



## **Stadt Geseke**

### **Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie**

# **Ertüchtigung der Kläranlage Geseke zur Elimination von Spurenstoffen**

Dezember 2016

gefördert durch:

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



**Impressum**

Auftraggeber: Abwasserwerk Geseke  
Auftragnehmer: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH  
Groß-Buchholzer Kirchweg 30  
30655 Hannover  
Bearbeitung: Dr.-Ing. Jens Knollmann  
Dipl.-Ing. Holger Hübner

**Inhaltsverzeichnis**

1	Veranlassung	1
2	Spurenstoffe – Herkunft, Eigenschaften	3
3	Rechtliche Belange und Grenzwerte	7
3.1	EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	8
3.2	Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	10
3.3	Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen	11
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung	14
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination	16
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	16
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	20
5.3	Oxidation mit Ozon (O <sub>3</sub> )	22
5.3.1	Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung	24
5.4	Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe	24
5.5	Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	27
5.5.1	Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination	28
5.6	Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination	32
6	Kläranlage Geseke	38
6.1	Kurzbeschreibung Kläranlage	38
6.2	Situation Gewässersystem Lippe (Geseker Bach), Trinkwassergewinnung	48
7	Screening zu Spurenstoffen - Analyseergebnisse	51
8	Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination	56
8.1	Vorhandene Erweiterungsfläche	57
8.2	Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen	58
8.3	Variante 1. 1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe	59
8.3.1	Verfahrensbeschreibung	59
8.3.2	Vordimensionierung	63
8.3.3	Diskussion Variante 1.1, PAK Dosierung in Belebung	64

Inhaltsverzeichnis

---

8.4	Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	65
8.4.1	Verfahrensbeschreibung	65
8.4.2	Vordimensionierung	70
8.4.3	Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	71
8.5	Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter	72
8.5.1	Verfahrensbeschreibung	72
8.5.2	Vordimensionierung	76
8.5.3	Diskussion Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)	77
8.6	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe	78
8.6.1	Verfahrensbeschreibung	78
8.6.2	Vordimensionierung	80
8.6.3	Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)	81
8.7	Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter	82
8.7.1	Verfahrensbeschreibung	82
8.7.2	Vordimensionierung	88
8.7.3	Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Dyna-Sand Filtration	89
9	Wirtschaftlichkeitsvergleich	90
9.1	Investitionskosten	90
9.2	Betriebskosten	93
9.3	Jahreskosten	99
9.4	Sensitivitätsanalyse	105
10	Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination	109
11	Zusammenfassung und Empfehlung	114
12	Literatur	116
13	Anhang	121
13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	121
13.2	Abwassertechnische Berechnungen	125
13.3	Kostenannahme	138
13.4	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	185

**Abbildungsverzeichnis**

Bild 1:	MEC/PNEC-Verhältnis für Arzneistoffe in deutschen Oberflächengewässern [Bergmann, 2011]	5
Bild 2:	Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [Götz et al., 2010]	6
Bild 3:	Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung Quellen [Benstörm et al., 2015]	17
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	18
Bild 5:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]	19
Bild 6:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	20
Bild 7:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)	21
Bild 8:	Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration	22
Bild 9:	Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration	22
Bild 10:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage	23
Bild 11:	Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	25
Bild 12:	Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	26
Bild 13:	Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	26
Bild 14:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]	27
Bild 15:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]	28
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	34
Bild 17:	Lageplan Kläranlage Geseke	39
Bild 18:	Nachklärung, Ablaufschächte	40
Bild 19:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (östl. Faulung, nördl. Nachklärung) (Blick n. West)	40
Bild 20:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (östl. Faulung, nördl. Nachklärung) (Blick n. Ost)	41
Bild 21:	Einleitungsstelle Kläranlage in den Geseker Bach	41
Bild 22:	Geseker Bach – stromab der Einleitungsstelle	42

Abbildungsverzeichnis
 

---

Bild 23:	Mittlerer stündlicher Abfluss Kläranlage Geseke, Regen-, Trockenwetter (1.2015, 7.2016)	43
Bild 24:	CSB-Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2015 - 7.2016)	43
Bild 25:	P <sub>ges</sub> -Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2015 – 7.2016)	44
Bild 26:	Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_LIP_1700 Lippe Lippborg - Paderborn [MKULNV NRW, 2015]	48
Bild 27:	Gewässerzustand Geseker Bach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]	50
Bild 28:	Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung (16.08.16 – 19.08.16)	54
Bild 29:	Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung (23.08.16 – 26.08.16)	54
Bild 30:	Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Geseke (Luftbild - Quelle: Google-Earth)	57
Bild 31:	Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Geseke	58
Bild 32:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1	59
Bild 33:	Lageplan KA Geseke - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna- Sand Filtration Ablauf Nachklärung	60
Bild 34:	Lageplan KA Geseke - Variante 1.1 – Dosierstelle PAK im Zulauf zur Belebung	61
Bild 35:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	63
Bild 36:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2	66
Bild 37:	Lageplan KA Geseke - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	68
Bild 38:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	69
Bild 39:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1	72
Bild 40:	Draufsicht , Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster) (Quelle: Fa. Nordic Water)	73
Bild 41:	Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieurges. Dr. Knollmann mbH)	74
Bild 42:	Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)	75
Bild 43:	Lageplan KA Geseke - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	75
Bild 44:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2	78

Abbildungsverzeichnis

---

Bild 45:	Lageplan KA Geseke - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorgeschalteter Dyna-Sand Filter	79
Bild 46:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1	83
Bild 47:	Lageplan KA Geseke - Variante 3.1 – Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter	83
Bild 48:	Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)	85
Bild 49:	Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)	86
Bild 50:	Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)	87
Bild 51:	Investitionskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)	92
Bild 52:	Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	96
Bild 53:	Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlamm Entsorgungskosten (brutto)	98
Bild 54:	Jahreskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	101
Bild 55:	Jahreskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)	103
Bild 56:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten (netto)	107

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [BAFU., 2012]	14
Tabelle 2:	Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	35
Tabelle 3:	Planungsdaten Kläranlage Geseke [Sowa, 2011]	42
Tabelle 4:	Betriebsdaten – Abwasser-, Schlammfall - Kläranlage Geseke	45
Tabelle 5:	Auslegung – Spurenstoffelimination	47
Tabelle 6:	Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Geseke (16.08.16 – 19.08.2016; 23.08.16 – 26.08.2016) und im Gewässer (17.08.2016)	52
Tabelle 7:	Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen	55
Tabelle 8:	Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe	58
Tabelle 9:	Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)	63
Tabelle 10:	Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe	70
Tabelle 11:	Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	76
Tabelle 12:	Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe	80
Tabelle 13:	Auslegung Variante 3.1 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	88
Tabelle 14:	Zusammenstellung Investitionskosten	90
Tabelle 15:	Zusammenstellung Betriebskosten	95
Tabelle 16:	Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlammentsorgungskosten	97
Tabelle 17:	Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)	100
Tabelle 18:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)	102
Tabelle 19:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%) und ohne Schlammentsorgungsmehrkosten	104
Tabelle 20:	Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter	105
Tabelle 21:	Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) (Förderung 70%)	106
Tabelle 22:	Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	109

## 1 Veranlassung

Die Anforderung an die Abwasserreinigung in kommunalen deutschen Kläranlagen wurde letztendlich in den 90er Jahren verschärft, durch Einführung von Grenzwerten für die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor. Viele Kläranlagen wurden daraufhin entsprechend ertüchtigt. In neuerer Zeit geraten zunehmend anthropogene Stoffe die nicht oder nur unzureichend in konventionellen Kläranlagen abgebaut werden können in das Bewusstsein der Öffentlichkeit.

Die Anzahl der entwickelten organisch, chemischen Verbindungen beträgt mehr als 50 Millionen, davon werden rund 5.000 Substanzen als potentiell umweltrelevant eingestuft [MKULNV, 2013]. Nach Erhebungen in der Schweiz sind dort über 30.000 synthetische organische Stoffe in Gebrauch, die von Menschen in Produkten des täglichen Verbrauchs verwendet werden, darunter Arzneimittel, Stoffe für den Pflanzen- und Materialschutz, Körperpflege- und Reinigungsmittel [Abegglen et al., 2012]. Viele gelangen über das kommunale Abwassersystem und hier insbesondere durch die Kläranlagen oder diffuse Einträge in die Gewässer, wo sie in sehr geringen Konzentrationen (ng/l - µg/l) auftreten. In den Gewässern können die Einträge dieser Mikroverunreinigungen Wasserlebewesen beeinträchtigen. Beispielsweise können hormonaktive Substanzen schon bei sehr niedrigen Konzentrationen die Fortpflanzung von Wasserlebewesen beeinflussen [Suter et al, 2004].

Hohe Abwasseranteile in Fließgewässern können auch zu Belastungen von Trinkwasserleitern führen. Vor allem bei Fließgewässern auf Lockergestein-Grundwasserleitern können schwer abbaubare Verbindungen aus dem kommunalen Abwasser über die Uferfiltration in das Grundwasser gelangen [Hanke et al., 2007]. Dies kann für die Trinkwasseraufbereitung eine zunehmende Herausforderung darstellen. Nach Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen sind insbesondere Gewässer in dicht besiedelten Gebieten, wie die Ruhr, bereits stark mit organischen Spurenstoffen belastet [Pinnekamp et al., 2008].

