülanlagen:       2         2 Spüllungserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50.000,00 €         2 Spüllungehläse       30.000,00 €         Rohrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       9       34.141,50 €       128.592,00 €         Bungenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       34.141,50 €       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       402.015,02 €       25.517,883,52 €         Gesamtkosten brutto       2.517,883,52 €	GAK-Filterbecken:				
Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung       60.000,00 €         Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60.000,00 €         Rückspülanlagen:       2 Spülusseserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50.000,00 €         2 Spülluftgebläse       30.000,00 €         Rohrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €       1.378,75 €       1.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       2.115.868,50 €       1.5378,75 €       1.5378,75 €       1.5378,75 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €       1.538,50 €	6 Filterböden à 25,5 m²				100.000,00€
Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung       60.000,00 €         Rückspülanlagen:       50.000,00 €         2 Spülluftgebläse       30.000,00 €         Röhrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €       19.06.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €       50mme Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €       +19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €       66esamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung				84.000,00€
Rückspülanlagen:       50.000,00 €         2 Spülvasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve       50.000,00 €         2 Spülluftgebläse       30.000,00 €         Röhrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Röhrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Baunebenkosten       107,2 t       1.200,00 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung				60.000,00€
2 Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve 30.000,00 € 2 Spülluftgebläse 30.000,00 € Rohrleitungen und Armaturen 40.000,00 € Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen 20.000,00 € Summe maschinell netto 564.000,00 €  Elektroausrüstung und MSR-Technik EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik 169.200,00 €  Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto 169.200,00 €  Erstbefüllung GAK Filter 107,2 t 1.200,00 €  Baunebenkosten 400,00 €  Baunebenkosten 500,00 €  Baunebenkosten 500,00 €  Baunebenkosten 600,00 €  Baunebenkosten 700,00 €  Baunebenkosten 700,00 €  Baunebenkosten 700,00 €  Baunebenkosten 800,00 €  Baunebenkosten 800,00 €  Baunebenkosten 100,00 €  Baunebenkosten 800,00 €  Baun	Rohrleitung, Armaturen für Klarwasserableitung				60.000,00€
2 Spülluftgebläse Rohrleitungen und Armaturen Rohrleitungen und Armaturen Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen Somme maschinell netto  Elektroausrüstung und MSR-Technik EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik Tenstensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto Tenstehensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik Tenstehensumme Elektroau	Rückspülanlagen:				
Rohrleitungen und Armaturen       40.000,00 €         Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107.2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €       107.2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €       107.2 t       1.200,00 €       1.11.50 €	2 Spülwasserpumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				50.000,00€
Spüla bwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen       20.000,00 €         Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	2 Spülluftgebläse				30.000,00€
Summe maschinell netto       564.000,00 €         Elektroausrüstung und MSR-Technik       169.200,00 €         EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik       169.200,00 €         Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €         Baunebenkosten       34.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Rohrleitungen und Armaturen				40.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik  EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik  Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto  Erstbefüllung GAK Filter  107,2 t 1.200,00 €  Baunebenkosten  Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)  Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)  Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)  Summe Nebenkosten netto  Gesamtkosten netto  402.015,02 €  Gesamtkosten brutto  2.517.883,52 €	Spülabwasserpumpen inkl. Rohrleitungen, Armaturen				20.000,00€
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik  Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto  169.200,00 €  Erstbefüllung GAK Filter  107,2 t  1.200,00 €  128.592,00 €  Baunebenkosten  Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)  Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)  Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)  Summe Nebenkosten netto  Gesamtkosten netto  402.015,00 €  Gesamtkosten brutto  2.115.868,50 €  402.015,02 €  Gesamtkosten brutto	Summe maschinell netto				564.000,00€
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik  Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto  169.200,00 €  Erstbefüllung GAK Filter  107,2 t  1.200,00 €  128.592,00 €  Baunebenkosten  Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)  Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)  Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)  Summe Nebenkosten netto  Gesamtkosten netto  402.015,00 €  Gesamtkosten brutto  2.115.868,50 €  402.015,02 €  Gesamtkosten brutto					
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto       169.200,00 €         Erstbefüllung GAK Filter       107,2 t       1.200,00 €       128.592,00 €         Baunebenkosten       Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €       1.00,00	Elektroausrüstung und MSR-Technik				
Erstbefüllung GAK Filter  107,2 t 1.200,00 € 128.592,00 €  Baunebenkosten  Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)  Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)  Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)  Summe Nebenkosten netto  Gesamtkosten netto  402.015,02 €  Gesamtkosten brutto  Canada A. 141,50 €  15.378,75 €  15.378,75 €  26.2115.868,50 €  402.015,02 €  26.2517.883,52 €	EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				169.200,00€
Baunebenkosten       34.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       402.015,02 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				169.200,00€
Baunebenkosten       34.141,50 €         Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       402.015,02 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €					
Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Erstbefüllung GAK Filter	107,2	t	1.200,00€	128.592,00€
Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)       34.141,50 €         Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €					
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Baunebenkosten				
Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)       230.681,25 €         Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Gutachten, Analytik usw. (rd. 2 % der Investitionskosten)				34.141,50€
Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)       15.378,75 €         Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Ingenieurleistungen (rd. 15 % der Investitionskosten)				230.681,25€
Summe Nebenkosten netto       280.201,50 €         Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Genehmigung und sonstiges (rd. 1 % der Investitionskosten)				
Gesamtkosten netto       2.115.868,50 €         + 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Summe Nebenkosten netto				
+ 19 % Mehrwertsteuer 402.015,02 €  Gesamtkosten brutto 2.517.883,52 €					
+ 19 % Mehrwertsteuer       402.015,02 €         Gesamtkosten brutto       2.517.883,52 €	Gesamtkosten netto				2.115.868,50€
Gesamtkosten brutto 2.517.883,52 €	+ 19 % Mehrwertsteuer				
gerindet	Gesamtkosten brutto				
berunaet       2.520.000,00€	gerundet				2.520.000,00€