Maßnahmen zur Minimierung der Immissionen von Mikroschadstoffen in die Umwelt zielen zunächst auf die Vermeidung von Einträgen, etwa durch Herstellungsverbote oder Einsatzverbote der als umweltgefährdend eingestuft anthropogenen Spurenstoffe, auf die Entfernung punktueller Einträge von Mikroschadstoffen an der Eintragsquelle, z.B. bestimmter Chemikalien im gewerblichen, industriellen Bereiche und letztlich auf die Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Mikroschadstoffentfernung.

## 1. Veranlassung

---

Für prioritäre Stoffe deren Einleitung zu erheblichen Gewässerbeeinträchtigungen führen kann wurden 2008 Umweltqualitätsnormen in die EU Wasserrahmenrichtlinie aufgenommen. Die 2013 fortgeschriebene Liste wurde 2016 in die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) übernommen. Zur Erreichung der Qualitätsziele für Oberflächengewässer werden u.a. für die Lippe Bewirtschaftungspläne aufgestellt, aus denen sich administrative Vorgaben für den Ausbau von Kläranlagen zur Spurenstoffelimination ergeben können.

Seit mehreren Jahren wird durch Forschungsarbeiten, Pilotanlagen und erste Kläranlagenausrüstungen die Verfahrenstechnik zur Entnahme von Spurenstoffen in kommunalen Kläranlagen untersucht. Im Wesentlichen kommen Adsorptionsverfahren unter Einsatz von pulverförmiger oder granulierter Aktivkohle und oxidative Verfahren auf Basis von Ozon zur Anwendung.

Vom Land Nordrhein-Westfalen werden Projekte für innovative Technologien auf öffentlichen Kläranlagen zur Elimination von gefährlichen Stoffen gefördert (Investitionsprogramm Abwasser NRW).

Die Stadt Geseke hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt, um die Erweiterung der bestehenden Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination zu untersuchen.

Die Bezirksregierung Arnsberg hat die Förderung des Projekts „Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Kläranlage Geseke zur Elimination von Spurenstoffen“ bewilligt.

Mit der Ausarbeitung von möglichen Maßnahmen zur Aus- und Umrüstung der Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination wurde die Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH, Hannover, beauftragt.

Im Zuge der Varianten- und Machbarkeitsbetrachtung wurden folgende Verfahren der Spurenstoffelimination untersucht:

- Einsatz von Pulveraktivkohle und Dosierung in die Biologie der Kläranlage oder in eine separate adsorptive Reinigungsstufe in Verbindung mit einer Filterstufe
- Einsatz von granulierter Aktivkohle in einer Dyna-Sand Carbon Filtration und einem Festbett Adsorber in Verbindung mit einem Sandfilter
- Ozonung in Verbindung mit einem Sandfilter

Teil der Untersuchung waren Abwasseruntersuchungen zu Spurenstoffen, Bemessung von Verfahrensstufen sowie die Schätzung der Betriebs- und Investitionskosten einer entsprechenden Behandlungsstufe. Die Ergebnisse der Variantenuntersuchung werden nachfolgend vorgestellt.

## 2 Spurenstoffe – Herkunft, Eigenschaften

Als Mikroverunreinigungen, bzw. anthropogene Spurenstoffe werden Substanzen im Abwasser, Trinkwasser und Gewässern bezeichnet, die in geringsten Konzentrationen von Milliardstel- (Nano) bis Millionstel- (Mikro) Gramm pro Liter auftreten.

Meist sind synthetische organische Chemikalien anthropogenen Ursprungs gemeint. Sie werden als „gefährliche Stoffe“ bezeichnet wenn sie toxisch, persistent und bioakkumulierbar sind [Adamczak et al., 2012]. Generell wird unterstellt, dass eine negative Wirkung auf die Menschen und die belebte Umwelt zumindest potenziell vorhanden ist.

Gewässer- und Grundwasser-Verunreinigungen durch Spurenstoffe können folgenden Stoffgruppen zugeordnet werden [DWA, 2008]:

- Pharmazeutika
- Industrie- und Haushaltschemikalien
- Körperpflegemittel, Duftstoffe, Desinfektionsmittel
- Additive in der Abwasser- und Klärschlammbehandlung
- Nahrungsmittel- und Futterzusatzstoffe
- Textilbehandlungsmittel
- Feuerlöschmittel

Bei den Spurenstoffen werden zwei Stoffgruppen unterschieden. Die anorganischen Spurenstoffe wie z.B. Schwermetalle und die organischen Spurenstoffe. Zu den organischen Spurenstoffen gehören Industriechemikalien, Additive, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Körperpflegeprodukte, Waschmittelinhaltsstoffe sowie Hormone, Arzneimittel (Pharmazeutika aus der Human- und Veterinärmedizin) und Diagnostika, insbesondere Röntgenkontrastmittel.

Unter der Vielzahl von anthropogenen Spurenstoffen werden in zahlreichen veröffentlichten Untersuchungen einige Spurenstoffe aus dem Bereich der Pharmazeutika und Diagnostika in Oberflächengewässern und Kläranlageneinleitungen mit besonderer Häufigkeit und signifikant hohen Konzentrationen festgestellt.

Insbesondere sind zu nennen [Abbeglen et al., 2012]:

- Pharmazeutika:
  - Carbamazepin (Antiepileptikum)
  - Sulfamethoxazol (Antibiotikum)

## 2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

---

- Diclofenac (Schmerzmittel)
- Metoprolol (Betablocker)
- Diagnostika
  - Amidotrizoesäure (ionisches Röntgenkontrastmittel)
  - Iopamidol (nicht-ionisches Röntgenkontrastmittel)
- Industrie, Landwirtschaft
  - Mecoprop (Pflanzenschutzmittel, Materialschutz)

Unter den häufig auftretenden Spurenstoffen können u.a. Carbamazepin, Diclofenac als Leitsubstanzen für generelle Aussagen zur Arzneimittelbelastung in Gewässern herangezogen werden. In Stoffflussmodellrechnungen wurden auch für Benzotriazol und Sotalol gute Übereinstimmung von Messungen und Simulationen erreicht, mit denen die Auswirkungen von Kläranlagenertüchtigungen zur Spurenstoffelimination abgeschätzt wurden [Götz et al., 2012].

Auswirkungen dauerhafter, chronischer Belastung von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen in Fließgewässern durch organische Substanzen können bereits in sehr niedrigen Konzentrationen von wenigen Nanogramm bis zu Mikrogramm pro Liter zu nachteiligen Einwirkungen führen, diese sind u.a.:

- Hemmung der Photosynthese von Algen durch Stoffe mit herbizider Wirkung
- Schädigung des Nervensystems von Wassertieren durch Insektizide
- Beeinträchtigung der Fortpflanzung von Fischen und anderer Lebewesen durch hormonaktive Stoffe [NFP, 2008]
- Nierenschäden bei Fischen (Schmerzmittel Diclofenac) [Hoeger, 2005],
- Verhaltensstörungen oder Schädigung des Immunsystems durch Insektizide [Scholz et al., 2006]

Das Umweltrisiko eines Stoffes wird aus dem Vergleich von Exposition und Wirkung abgeleitet. Hierzu wird der PNEC-Wert (Predicted no Effect) einer gemessenen (Measured Environmental Concentration – MEC) oder der geschätzten Konzentration (Predicted Environmental Concentration – PEC) der Arzneiwirkstoffe in den Umweltmedien gegenübergestellt. Der Quotient aus MEC bzw. PEC und PNEC charakterisiert das Risiko der Substanzen für die Umwelt. Ein MEC/PNEC-Wert < 1 gibt an, dass von der betreffenden Substanz nach derzeitigem Stand kein Risiko für die Umwelt ausgeht. Für die höchsten in deutschen Oberflächengewässern nachgewiesenen Umweltkonzentrationen zeigt Bild 1 den entsprechenden MEC/PNEC-Wert [Bergmann, 2011]

## 2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

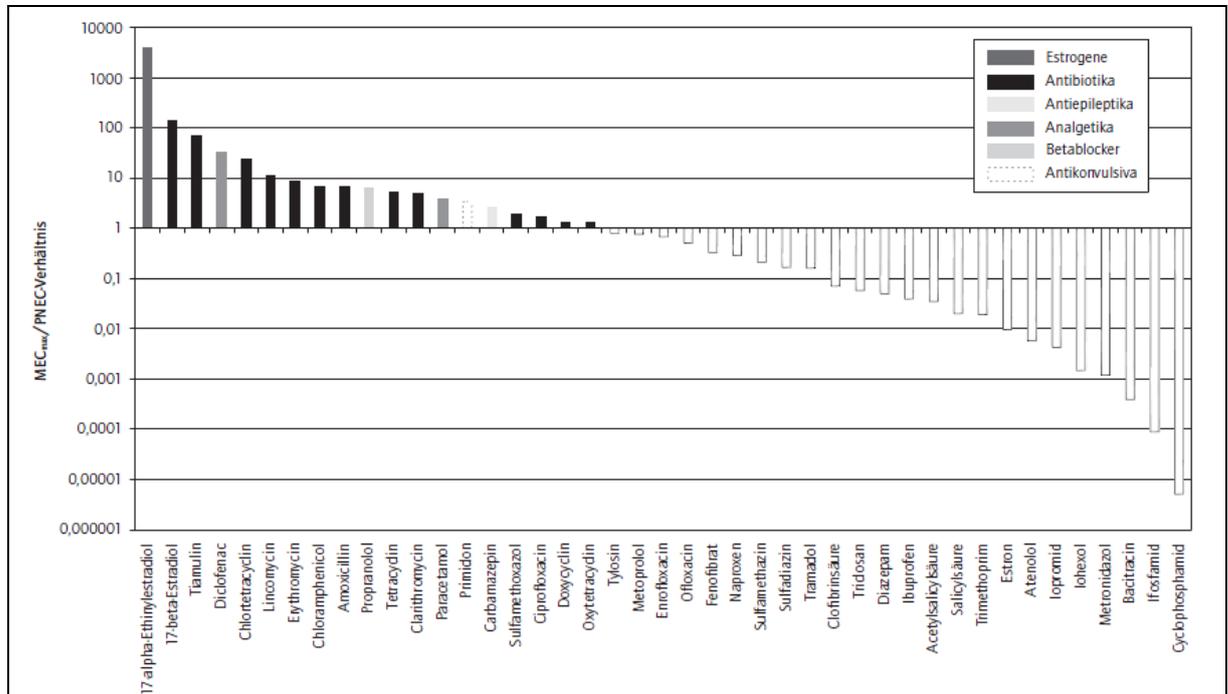


Bild 1: MEC/PNEC-Verhältnis für Arzneistoffe in deutschen Oberflächengewässern [Bergmann, 2011]

Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrages von Spurenstoffen sollten nach einem Multi-Barriere-Prinzip erfolgen [MKULNV, 2013], das berücksichtigt die Verwendung bzw. Inverkehrsetzen zu vermindern, industrielle und kommunale Kläranlagen zu ertüchtigen und diffuse Schadstoffausträge zu reduzieren.

Grundsätzlich ist es möglich, hinsichtlich der Verminderung von Spurenstoffen in Gewässern an drei Stellen anzusetzen:

- Maßnahmen an der Quelle (also dem Produktions-, Anfall- oder Einsatzort)
  - Source-control-Strategie, Medikation, Ersatzstoffe, Aufklärung, Kennzeichnung etc.
- Bei der Abwasserbeseitigung (vorzugweise auf der Kläranlage)
  - End-of-the-pipe-Lösung, Minimierung der Spurenstoffbelastung im Ablauf der Kläranlage
  - Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlamm Entsorgung
- Bei der Trinkwasseraufbereitung (im Wasserwerk)

Eintragspfade von Spurenstoffen werden in Bild 2 dargestellt.

2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

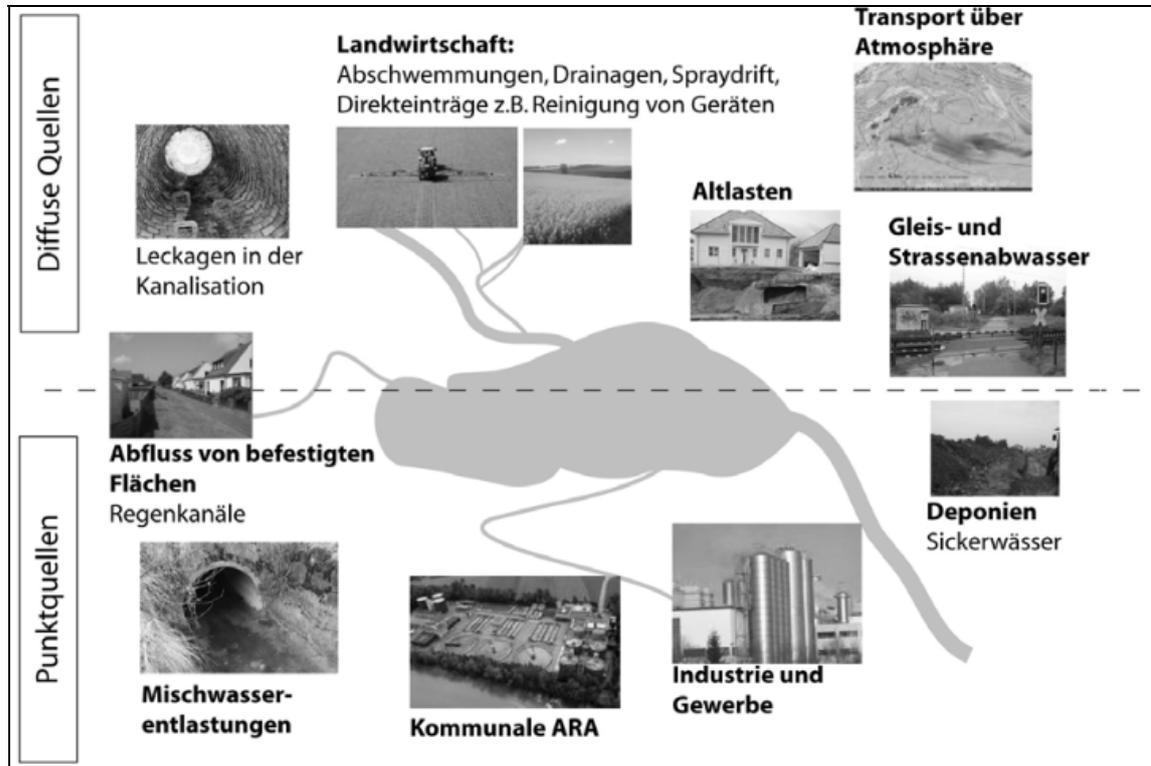


Bild 2: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [Götz et al., 2010]

### **3 Rechtliche Belange und Grenzwerte**

Anforderungen an die weitergehende Behandlung von Mikroschadstoffen in Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen leiten sich aus Richtlinien und Gesetzgebungen der Europäischen Union, des Bundes und der Länder ab.

Nach Mitteilung der Bezirksregierung Detmold ist die wasserrechtliche Beurteilung zu Mikroschadstoffen wie folgt zusammenzufassen [Sürder, 2016]:

*Rechtlicher Ansatzpunkt für den Umgang mit Mikroschadstoffen in Gewässern sind die gesetzlichen Regelungen zur Bewirtschaftung von Oberflächengewässern. Die wichtigsten Rechtsquellen hierzu sind das Wasserhaushaltsgesetz (WHG), die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) des Bundes sowie das Landeswassergesetz des Landes Nordrhein-Westfalens (LWG). Die Regelungen zur Bewirtschaftung gehen dabei auf die Wasserrahmenrichtlinie der EU (2000/60/EG) und die zugehörigen Tochterrichtlinien zurück, die einen europaweit einheitlichen Rahmen für die Gewässerbewirtschaftung vorgegeben haben.*

*Nach § 27 Abs. 1 WHG sind oberirdische Gewässer so zu bewirtschaften, dass (1) eine Verschlechterung ihres ökologischen und chemischen Zustands vermieden wird (Verschlechterungsverbot) und (2) ein guter ökologischer und guter chemischer Zustand erreicht wird (Zielerreichungs- oder Verbesserungsgebot). Handelt es sich um ein künstliches oder erheblich verändertes Gewässer, so tritt an die Stelle des guten ökologischen Zustands das gute ökologische Potenzial, das für diese Gewässer angepasste Anforderungen stellt.*

*Die abstrakt formulierten Vorgaben des WHG hat der Bund näher in der Oberflächengewässerverordnung konkretisiert. Die Oberflächengewässerverordnung legt nicht nur die Maßstäbe für die Zustandsbewertung von Oberflächengewässern fest, sondern enthält auch für einzelne Mikroschadstoffe verbindliche Konzentrationswerte im Gewässer (sog. Umweltqualitätsnormen). Hierzu zählen etwa die Metalle wie z.B. Arsen, Cadmium, Kupfer, Nickel und Quecksilber, Pflanzenschutzmittel wie Bentazon, Diuron, Mecoprop sowie Organozinnverbindungen, TBT oder PAK's. Mit der letzten Novellierung der Oberflächengewässerverordnung in 2016 sind weitere Stoffe wie z.B. Dioxine, PFOS, das Biozid Triclosan, das Fungizid Carbendazim, das Insektizid Imidacloprid und die Herbizide Flufenacet und Nicosulfuron hinzugekommen.*

*Die Oberflächengewässerverordnung enthält jedoch für viele Mikroschadstoffe, die für die Gewässerökologie relevant sein können, keine Vorgaben (sog. unregelte Stoffe). Soweit aber die Einleitung dieser Stoffe zu einem Defizit im Gewässer beiträgt bzw. zu besorgen ist, dass*

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

*die Einleitung einen Beitrag leistet, so dass die Bewirtschaftungsziele nicht eingehalten werden, besteht Handlungsbedarf. Dies ist dann der Fall, wenn nach den Ergebnissen des Monitorings nach § 10 OGewV der gute Zustand bzw. das gute ökologische Potential nicht erreicht wird, weil die biologische Qualitätskomponente mäßig oder schlechter ist (§ 5 Abs. 4 Satz 1 OGewV),*