#### 8.5 Investitionen Variante 4.2

GAK-Filtration (Umrüstung der vorhandenen Filtration)				
- In this is a first of the second of the se	Menge	Einheit	Einzelpreis [Euro]	Gesamtpreis netto [Euro]
Bauliche Maßnahmen	Wichigo	Limitere	Emzerpreis (Euro)	desamepreis netto (Edro)
Baustelleneinrichtung (6 % der Baukosten)				5.790,00€
Vorbereitende Arbeiten:				3.730,000
Herstellung der Rohrleitungsanschlüsse (vorh. Ablaufleitung zum Trennbauwerk)				20.000,00€
Herstellung Trennbauwerk inkl. Erdarbeiten, Rohrleitungsanschlüssen, Schlosserarbeiten	60	m³	600,00€	36.000,00€
Verbindende Rohrleitungen inkl. Erdarbeiten				
Bypassleitung DN 800	30	lfdm	650,00€	19.500,00€
Leerrohre	100	m	100,00€	10.000,00€
Straßenbauarbeiten, Pflasterfläche mit Unterbau, Tiefbord inkl. Entwässerung	80	m²	100,00€	8.000,00€
Landschaftspflegerische Maßnahmen				3.000,00€
Zwischensumme baulich netto				102.290,00€
Maschinelle Maßnahmen				
Zwischenpumpwerk:				
Neuausrüstung Bestandspumpwerk 3 Pumpen, Trockenaufstellung inkl. Reserve				60.000,00€
Austausch/Istandsetzung Bestandsverrohrung und Armaturen				30.000,00€
GAK-Filterbecken:				
Austausch 6 Filterböden à 25,5 m²				110.000,00€
Instandsetzung Rohrleitung, Armaturen für Wasserspülung				30.000,00€
Instandsetzung Rohrleitung, Armaturen für Luftspülung				10.000,00€
Rückspülanlagen:				
Instandsetzung Spülwasserpumpwerke				50.000,00€
Austausch 2 Spülluftgebläse				30.000,00€
Anpassungen Rohrleitungen und Armaturen				10.000,00€
Summe maschinell netto				330.000,00€
Elektroausrüstung und MSR-Technik				
EMSR-Technik inkl. Messgeräte ca. 30 % der Kosten der Maschinentechnik				99.000,00€
Zwischensumme Elektroausrüstung und MSR-Technik netto				99.000,00€
Erstbefüllung GAK Filter	107,2	t	1.200,00€	128.592,00€
Entsorgung Sand	110	t	150,00€	16.500,00€
Paunahankartan				
Baunebenkosten Gutachten, Analytik usw. (rd. 4 % der Investitionskosten)				24 254 52 5
				21.251,60€
Ingenieurleistungen (rd. 20 % der Investitionskosten)				86.458,00€
Genehmigung und sonstiges (rd. 2 % der Investitionskosten)				8.645,80€
Summe Nebenkosten netto				116.355,40€
Gesamtkosten netto				792.737,40€
+ 19 % Mehrwertsteuer				150.620,11€
Gesamtkosten brutto				943.357,51€
gerundet				940.000,00€
Der 21,1200			<u> </u>	940.000,00€

## 8.6 Energiebedarf

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
				v andrite 3	variante 4.1	GAK
		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK (Neubau)	(Umrüstung im Bestand)
Abwassermenge 4. RS	m³/a	3.905.190	3.105.321	3.105.321	3.105.321	3.105.321
Zwis chenpumpwerk			+		-	
Anzahl	Stück	0	2	2	2	
r unadern	kW	0,0	6,7	5,6	11,1	
Laufzeit	h/d	0	15	15	15	
Energie bedarf	kWh/a	0	72.927	60.773	121.545	
DAY Desidented						
PAK-Rezirkulations pumpen Anzahl	Stück		2.0			
Leistung	kW		2,0			
Laufzeit	h/d		12			
Energie bedarf	kWh/a		21.287			
PAK Dos iere in he it	kW	F.0	4.5			
Leistung Laufzeit	h/d	5,0 10	<b>4,5</b>			
Energie bedarf	kWh/a	18.250	16,425			<del>                                     </del>
		·	. JAZO			<del> </del>
Schlamm pumpen						1
Anzahl	Stück		2,0			
Leistung	kW		4,8			
Laufzeit	h/d		5			
Energiebedarf	kWh/a		17.520			
Dos ierpumpe Fällmittel						
Anschlussleistung	kW	2.0	2,0			
Laufzeit	h/d	24	24			
Energie bedarf	kWh/a	17.520	17.520			
Dos ierpum pe FHM						
Anschlussleistung	kW	1,5	1,5			
Laufzeit	h/d kWh/a	24 13.140	24 13.140			
Energie bedarf	K VVII/a	13.140	13.140			
Rührwerke Kontaktbecken PAK						
Anzahl	Stück		3,0			
Anschlussleistung	kW		4,0			
Laufzeit	h/d		24			
Energie bed arf	kWh/a		105.120			
Räum er Sed im entations beck en						
Anzahl	Stück		2			
Anschlussleistung	kW		0.5			
Laufzeit	h/d		24			
Energie bed arf	kWh/a		8.760			
Spü lwas s erpumpen	0					
Anzahl	Stück kW				39	ļ
Anschlussleistung Laufzeit	h/d		+		39	-
Energie bedarf	kWh/a				113.880	1
- g						1
Spülluftgebläs e						
Anzahl	Stück				2	
Anschlussleistung	kW				45	
Laufzeit Enorgie bedarf	h/d kWh/a				1 32.850	<del>                                     </del>
Energie bedarf	K VVII/A		+		32.030	<del>                                     </del>
Ozonanlage			+			<del> </del>
Energiebedarf	kWh/a			376.154		1
Sonstiges (Messtechnik etc)						
Energie bedarf	kWh/a	7.500	7.500	7.500	7.500	
	$\vdash$					-
Summe Energiebedarf	kWh/a	56.410	280.199	444.427	275.775	0
		557710	2001100		2.31110	