*Mikroschadstoffe in der betroffenen Einleitung nachgewiesen sind, die zwar nicht in der Anlage 6 zur OGewV geregelt sind, für die aber die Anlage D4 des Monitoringleitfadens NRW Umwelt: [http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden\\_Monitoring\\_Oberflaechengewasser\\_Teil\\_D/\\_Anlage\\_4](http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberflaechengewasser_Teil_D/_Anlage_4)) Konzentrationswerte enthält, bei deren Überschreitung die aquatische Biozönose möglicherweise geschädigt wird und die Konzentrationswerte der Anlage D4 überschritten sind.*

*In diesem Fall ist davon auszugehen, dass die Überschreitung des Konzentrationswertes für den jeweiligen Mikroschadstoff zumindest mitursächlich für die Schädigung der aquatischen Biozönose ist.*

*Die Wasserbehörden haben bei der Bewirtschaftung der Gewässer sicherzustellen, dass die in der OGewV geregelten Umweltqualitätsnormen eingehalten werden. Dies kann durch entsprechende Nebenbestimmungen bei Einleitungserlaubnissen für Abwassereinleitungen geschehen.*

*Wenn zwischen Mikroschadstoff und Verfehlung der Bewirtschaftungsziele ein Zusammenhang zu besorgen ist, kann die zuständige Wasserbehörde - auf Grundlage von §§ 12 Abs. 1 Nr. 1, Abs. 2, 57 Abs. 1 Nr. 2 WHG weitergehende Anforderungen an die betroffene Abwassereinleitung stellen. Soweit eine bereits bestehende Einleitung betroffen ist, ist auch eine nachträgliche Anpassung der Einleitungserlaubnis nach §§ 13 Abs. 2 Nr. 1, 100 WHG zulässig, jeweils in Verbindung mit §§ 6, 27 Abs. 1 (bzw. Abs. 2 für erheblich veränderte Gewässer), 3 Nr. 7 und Nr. 10 WHG und den Anlagen 3 und 4 zur OGewV.*

#### **3.1 EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen**

In der Europäischen Union ist eine Reduktion der Belastungssituation mit gefährlichen Schadstoffen in Oberflächengewässern über die Wasserrahmenrichtlinie geregelt. Zum Erreichen der Ziele wurden Umweltqualitätsnormen (UQN) für einzelne Substanzen als maximal akzeptable Umweltkonzentration eingeführt, die ein Risiko für aquatische Organismen darstellen. Bei diesen Substanzen, bzw. prioritären Stoffen, handelt es sich um Chemikalien, die besonders gefährlich sind, da sie sich im Körper des Menschen und in den Lebewesen im Gewässer anreichern (Bioakkumulation), sehr giftig sind (Toxizität) und sich in der Umwelt nur sehr schlecht abbauen (Persistenz).

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

Die Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik vom 16. Dezember 2008 (ABl. EG Nr. L 348 S.84) knüpft an Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) über Strategien gegen Wasserverschmutzung an.

Mit dieser am 13. Januar 2009 in Kraft getretenen Richtlinie werden für 33 prioritäre Stoffe Umweltqualitätsnormen (UQN) aufgestellt, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt und die Gesundheit zu erreichen. Diese Umweltqualitätsnormen stellen den wesentlichen Maßstab für den nach der Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer dar. Der Eintrag der "prioritären Stoffe" in die Gewässer muss schrittweise reduziert werden.

Mit Inkrafttreten der Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments vom 12. August 2013 u.a. zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie) und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik wurde die erste Revision der Liste prioritärer Stoffe verbindlich. Die wichtigsten Änderungen betreffen die Aufnahme 12 neuer Stoffe bzw. Stoffgruppen in die Liste der prioritären Stoffe (Anhang X der RL 2000/60/EG), 6 der neuen Stoffe wurden als prioritäre gefährliche Stoffe eingestuft; somit sind nun insgesamt 45 Stoffe bzw. Stoffgruppen durch die Richtlinie geregelt.

In der Liste der prioritären Stoffe wurden die "prioritär gefährlichen Stoffe" besonders hervorgehoben, die toxisch, bioakkumulierend sind oder vergleichbaren Anlass zur Besorgnis geben. Die Einleitungen und Emissionen dieser Stoffe soll innerhalb eines bestimmten Zeitraums ganz eingestellt werden, sodass sie langfristig nicht mehr in Gewässern auftreten [BMLFUW, 2015].

Daneben wurde in der Richtlinie 2013/39/EU u.a. eine regelmäßig fortzuschreibende sogenannte Beobachtungsliste für Stoffe eingeführt, die ein erhebliches Risiko für die aquatische Umwelt aufweisen und für die keine Überwachungsdaten vorliegen. Zur Sammlung von Überwachungsdaten wurden in die Beobachtungsliste Diclofenac, 17 $\alpha$ -Ethinylöstradiol und 17 $\beta$ -Östradiol aufgenommen. Nach Aktualisierung (Anhang zum EU-Durchführungsbeschluss 2015/495) sind ergänzend das Verhütungsmittel Östron, Makrolid-Antibiotika, vier Pflanzenschutzmittel (Oxadiazon, Triallat, Methiocarb, Neonicotinoide) sowie die Stoffe 2,6-Ditert-butyl-4methylphenol (Kosmetika) und 2-Ethylhexy-4-methoxycinnamat (Sonnencremes) aufgeführt.

Der EU-Durchführungsbeschluss 2015/495 ist für die EU-Mitgliedsstaaten verbindlich. Es ist davon auszugehen, dass im Verfahren zur Anpassung der Bundes-Oberflächengewässerverordnung eine Umsetzung erfolgen wird [StGB NRW, 2015]

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

Die geänderten Umweltqualitätsnormen sind für die bestehende Liste prioritärer Stoffe ab dem 22.12.2015, für die neuen Stoffe ab dem 22.12.2018 anzuwenden. Die Revision der Liste prioritärer Stoffe hat spätestens 4 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie (2017) zu erfolgen, danach alle 6 Jahre. Die Vorgaben der Richtlinie 2013/39/EU müssen bis zum 14.9.2015 in nationales Recht umgesetzt werden [BMLFUW, 2015].

#### **3.2 Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen**

Das grundlegende Bewirtschaftungskonzept der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) für Oberflächengewässer findet sich in den Paragraphen 27 bis 31 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) wieder. Geregelt werden hier die für Oberflächengewässer zu erreichenden Bewirtschaftungsziele: guter ökologischer Zustand bzw. Potenzial und guter chemischer Zustand, einschließlich der einzuhaltenden Fristen sowie der zulässigen Ausnahmen.

Im Hinblick auf die Vorgaben des EU Rechts hat das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) die Regelung von Detailfragen zur Bewirtschaftung der Oberflächengewässer auf die Verordnungsebene verlagert. Nach § 23 Absatz 1 und 2 sind konkrete Anforderungen an die Gewässereigenschaften, an die Benutzung von Gewässern sowie Ermittlung, Beschreibung, Festlegung und Einstufung sowie Darstellung des Gewässerzustands durch eine Bundesverordnung zu regeln. Dasselbe gilt für die Überwachung der Gewässereigenschaften, die Anforderungen an Messmethoden und –verfahren sowie die wirtschaftliche Analyse [Umweltbundesamt, 2014].

Auf Grundlage dieser Ermächtigung wurde am 25. Juli 2011 die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) verabschiedet. Diese Verordnung regelt bundeseinheitlich die detaillierten Aspekte des Schutzes der Oberflächengewässer und enthält Vorschriften zur Kategorisierung, Typisierung und Abgrenzung von Oberflächenwasserkörpern entsprechend den Anforderungen der WRRL.

Die OGewV setzt ferner EU-Vorgaben zu Umweltqualitätsnormen (enthalten in der Richtlinie 2008/105/EG), zu Qualitätsanforderungen an die Analytik und zur Interkalibrierung in nationales Recht um. Sie formuliert unter anderem Maßgaben an die Bestandsaufnahme der Belastungen und zum chemischen und ökologischen Zustand bzw. Potenzial, zum Beispiel über die Festlegung flussgebietsspezifischer Umweltqualitätsnormen [Umweltbundesamt, 2014].

Die EU-Richtlinie 2013/39/EU hat für weitere prioritäre Stoffe Umweltqualitätsnormen für insgesamt 45 prioritäre Stoffe festgelegt, die in die Neufassung der OGewV vom 20.06.2016 (Anlage

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

8, Tabelle 2) übernommen wurden. Als Grundlage zur Beurteilung des ökologischen Zustandes und des ökologischen Potenzials werden in Anlage 5 insgesamt 67 weitere Stoffe aufgeführt.

Mit Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) vom 15.11.2014 (Gesetz zur Änderung des Umweltstatistikgesetzes und des Wasserhaushaltsgesetzes) wird u.a. geregelt:

- § 23 Abs. 1 Nr. 13 WHG (neu): Ermächtigung, durch Rechtsverordnung nähere Regelungen zu Maßnahmenprogrammen und Bewirtschaftungsplänen auf Grund bindender Rechtsakte der EU zu treffen
- § 29 Abs. 1 Satz 2 WHG (neu): Möglichkeit, zur Umsetzung bindender Rechtsakte der EU durch Rechtsverordnung Fristen zur Erreichung des guten Zustands zu regeln, die von § 29 Abs. 1 Satz WHG abweichen

Rechtliche Anforderungen zur Einleitung von Abwasser sind in der Abwasserverordnung (AbwV) des Bundes geregelt, Anforderungen für Spurenstoffe sind bisher nicht enthalten.