#### 8.7 Betriebskosten

		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
		PAK in Belebung	PAK in Kontakt- becken	Ozon	GAK (Neubau)	•
Betriebskosten						im Bestand)
Energiekosten						
Menge/a	kWh/a	56.410	280.199	444.427	275.775	0
spezifische Kosten pro kWh	Euro/kWh	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210
Summe Energiekosten	Euro/a	11.846,10	58.841,75	93.329,65	57.912,75	0,00
ounine Energierosten	Larora	11.040,10	30.041,73	33.323,03	37.312,73	0,00
Personalkosten						
Mitarbeiter	MA/a	0,4	0,5	0,4	0,4	0,1
Jahreskosten MA	Euro/a	60.000,0	60.000,0	60.000,0	60.000,0	60.000,0
Summe Personalkosten	Euro/a	24.000,00	30.000,00	24.000,00	24.000,00	6.000,00
Wartung / Versicherungen			-			-
Bautechnik (1,5 % vom Invest)	€/a	524,7	14.890,4	8.975,6	14.608,1	1.534,4
Maschinentechnik (2,5 % vom Invest)	€/a	10.125,0	17.400,0	22.750,0	14.100,0	8.250,0
Elektrotechnik (2,5 % vom Invest)	€/a	3.037,5	5.220,0	3.412,5	4.230,0	2.475,0
Summe Wartung / Versicherungen	€/a	13.687,2	37.510,4	35.138,1	32.938,1	12.259,4
Vester Squareteff (inld Neste Legerhehälter)						
Kosten Sauerstoff (inkl. Mete Lagerbehälter)	len 00/a			240,000		
Menge/a	kg O2/a			240.869		
spezifische Kosten pro kg	Euro/kg			0,2		
Summe Kosten Sauerstoff	Euro/a			48.174		
Kosten Aktivkohle						
Menge/a	kg/a	85.914	34.158		95.644	119.555
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.600	1.600		1,200	1,200
Summe Kosten Aktivkohle	Euro/a	137.463	54.653		114.773	143,466
Kosten FHM						
FHM	kg/a	1.172	932			
spezifische Kosten pro Tonne	Euro/t	1.400	1.400			
Summe Kosten FHM	Euro/a	1.641	1.305			
Kosten Fällmittel						
Fällmittel	t Fällmittel /a	140	89			
Menge/a	Euro/t	140	140			
Summe Kosten FHM	Euro/a	19.530	12.418			
				1		
Schlam m m e hranfall				1		
Schlammanfall (TR) FM	t TR/a	48,83	31,05	1		
Schlammanfall (TR) PAK	t TR/a	86	34	1		
Schlammanfall (TR) AFS	t TR/a	20	16	1		
spezifische Kosten Entsorgung pro t TR	Euro/t TR	240	240	1		
Entsorgungskosten	Euro/a	37.024	19.375			
Down Datable Land Control	F	0.5.40	64446	000 0 : : -	000 00:	404 ===
Summe Betriebskosten (netto)	Euro/a	245.191	214.103	200.641,5	229.624	161.725
Summe Betriebskosten (brutto)	Euro/a	291.777	254.783	238.763	273.252	192.453

#### 8.8 Jahreskosten Variante 1 und 2

CVM Vester 4 BS			I		<u> </u>
GKW Kaster 4. RS					
Datanarhahung und Kastanarmittlung					