### 3.3 Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen

Gemäß Artikel 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie ist für jedes Flussgebiet in Europa ein Bewirtschaftungsplan zu erstellen. Dies ist auch für internationale Flussgebiete anzustreben, mindestens aber ist für den nationalen Teil einer Flussgebietseinheit ein zusammenhängender Plan zu erstellen. Die Bewirtschaftungspläne der Flussgebietseinheiten können durch detaillierte Bewirtschaftungspläne ergänzt werden. Nordrhein-Westfalen hat den Bewirtschaftungsplan, das Maßnahmenprogramm für die Landesanteile an den Flussgebieten Rhein, Weser, Ems und Maas sowie die Planungseinheitensteckbriefe - mit Planungsergebnissen und Programmmaßnahmen für einzelne Wasserkörper bzw. Wasserkörpergruppen erstellt [MKULNV NRW, 2016].

Der zweite Bewirtschaftungsplans für Nordrhein-Westfalen für den Zeitraum 2016 bis 2021 ist mit Beschluss vom 18.11.2015 des Umweltausschusses des nordrhein-westfälischen Landtags am 22.12.2015 in Kraft getreten und wird derzeit aktiv umgesetzt.

Die in die Bewirtschaftungspläne einfließenden Daten zu Oberflächengewässern wurden im Rahmen des zweiten Monitoringprogrammes zur Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für den zweiten Zyklus 2016-2021 nach der WRRL erhoben. Grundlage für die Datenerhebung ist der Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer (Teil A – D) des MUNLV (2009). Besondere Bedeutung hat der Anhang D4 mit den Bewertungsgrundlagen für die in Oberflächengewässern untersuchten Parameter.

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

In der Anlage D4 finden sich im Wesentlichen die Bewertungsgrundlagen für die vom LANUV bzw. den sondergesetzlichen Wasserverbänden in Oberflächengewässern untersuchten Parameter. Lediglich die Orientierungswerte für die allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter befinden sich in der Anlage D5.

Die aktuelle D4 Liste vom April 2014 unterscheidet in:

- Liste mit Umweltqualitätsnormen für gesetzlich verbindlich geregelte Stoffe u.a. aus Anlage 5 und 7 der OGewV, RL 2013/39/EU, LAWA u.a.. Die Liste enthält 256 UQN-Werte für im Jahresmittel einzuhaltende Konzentrationen von Stoffen im Wasser, in Sedimenten und in Biota (Lebewesen), sowie 30 Stoffe, für die ein Jahreshöchstwert als UQN einzuhalten ist.
- Liste mit 384 Orientierungswerten (OW) und präventiven Versorgungswerten (PV) für gesetzlich nicht verbindlich geregelte Stoffe.

Die Spalten A-D enthalten Informationen zu den einzelnen Stoffen/Stoffgruppen, die Spalten E-H stellen den im zweiten Zyklus angewandten Bewertungsmaßstab und das zugehörige Kompartiment dar, in den Spalten I-R finden sich die zugrunde gelegten Quellen. Bei den Quellen wird zwischen gesetzlich verbindlich (Spalten J-N) und gesetzlich nicht verbindlich (Spalten O-Q) unterschieden. Grundsätzlich können je Stoff/Stoffgruppe mehrere Quellen genannt sein; welche Quelle ausgesucht wurde, ist der Spalte I zu entnehmen.

Die D4 Liste ist im Internet einzusehen (s.o. Link).

Der Konzentrationswert für synthetische organische Schadstoffe von  $< 0,1 \mu\text{g/l}$  pro Einzelstoff wird in Nordrhein-Westfalen generell als allgemeiner Vorsorgewert (VW) für Oberflächengewässer diskutiert, aus denen direkt oder indirekt Trinkwasser gewonnen wird oder gewonnen werden soll [MKULNV, 2013].

In einer im Auftrag des MKULNV NRW erstellten Situationsanalyse zum Ist-Zustand der Gewässer in Nordrhein-Westfalen wird ein weitreichender Handlungsbedarf in Bezug auf den Arzneimittelrückgang aus kommunalem Abwasser festgestellt [Götz et al., 2012]. Verschiedene Ausbauszenarien von Kläranlagen die zu einer substanziellen Reduktion der Spurenstoffeinleitungen zur Erreichung von Trinkwasserzielwerten führen werden diskutiert.

Durch Anreizsysteme wird die Umsetzung von Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen auf Basis von freiwilligen Maßnahmen gefördert. Bei festgestellten Belastungs-

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

schwerpunkten (Beispiel Ruhr) sind ordnungsrechtliche Vorgaben mit Bezug auf die Oberflächengewässerverordnung möglich.

Da in NRW ein sehr hoher Anteil des Trinkwassers aus Uferfiltrat gewonnen wird, ist bei hoher Belastung der Fließgewässer mit organischen Spurenstoffen, die mehrheitlich aus kommunalen Abwassereinleitungen stammen, eine Ertüchtigung der Kläranlagen zur Mikroschadstoffelimination angestrebt.

Das Umweltministerium NRW (MKULNV) hat zur Spurenstoffelimination mit Erlass vom 21.03.2013 Az.: IV-7 042 0A6) verfügt:

„Sofern Kläranlagen mitursächlich sind für problematische Belastungen der Oberflächengewässer mit Mikroschadstoffen, ist grundsätzlich zu prüfen, welche Minderungsmaßnahmen ergriffen werden können. Dies trifft insbesondere bei der Neuerteilung von Einleitungserlaubnissen zu und kann ggf. auch eine Begrenzung einzelner Mikroschadstoffe in der Einleitungserlaubnis zur Folge haben.“

Mit einem weiteren Erlass vom 04.07.2013 wird verfügt:

„Die Prüfung der Gewässerrelevanz und der Verhältnismäßigkeit der technischen Machbarkeit kann in einer Machbarkeitsstudie geprüft und nachgewiesen werden. ... Erst nach Vorliegen dieser Machbarkeitsstudie kann über die Erteilung einer Einleitungserlaubnis über einen längeren Zeitraum befunden werden“.

4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

## 4 Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

Die Abwasserreinigung in biologischen Kläranlagen kann durch Strippung, biologischen Abbau und durch Adsorption an den abgezogenen Primär- und Überschussschlamm erfolgen.

Bereits durch die konventionelle Abwasserreinigung können so viele Spurenstoffe reduziert werden wie Auswertungen aus 14 Kläranlagen von Götz et al. (2010) und Vergleiche mit internationalen Studien in Tabelle 1 zeigen [BAFU, 2012].

Tabelle 1: Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [BAFU, 2012]

Stoff	Gruppe	Zulauf	Ablauf	Elim Micropoll	Elim Studien	Anz. Literaturwerte
		ng/l	ng/l	%	%	#
Atenolol	Betablocker	1650 ± 550	920 ± 380	44 ± 18	65 ± 27	10
Bezafibrat	Lipidsenker	370 ± 270	240 ± 250	61 ± 24	68 ± 27	14
Carbamazepin	Anti-Epileptikum	730 ± 670	560 ± 200	11 ± 18	0 ± 36	31
Clarithromycin	Antibiotikum	510 ± 250	410 ± 170	40 ± 20	28 ± 22	12
Diclofenac	Analgesikum	1720 ± 740	1340 ± 500	14 ± 17	27 ± 34	26
Ibuprofen	Analgesikum	3950 ± 1910 <sup>a)</sup>	< 60 <sup>b)</sup>	96 ± 7	87 ± 20	30
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel	2480 ± 2232 <sup>a)</sup>	< 200 – > 4000	23 ± 20	0 ± 0	2
Iopromid	Röntgenkontrastmittel	5860 ± 2852 <sup>a)</sup>	< 200 – > 4000	39 ± 33	38 ± 46	8
Mefenaminsäure	Analgesikum	1980 ± 650	340 ± 300	73 ± 29	54 ± 18	7
Naproxen	Analgesikum	780 ± 280	550 ± 140	51 ± 20	70 ± 17	19
Sulfamethoxazol	Antibiotikum	670 ± 350	420 ± 180	26 ± 23	47 ± 29	22
Trimethoprim	Antibiotikum	149 ± 53 <sup>a)</sup>	118 ± 48 <sup>a)</sup>	36 ± 17	39 ± 38	29
Bisphenol A	Industriechemikalie	1470 ± 1540 <sup>a)</sup>	290 ± 270	73 ± 27	73 ± 19	6
Ethinylestradiol	Kontrazeptivum	k.D.	2 ± 2	k.D.	89 ± 9	4
Nonylphenol	Industriechemikalie	2640 ± 2960 <sup>a)</sup>	640 ± 540	67 ± 26	67 ± 12	5
<b>Mittelwert</b>				<b>47</b>	<b>50</b>	

<sup>a)</sup> Mittelwert ARA Regensburg und ARA Lausanne; <sup>b)</sup> ARA Regensburg; Literaturwerte aus: Batt et al. 2007, Bernhard et al. 2006, Carballea et al. 2004, Clara et al. 2005, Göbel et al. 2007, Gomez et al. 2007, Heidler & Halden 2008, Joss et al. 2005, Jelic et al. 2011, Kasprzyk-Hordern et al. 2009, Kimura et al. 2007, Lindberg et al. 2005, Maurer et al. 2007, Nakada et al. 2006, Radjenovic et al. 2007, Santos et al. 2007, Sponberg & Witter 2008, Ternes 1998, Ternes et al. 2007, Wick et al. 2008, Yu et al. 2006, Zuehlke et al. 2006

Anthropogene Spurenstoffe können sich stark hinsichtlich ihrer physiko-chemischen Eigenschaften unterscheiden. Das Abbauverhalten ist dabei u.a. von Molekülaufbau und –struktur (Reaktionseigenschaften), Polarität / Hydrophobie (Wasserlöslichkeit), Sorptionsverhalten (Wechselwirkung Grenzflächen fest/flüssig/gasförmig) sowie Abbaubarkeit / Persistenz der Stoffe abhängig.