Datenerhebung und Kostenermittlung ALLGEMEINES					
Kläranlage				GKW Kaster	GKW Kaster
Variante				Variante 1	Variante 2
				PAK in BB	PAK in Kontaktbecken
Auftraggeber Planer					verband EMIS GmbH
Vorlage des Berichts				2017	2017
Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische	e Anlage (G)			S	S
BETRIEBS- UND ANLAGENDATEN	(e)			55,000	CC 000
Ausbaugröße EW Anschlussgröße EW	[E]			66.000 48.500	66.000 48.500
Jahresabwassermenge (JAM)	[m³/a]			3.905.190	3.905.190
Behandelte JAM der 4. Stufe	[m³/a]			3.905.190	3.105.321
Anteil JAM in der 4. Stufe an Gesamt-JAM	[%]			100	80
Bemessungswassermenge der 4. Stufe	[m³/h]			Vollstrom	730
Frischwassermenge Nutzung vorh. Bausubstanz [Ja/ Nein]	[m³/a] [-]			Ja	Nein
Anmerkungen bzgl. der Nutzung der	[-]			Dosierung in	Nem
Bausubstanz	[-]			vorh. Belebung	
Nachbehandlung [Ja/Nein]	[-]			Flockungsfiltration	Flockungsfiltration
Sonstige Anmerkungen					
VEDEA LIDEAL ZUD COLUDEAUCTOFFFURAINA TION					
VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION Ozon					
Dosiermengen	mg O₃/I				
Eintragssystem / Dosiervorrichtung					
Eintragspunkt					
Reaktionsvolumen	m³				
Aufenthaltszeit bei QTW Maximale Ozonproduktion	min kg O <sub>3</sub> /h				
Sauerstoffbedarf	g O <sub>2</sub> /gO <sub>3</sub>				
Pulverisierte Aktivkohle (PAK)					
PAK Kontaktbecken					
Dosiermengen	mg/l			20	
Eintragssystem / Dosiervorrichtung Eintragspunkt				gravimetrisch in Belebung	gravimetrisch Kontaktbecken
Reaktionsvolumen	m³			iii belebulig	3 x 130
Aufenthaltszeit bei QTW	min				30
Beckentiefe	m				4
Zulauf	I/s				200
PAK Absetzbecken Aufenthaltszeit bei QTW	h			vorhandene NK	120
Gesamtvolumen	m³				1 x 1500
Oberflächenbeschickung	m/h				2
Polymerdosierung	mg/l			0,3	0,3
Fällmitteldosierung	mg Fe/l			4	4
Granulierte Aktivkohle (GAK) Aktivkohlesorte					
Reaktivierungszyklus					
Filtertyp					
Filteranzahl					
Filterfläche je Filter	m²				
Betthöhe Bettvolumen	m m³				
Leerbettkontaktzeit	min				
Filtergeschwindigkeit	m/h				
Spülintervall					
Filterspülgeschwindigkeit	m/h				
Spülluftgeschwindigkeit Aufenthaltszeit	m/h min				
Autentialtszeit	141111				
STEUERUNG UND REGELUNG					
Zeitproportional					
Mengenproportional	1	1		ja	ja
DOC-proportional SAK-proportional					
SAK-proportional Gelöstozonkonzentration					
Offgasozonkonzentration					
Rezirkulation					ja
Druckmessung					

INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN	1		l	
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2017	2017
Bautechnik	[€]		34.980	992.690
Maschinentechnik	[€]		405.000	696.000
EMSR Technik	[€]		121.500	208.800
Nebenkosten	[€]		101.066	341.548
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		662.546	2.239.038
desaminosten (Nettonosten)	[0]		002.540	2.233.030
Bandahahara.				
Betriebskosten				
Energie	[€/a]		11.846	58.842
Personal	[€/a]		24.000	30.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		13.687	37.510
Sauerstoff	[€/a]			
PAK/GAK	[€/a]		137.463	54.653
FHM. FM	[€/a]		21.171	13.723
Transport/ Logistik	[€/a]		21.171	15.725
			27.024	40.37
Schlammentsorgung	[€/a]		37.024	19.375
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		245.191	214.103
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einhei	tliches Bezugsjah	r (2017)		
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten				
Bezugszeitpunkt			2017	2017
Jahre seit Urkalkulation	[2]		2017	2017
	[a]	3.0001	U	
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%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%	1,00000	1,00000
	_		,	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Preissteigerung PAK		1,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung O2		1,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Maschinentechnik		0,3%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Elektrotechnik		0,0%	1,00000	1,00000
Preissteigerung Allgemein		1,0%	1,00000	1,00000
reissteigerung/ingemein		2,070	2,00000	1,0000
Investitionskosten				
Bezugsjahr der Kosten			2017	2017
Bautechnik	[€]		34.980	992.690
Maschinentechnik	[€]		405.000	696.000
EMSR Technik	[€]		121.500	208.800
Nebenkosten	[€]		101.066	341.548
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]		662.546	2.239.038
desuminosteri (rettonosteri)	[6]		002.340	2,233,030
Betriebskosten				
Energie	[€/a]		11.846	
Personal	[€/a]			58.842
Wartung/Instandhaltung			24.000	
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]		 24.000 13.687	30.000
Sauerstoff	[€/a] [€/a]			
Sauerstoff	[€/a]		13.687 0	30.000 37.510
Sauerstoff PAK/GAK	[€/a] [€/a]		13.687 0 137.463	30.000 37.510 0 54.653
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM	[€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0	30.000 37.510
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0 137.463 21.171	30.000 37.510 0 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0 137.463	30.000 37.510 0 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0 137.463 21.171 37.024	30.000 37.510 0 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0 137.463 21.171	30.000 37.510 0 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]		13.687 0 137.463 21.171 37.024	30.000 37.510 ( 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]	WA	13.687 0 137.463 21.171 37.024	30.000 37.510 ( 54.653 13.723
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten) Reinvestitionskosten in EURO	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA		13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191	30.000 37.510 ( 54.653 13.723 19.375
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA	[€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191	30.000 37.510 ( 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a)	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636	[€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875	30.000 37.510 (0 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967	[€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 ( 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967	[€] [€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967	[€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967	[€] [€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967	[€] [€] [€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 54.653 13.723 19.375 214.103
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0 0,66636 1,29776967	[€] [€] [€] [€]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679	30.000 37.510 ( 54.653 13.723 19.375 214.103 ( 463.785 270.974 ( 734.755
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten  Gesamtkosten  Bautechnik Bautechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102	[€] [€] [€] [€] [₩A	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554	30.000 37.510 ( 54.653 13.723 19.375 214.103 ( 463.785 270.974 ( 734.755
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0,06636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432	30.000 37.510 () 54.653 13.723 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.759
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244	30.000 37.510 () 54.652 13.722 19.375 214.103 () () (463.785 270.974 () (734.755 () () () () () () () () () () () () ()
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0,06636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156	30.000 37.510 () 54.652 13.722 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.755
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244	30.000 37.510 () 54.652 13.722 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.755
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156	30.000 37.510 () 54.653 13.723 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.759
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156	30.000 37.510 () 54.652 13.722 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.755
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten  Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Sesamtkosten  Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156	30.000 37.510 () 54.653 13.723 19.375 214.103 () 463.785 270.974 () 734.759
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten  Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Meschinentechnik Gesamtkosten  Gesamtkosten  Gesamtkosten  Jahreskosten (Bezugsjahr 2013) Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0,05636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102 0,05102 0,05102 0,05102 Einheiten [€/a]	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156 55.616	30.000 37.510 () 54.653 13.723 19.375 214.103 () () (463.785 270.974 () (734.755 () () () () () () () () () () () () ()
Sauerstoff PAK/GAK FHM, FM Transport/ Logistik Schlammentsorgung Einsparungen durch bessere Wasserqualität Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)  Reinvestitionskosten in EURO Bautechnik Maschinentechnik (nach 15 a) Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a) Nebenkosten Gesamtkosten  Kapitalkosten Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten  Gesamtkosten  Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten	[€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a] [€/a]  Faktoren LA'  0 0,66636 1,29776967 0  Faktoren LA' 0,05102 0,05102 0,05102 0,05102	[€] [€] [€] [€] WA [€/a] [€/a] [€/a]	13.687 0 137.463 21.171 37.024 245.191 0 269.875 157.679 0 427.554 1.785 34.432 14.244 5.156 55.616	30.000 37.510 () 54.653 13.723 19.375 214.103 () () () () () () () () () () () () ()