Während zum Beispiel das Schmerzmittel Ibuprofen im Belebungsverfahren effektiv reduziert werden kann können andere Substanzen häufig nur unzureichend oder gar nicht reduziert werden wie das Antiepileptikum Carbamazepin oder das Röntgenkontrastmittel Iopamidol, die in

#### 4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

---

verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Ablauf der Kläranlagen zu finden sind, da sie einem Abbau in der kommunalen Kläranlage nicht zugänglich sind.

Eine Adsorption von Spurenstoffen an der Schlammatrix ist bei entsprechenden Oberflächeneigenschaften möglich. Dies gilt insbesondere für lipophile Arznei- und Haushaltsmittel und solche mit positiv geladenen funktionellen Gruppen. Wird der Schlamm in der Folge abgezogen, ist eine Entfernung aus dem Naturkreislauf nur im Falle einer Verbrennung mit hinreichender Abluftbehandlung gewährleistet. Bei einer landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung ist eine Remobilisierung der Spurenstoffe nicht ausgeschlossen.

Beim biologischen Abbau werden hochmolekulare, energiereiche Stoffe zu niedermolekularen, energiearmen umgesetzt. Die Voraussetzung für einen biologischen Abbau ist die Bereitstellung eines geeigneten Enzymsatzes in ausreichender Konzentration. Fehlen Enzyme oder sind sie in nicht ausreichender Konzentration vorhanden, wird ein Stoff nicht oder nur langsam abgebaut. Ein hohes Schlammalter begünstigt den biologischen Abbau prinzipiell.

Man geht davon aus, dass eine größere mikrobielle Vielfalt und bessere Adaptions- und Sorptionsprozesse die Ursachen für einen optimaleren biologischen Abbau sind [Cornel, 2007].

Spezielle Estrogene scheinen in Belebungsanlagen mit unterschiedlich belüfteten Zonen (anoxisch/anaerob) mit Schlammalter > 15 Tage gut abgebaut zu werden. Auch eine kaskadierte biologische Stufe kann aufgrund der höheren Abbaugeschwindigkeit bei höherer Konzentration in der ersten Stufe (Reaktion 1. Ordnung) zu erhöhten Eliminationsraten führen. Aus dem gleichen Grund führt eine hohe Rezirkulationsrate und Rücklaufschlammführung zu einem verlangsamten Abbau [Cornel, 2007].

Folgende verfahrenstechnische Bedingungen wirken sich generell in der Kläranlage positiv auf die Elimination von Spurenstoffen aus:

- Hohes Schlammalter
- Kaskadierung und geringe Kreislauf- und Rücklaufschlammführung
- Weitgehende Suspensaentnahme (Filtration) zur Entfernung adsorptiv gebundener Stoffe

Eine gezielte Elimination von Spurenstoffen ist in einer konventionellen Belebungsanlage jedoch nicht möglich. Dieses kann nur mit einer weitergehenden Abwasserreinigung erfolgen, insbesondere durch Verfahren zur Sorption der Spurenstoffe an Aktivkohle und zur chemischen Oxidation.

## 5 Verfahren zur Spurenstoffelimination

Oxidative oder adsorptive Verfahren sind geeignet im Anschluss an die konventionelle Abwasserreinigung ein Großteil der Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Die Verfahren werden zum Teil mehrstufig und kombiniert (Pulveraktivkohle (PAK) / Ozon / granuliert Aktivkohle (GAK)) eingesetzt.

Daneben gibt es weitere Verfahren, die in der kommunalen Abwasserreinigung für eine großtechnische Anwendung derzeit noch kaum untersucht, nicht leistungsfähig genug oder zu unwirtschaftlich sind wie AOP (Advanced Oxidation Process), Ferrat, Oxidation mit Chlordioxid, Photolyse (UV-Bestrahlung), Ultraschall und Membranverfahren wie die Nanofiltration, welche hier nicht weiter betrachtet werden.

### 5.1 Pulveraktivkohle (PAK)

Granulierte Aktivkohlen (GAK) bzw. Kornkohlen mit einem Korndurchmesser von 0,5 bis 4 mm werden vor allem in Form von Festbett-Adsorbern, sogenannte Aktivkohlefilter oder Adsorptionsfilter, verwendet. Des Weiteren wird Aktivkohle in Form von Pulveraktivkohle (PAK) mit einem Korndurchmesser von 1 bis 500 µm in der Abwasserbehandlung eingesetzt. Hierbei wird die Pulveraktivkohle direkt in den zu behandelnden Abwasserstrom dosiert und durch Absetzbecken und einer Filtration wieder abgetrennt.

Vorteile beim Einsatz von Aktivkohle sind:

- Tatsächliche Entfernung der Spurenstoffe bzw. Mikroschadstoffe
- Zusätzliche Reduzierung der CSB- und TOC-Ablaufwerte um bis zu 50 %

Grundsätzlich kann der Einsatz von Pulveraktivkohle sowohl simultan in der vorhandenen biologischen Reinigungsstufe erfolgen, als auch als nachgeschaltetes Verfahren.

Zu unterscheiden sind in Abhängigkeit von der Dosierstelle (Bild 3):

- Vorgeschaltete bzw. simultane Verfahren:
  - a) PAK-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung).
- Nachgeschaltete Verfahren:
  - b) PAK-Dosierung vor/in einem Sandfilter
  - c) PAK-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

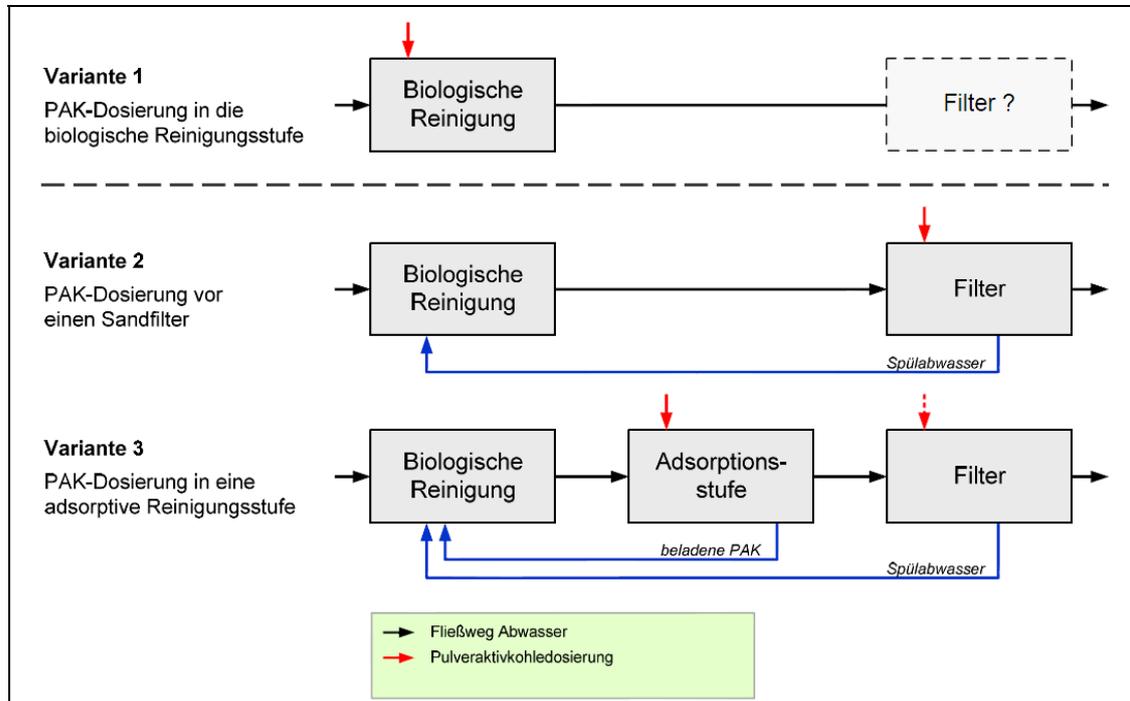


Bild 3: Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung  
Quellen [Benstörn et al., 2015]

Aufgrund der hohen organischen Belastung in der Biologie der Kläranlage kann in nachgeschaltete Verfahren zur Mikroschadstoffelimination die Adsorptionskapazität der Aktivkohle effizienter zur Entfernung von Spurenstoffen genutzt werden.