#### 8.9 Jahreskosten Variante 3, 4.1 und 4.2

Description	GKW Kaster 4. RS					
ALEGARMINS						
ALEGARMINS	Datenerhebung und Kostenermittlung					
Marchage						
Control   Cont				GKW Kaster	GKW Kaster	GKW Kaster
Authregageler	Variante			Variante 3	Variante 4.1	Variante 4.2
				Ozon	GAK (Neubau)	GAK (Umrüstung bestehende FF)
Worling et specificity   West and   Sample   West   Sample   Sam						
Soule IS, Inhiberoninche Verundunalege (V), Corollechomber Anlage (G)  ### FIREBS-UND ANAGENDATIN  ### 12						
PRINCES - UNA ANA GENDATEN   C		L				
Matchbangfole EV	Studie (S), Halbtechnische Versuchsanlage (V), Großtechnische	Anlage (G)		S	S	S
Matchbangfole EV						
Anschbusgoria (PM		(c)		CC 000	CC 000	CC 000
Same subsessmenage   (IAM)						
Selandelie JAM der 4. Surfe   m/ya						
Ancel JAM in der 4 Stufe an Gesamt-JAM   5    80   81   85   730						
Benesunywassemenge   en / Sufer   (m/n)						80
Frischwassermenge						730
Annextungen bzgl. der Nutzung der						
Sausstotanin   Saus				Nein	Nein	Ja
Nachbehadung	Anmerkungen bzgl. der Nutzung der	[-]				Umnutzung vorhandene
Sossige Annekungen         Image: Control of the		[-]				Sandfiltration
VERFAMEN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION		[-]		Flockungsfiltration		
Doard	Sonstige Anmerkungen				Vorbehandlung FF	keine Vorbehandlung durch FF
Dose-interagener   mg O <sub>3</sub> /1	VERFAHREN ZUR SPURENSTOFFELIMINATION					
Intragsystem / Doslevorrichtung						
Bintragspunkt		mg O <sub>3</sub> /I				
Reaktionsvolumen         m²         2 x x x x x x x x x x x x x x x x x x x						
Aufenthatszeit bei OTW         min         \$25           Makmiande Zooppoduktion         \$Q-0/h         2 x 38           Sauestoffbedarf         \$Q-0/60,         10           PAK Kontokthe (PAK)         1         1           PAK Sostether (PAK)         1         1           Aufenthatszeit bei GTW         min         1           Aufenthatszeit bei GTW         h         1           Aufenthatszeit bei GTW         h         1           Oberflächenbeschickung         m/h         1           Pollymerdosierung         mgl         1           Fallmitteldosierung         mgf e/l         1           Granulierte Aktivicholte (GAK)         1         1           Heaktiverungszyklus         1         1           Filtertraibe ei Filter         m         25,5         25,5		,				
Maximale Ozonproduktion         kg O/h         2 x 3.8           Souerstoffbedarf         8 O/gO <sub>5</sub> 10           Pulverisierte Aktivkohle (PAK)         10           Palk Kanitakberken         1         1           Dosiermengen         mg/l         1         1           Eintragspystem / Dosiervorrichtung         1         1         1           Eintragspystem / Dosiervorrichtung         1         2         2         2         1         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2         2						
Savestoffbedarf   So J/SO   So   So   So   So   So   So   So						
Devertisere Aktivkohle (PAK)						
MAK Montakbecken		g O <sub>2</sub> /gO <sub>3</sub>		10		
Dose interrupts						
Eintragspunkt		mg/l				
Eintragspunkt		1116/1				
Reaktionsvolumen         m³						
Aufenthalszeit bei QTW		m³				
Zulauf	Aufenthaltszeit bei QTW	min				
PAK Absetzbecken         In Aufenthaltszeit bei QTW         In Commentaltszeit bei QTW         In Commen	Beckentiefe	m				
Aufenthaltszeit bei QTW	Zulauf	I/s				
Gesantvolumen						
Debrflächenbeschickung						
Polymerdosierung						
Fallmitteldosierung						
Granulierte Aktivkohle (GAK)         Image: Common of the proportional of						
Aktivkohlesorte         Image: Company of the polity o		mg Fe/I				
Reaktivierungszyklus         Image: Control of the Control of th	, ,					
Filteraph         Image: content of the content o						
Filterfläche je Filter         m²					offene Filtration	offene Filtration
Filterfläche je Filter         m²         Image: control of the part of t						6
Betthöhe         m          2         2           Bettvolumen         m³          306         300           Leerbettkontaktzeit         min          20         306           Filterspikentkontaktzeit         m/n          6         6           Spülintervall           6         6           Spülintervall               Filterspülgeschwindigkeit         m/h              Spülluftgeschwindigkeit         m/h              Aufenthaltszeit         min               STEUERUNG UND REGELUNG		m²			25.5	
Bettvolumen         m³         1         306         306         306         306         100         100         100         20						2
Leerbettkontaktzeit         min         20 <td>Bettvolumen</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>306</td> <td>306</td>	Bettvolumen				306	306
Spülintervall         Mh         Main	Leerbettkontaktzeit	min			20	20
Filterspülgeschwindigkeit         m/h         Image: Company of the properties		m/h			6	6
Spülluftgeschwindigkeit         m/h         Image: Company of the part of						
Aufenthaltszeit         min         Image (Included Control of Contro						
Zeitproportional         Image: Composition of the compos	Aufenthaltszeit	min				
Zeitproportional         Image: Composition of the compos						
Mengenproportional         ja			ļ			
DOC-proportional         Image: Composition of the proportion of the p						
SAK-proportional         Image: Company of the proportion of the propo				Jd		
Gelöstozonkonzentration         ja						
Offgasozonkonzentration         ja	· · ·			ia		
Rezirkulation Substitution Subs				•		
				Ju		
	Druckmessung					