Bei der Anwendung von PAK wird vor allem eine hohe und schnelle Beladung der Aktivkohle bzw. Reduktion der zu adsorbierenden Stoffe angestrebt. Dabei soll die Kontaktzeit möglichst gering und der Wirkungsgrad hoch sein, um eine möglichst wirtschaftliche Reinigung zu erzielen. Beeinflusst wird dieses vor allem durch die Dosierstelle der PAK.

a) PAK-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung)

Kennzeichen des adsorptiven Reinigungskonzepts ist die simultane PAK-Zugabe in das Belebungsbecken. Die PAK wird direkt in die Nitrifikationszone dosiert, in den belebten Schlamm eingebaut und mit dem Überschussschlamm aus der Reinigungsstufe entfernt. Der Belebungsstufe sollte eine Filtration nachgeschaltet sein, da bei dieser Verfahrensvariante ein Austrag von PAK durch den Abtrieb von abfiltrierbaren Stoffen aus der Nachklärung zu erwarten ist.

Dieses Verfahren stellt eine relativ simple Option zur Entfernung von organischen Spurenstoffen dar. Als Hauptvorteil werden hierbei die geringen Investitionskosten angeführt, da die bestehende

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Belebungsanlage lediglich durch eine Dosiereinrichtung und eine Lagerstätte für die Pulveraktivkohle zu erweitern ist. Zusätzlich ist eine Filtration nachzuschalten, um Austräge von PAK

Kennzeichen der PAK-Dosierung in das Belebungsbecken sind:

- Neben Adsorption auch positive Effekte auf die Reinigungsleistung durch veränderte biochemische Abbauprozesse
- PAK wird über den Überschussschlamm aus dem System abgezogen
- Eine nachgeschaltete Flüssig/Fest-Trennung als gesonderte Sedimentations- und Filtrationsstufe kann i.d.R. nicht entfallen
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht mehr möglich
- Thermische Verwertung des Klärschlammes erforderlich
- Bei thermischer Schlammverwertung prinzipiell positive Auswirkung auf den Heizwert des Klärschlammes
- Positive Wirkung der Überschussschlamm auf Schlammwässerung
- Ökonomisch realisierbare PAK-Dosierung von 10 bis 20 mg/l

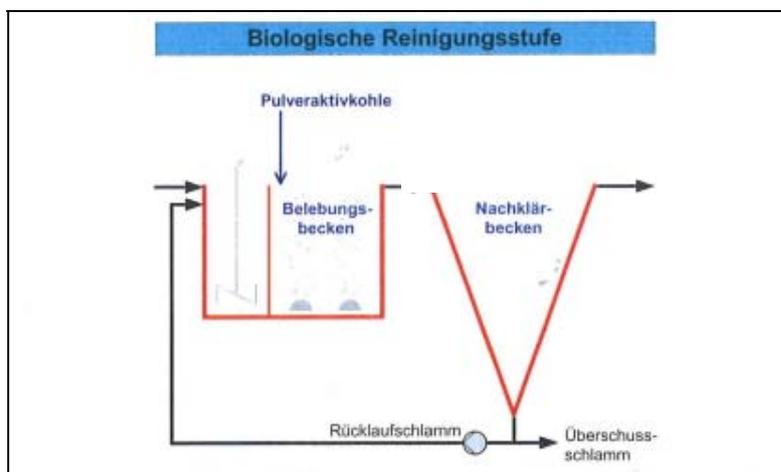


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

### b) PAK-Dosierung vor/in einem Sandfilter

Das adsorptive Reinigungskonzept dieser Variante besteht aus zwei Reinigungsstufen. Die frische PAK wird dem Abwasser nach der biologischen Reinigung kontinuierlich im Zufluss zur Filtration zugegeben. Der Überstau des Filters dient dabei als primärer Kontaktraum. Zur Sicherstellung eines weitgehenden Rückhalts des Adsorbens im Filterbett kann dem Abwasser vor dem Filter Fällmittel zugegeben werden. Die mit zunehmender Filterlaufzeit in das Filterbett eingelagerte

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

PAK wird mit dem Spülabwasser zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität der PAK in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt, in den belebten Schlamm eingebaut und mit dem Überschussschlamm aus dem Reinigungssystem ausgeschleust.

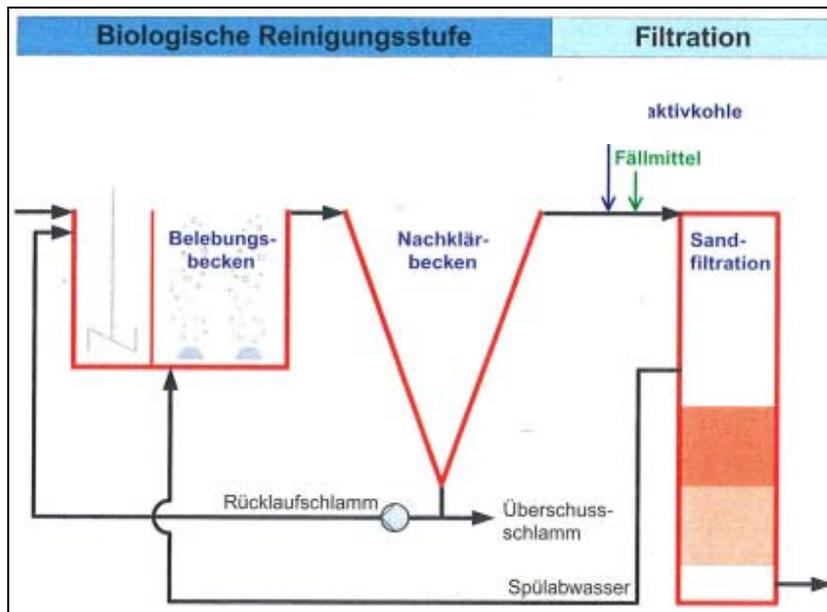


Bild 5: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]

c) PAK-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

Eine Möglichkeit, die Aktivkohle weitestgehend mit Spurenstoffen zu beladen, ist der Einsatz eines Kontaktbeckens mit nachgeschaltetem PAK-Rückhalt. Die Dosierung der frischen PAK erfolgt in der Adsorptionsstufe. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem als dreistufige Kaskade ausgebildeten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken. Die PAK wird zur Mehrfachbeladung aus der Sedimentationsstufe in das Kontaktbecken zurückgeführt (Rücklaufkohle). Überschüssige Kohle wird entweder in die Belebungsstufe geführt oder separat entwässert und der Entsorgung zugeführt.

Um im Sedimentationsbecken die PAK besser abtrennen zu können, wird vor dem Kontaktreaktor dem zufließenden Abwasser Fällmittel zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke dosiert.

Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Kohlestaubs zu erzielen, wird dem Kohle-Schlamm-Gemisch nach dem Kontaktreaktor Flockungshilfsmittel zudosiert. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte Kohle-Schlamm wird zur Mehrfachbeladung als Rücklaufkohle wieder in das erste Becken des Kontaktreaktors zurückgeführt. Die Entnahme des Kohle-Schlamm-Gemischs aus der Adsorptionsstufe erfolgt als Überschussschlamm.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Um die aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden Feinstpartikel besser im nachgeschalteten Sandfilter zurückhalten zu können, kann vor dem Filter nochmals Fällmittel zugegeben werden (Prinzip der Flockungsfiltration).

Das aus dem Filterbetrieb anfallende Spülabwasser und damit die zurückgehaltene PAK mit den entstandenen Fällmittelflocken, wird zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität ebenso wie die Überschusskohle in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Letztendlich wird die PAK zusammen mit dem biologischen Überschussschlamm aus dem Reinigungssystem entnommen. Eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ist nicht weiter möglich.