INVESTITIONEN UND BETRIEBSKOSTEN						
Investitionskosten						
Bezugsjahr der Kosten				2017	2017	2017
Bautechnik	[€]			598.370	973.875	102.290
Maschinentechnik	[€]			910.000	564.000	330.000
EMSR Technik	[€]			136.500	169.200	99.000
Nebenkosten	[€]			296.077	408.794	261.447
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]			1.940.947	2.115.869	792.737
Betriebskosten						
Energie	[€/a]			93.330	57.913	
Personal	[€/a]			24.000	24.000	6.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]			35.138	32.938	12.259
Sauerstoff	[€/a]			48.174	32.330	12.23
PAK/GAK	[€/a]			40.174	114.773	143.466
FHM, FM	[€/a]					
Transport/ Logistik	[€/a]					
Schlammentsorgung	[€/a]					
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]					
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]			200.641	229.624	161.725
, ,						
Anpassung der Investitions- und Betriebskosten an einheitlich	ies Bezugsjah	r (2017)				
Annahmen zur Aktualisierung der Kosten						
Bezugszeitpunkt				2017	2017	2017
Jahre seit Urkalkulation	[a]			0	0	(
Zinsen	[%]	3,00%				
AFA Bautechnik , Nebenkosten	[a]	30				
AFA Maschinentechnik	[a]	15				
AFA Elektrotechnik	[a]	10				
Preisentwicklung bis Bezugsjahr	<u> </u>			Faktoren LAWA	Faktoren LAWA	Faktoren LAWA
Preissteigerung Personal		0,5%		1,00000	1,00000	1,00000
Preissteigerung Energie/Strom		3,0%		1,00000	1,00000	1,00000
Preissteigerung PAK		1,0%		1,00000	1,00000	1,00000
Preissteigerung O2		1,0%		1,00000	1,00000	1,00000
Preissteigerung Bautechnik, Nebenkosten		0,5%		1,00000	1,00000	1,00000
Preissteigerung Maschinentechnik Preissteigerung Elektrotechnik	1	0,3%		1,00000 1,00000	1,00000 1,00000	1,00000 1,00000
Preissteigerung Allgemein	1	1,0%		1,00000	1,00000	1,00000
Freissteigerung Angemein		1,076		1,00000	1,00000	1,00000
Investitionskosten						
Bezugsjahr der Kosten				2017	2017	2017
Bautechnik	[€]			598.370	973.875	102.290
Maschinentechnik	[€]			910.000	564.000	330.000
EMSR Technik	[€]			136.500	169.200	99.000
Nebenkosten	[€]			296.077	408.794	261.447
Gesamtkosten (Nettokosten)	[€]			1.940.947	2.115.869	792.737
Betriebskosten						
Energie	[€/a]			93.330	57.913	(
Personal	[€/a]			24.000	24.000	6.000
Wartung/ Instandhaltung	[€/a]			35.138	32.938	12.259
Sauerstoff	[€/a]			48.174	0	(
PAK/GAK	[€/a]			0	114.773	143.466
FHM, FM	[€/a]			0	0	(
Transport/ Logistik	[€/a]					
Schlammentsorgung	[€/a]			0	0	(
Einsparungen durch bessere Wasserqualität	[€/a]			200 ***	220 22	401
Betrieb Gesamtkosten (Nettokosten)	[€/a]		-	200.641	229.624	161.725
Reinvestitionskosten in EURO	Faktoren LA	ΜΔ				
Bautechnik		WA [€]		0	0	,
Maschinentechnik (nach 15 a)	0,66636			606.385	375.826	219.898
Elektrotechnik (nach 10 a und nach 20 a)	1,29776967		<b> </b>	177.146	219.583	128.479
Nebenkosten		[€]		177.140	213.363 N	120.4/3
Gesamtkosten	t "	[€]		783.531	595.408	348.377
		3		, 55,551	555.400	3-10.377
Kanitalkastan	Faktoren LA	WA				
INADITAIKOSTER				30.528	49.686	5.219
Kapitalkosten Bautechnik	0.05102		1	77.365	47.949	28.055
Bautechnik	0,05102 0.05102					
Bautechnik Maschinentechnik	0,05102	[€/a]				11.606
Bautechnik	0,05102 0,05102	[€/a] [€/a]		16.002 15.106	19.835 20.856	11.606
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik	0,05102	[€/a] [€/a]		16.002	19.835	11.606 13.339
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten	0,05102 0,05102	[€/a] [€/a] [€/a]		16.002 15.106	19.835 20.856	11.600 13.339
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten	0,05102 0,05102	[€/a] [€/a] [€/a]		16.002 15.106	19.835 20.856	11.600 13.339
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten	0,05102 0,05102 0,05102	[€/a] [€/a] [€/a]		16.002 15.106	19.835 20.856	11.600 13.333 58.219
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten Jahreskosten (Bezugsjahr 2013)	0,05102 0,05102 0,05102 Einheiten	[€/a] [€/a] [€/a]		16.002 15.106 <b>139.001</b>	19.835 20.856 <b>138.327</b>	11.600 13.333 58.219 219.944
Bautechnik Maschinentechnik Elektrotechnik Nebenkosten Gesamtkosten Jahreskosten (Bezugsjahr 2013) Jahreskosten gesamt	0,05102 0,05102 0,05102 Einheiten [€/a]	[€/a] [€/a] [€/a]		16.002 15.106 <b>139.001</b> 339.642	19.835 20.856 <b>138.327</b> 367.951	

# 9 Anhang C - Pläne

9.1 Lageplan Variante 2 (PAK in Kontaktbecken)

## 9.2 Lageplan Variante 3 (Ozonbehandlung)

## 9.3 Lageplan Variante 4.1 (GAK-Filtration)

## 9.4 Hydraulischer Längsschnitt Bestand