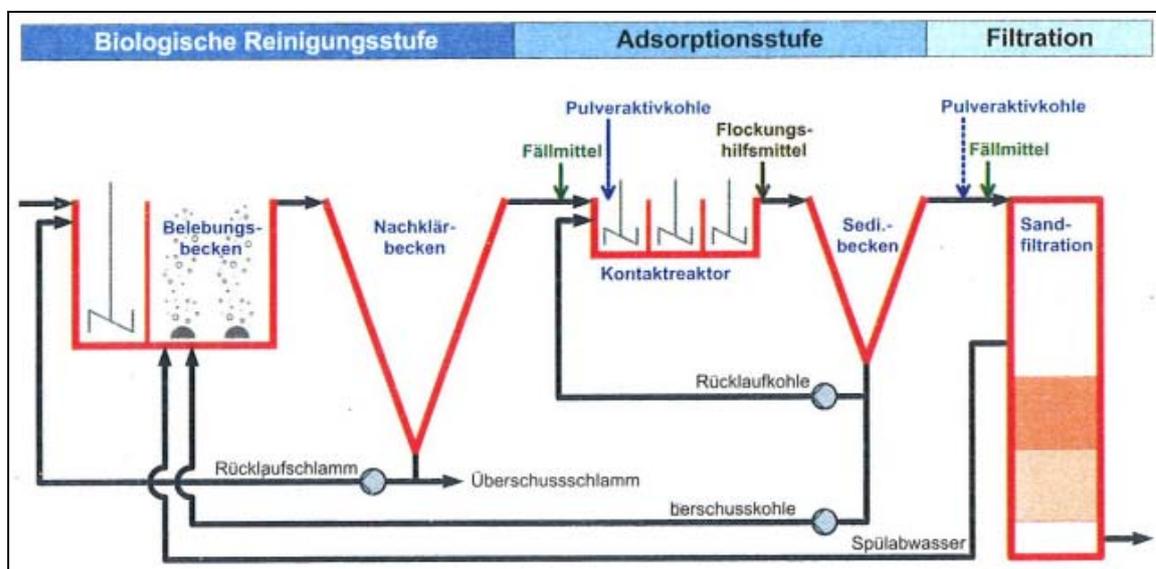


Bild 6: Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

## 5.2 Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern

Hierbei handelt es sich um relativ einfache Ausführungen eines Flüssigphasen-Adsorbers, dessen Festbett mit einer Höhe von 1 bis 3 m im Allgemeinen aus gekörnten bzw. granulierten Aktivkohlen (GAK) besteht. Die zu reinigende Flüssigkeit durchströmt den Filter, wodurch die Adsorptivmoleküle adsorbiert werden. Eine charakteristische Eigenschaft dieses Reinigungsprozesses ist eine wandernde Adsorptionszone. Sobald die Kapazitätsgrenze erreicht und das Filterbett erschöpft ist, muss der Filter außer Betrieb genommen werden, um eine Regeneration oder einen Austausch des Adsorbens (Aktivkohle) zu ermöglichen. Bei einer Nichteinhaltung droht ein Filterdurchbruch, wobei die adsorbierten Schadstoffe wieder aus dem Filterbett gespült werden können.

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

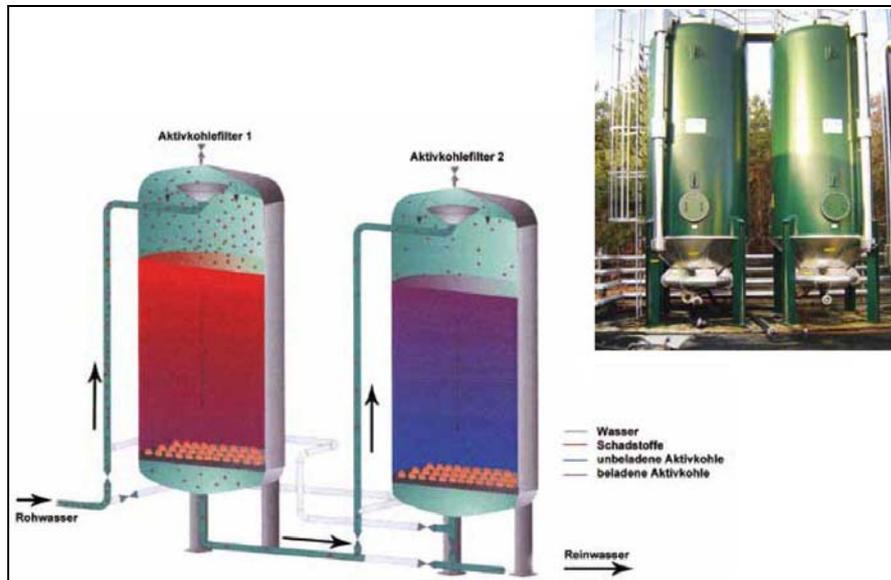


Bild 7: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

Neben dem Einsatz von granulierter Aktivkohle in Adsorbern, die insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung zur Anwendung kommen, wird derzeit mehrfach die Verwendung von granulierter Aktivkohle in vorhandenen Kläranlagen-Filtrationen großtechnisch erprobt (u. a. auf den Kläranlagen Gütersloh, Bielefeld Obere Lutter, Bad Oeynhausen). Einzelne Kammern vorhandener Flockungsfiltrationen wurden hier auf einen Betrieb mit granulierter Aktivkohle umgerüstet.

Eine dynamische Dyna-Sand Carbon Fließbett-Filtration wird derzeit auf zwei Kläranlagen in Deutschland zur Spurenstoffelimination betrieben, u.a. auf der Kläranlage Rietberg.

Kennzeichen zum Einsatz granulierte Aktivkohle in Festbettssystemen sind:

- Tatsächliche Entfernung der Schadstoffe
- Reduzierung der CSB- und TOC-Ablaufwerte
- Landwirtschaftliche Klärschlamm entsorgung bleibt möglich.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

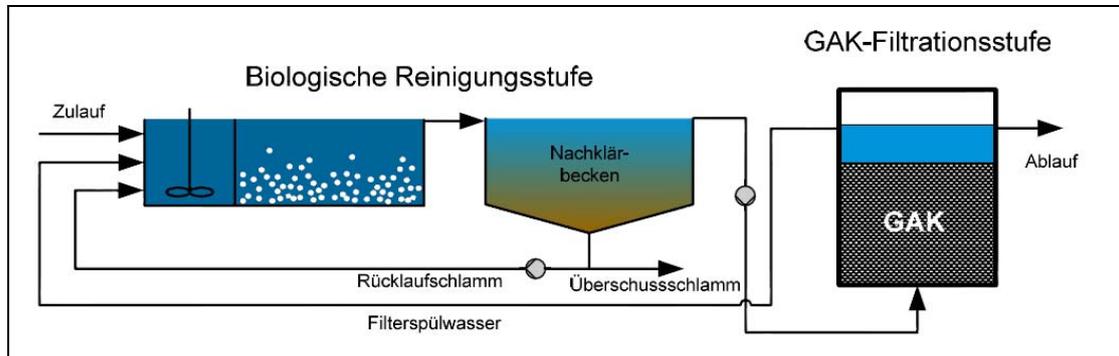


Bild 8: Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration

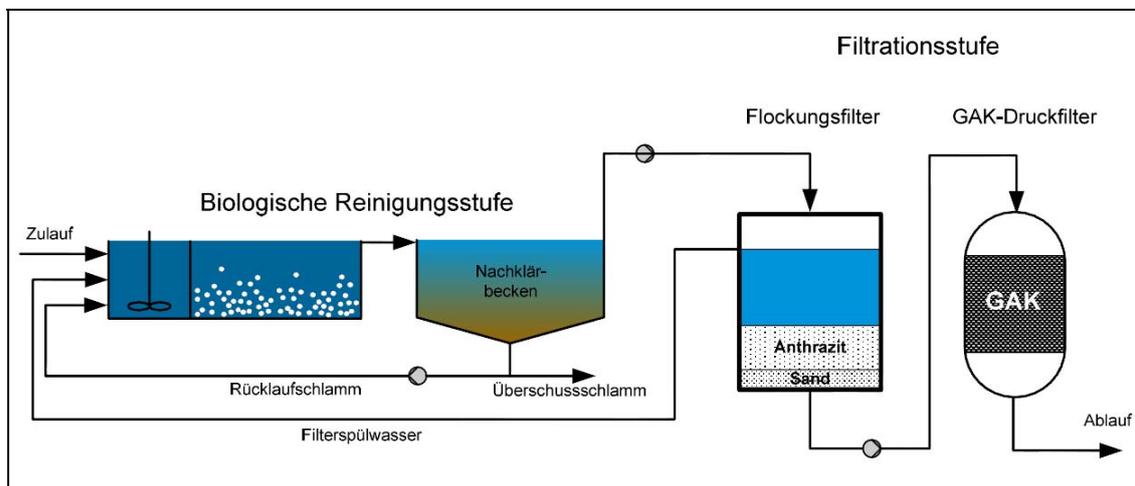


Bild 9: Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungfiltration

### 5.3 Oxidation mit Ozon (O<sub>3</sub>)

Auch in der Behandlung von kommunalen und industriellen Abwässern zur Spurenstoffelimination kann Ozon zum Einsatz kommen. Die Ozonierung wird dabei der üblichen Abwasserreinigung nachgeschaltet. Teilweise werden Ozonungen in Verbindung mit PAK-Anlagen und/oder Filterstufen kombiniert eingesetzt.

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind:

- Abtötung pathogener Keime (Desinfektion) zur Sicherung des Gewässers (z. B. in Hinsicht auf die Badegewässerrichtlinie)
- Oxidative Elimination/Transformation von nicht oder nur schlecht abbaubaren organischen Spurenstoffen (insbesondere Medikamentenrückstände)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Anlagen zur Ozonung werden hinsichtlich der Ozonerzeugung (flüssigem Sauerstoff/LOX, komprimierter Luft oder Sauerstoff über eine PSA-Anlage (Pressure Swing Adsorption)), des Reaktors (kaskadierter, Schlaufen-, Rohr-Reaktor) und des Eintragsystems (Pumpe-Injektor-System, Diffusoren) unterschieden. Die Nachbehandlung des Ablaufes der Ozonung kann z. B. in einem Sandfilter oder auch einem Schönungsteich erfolgen. Bild 10 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Ozonanlage.

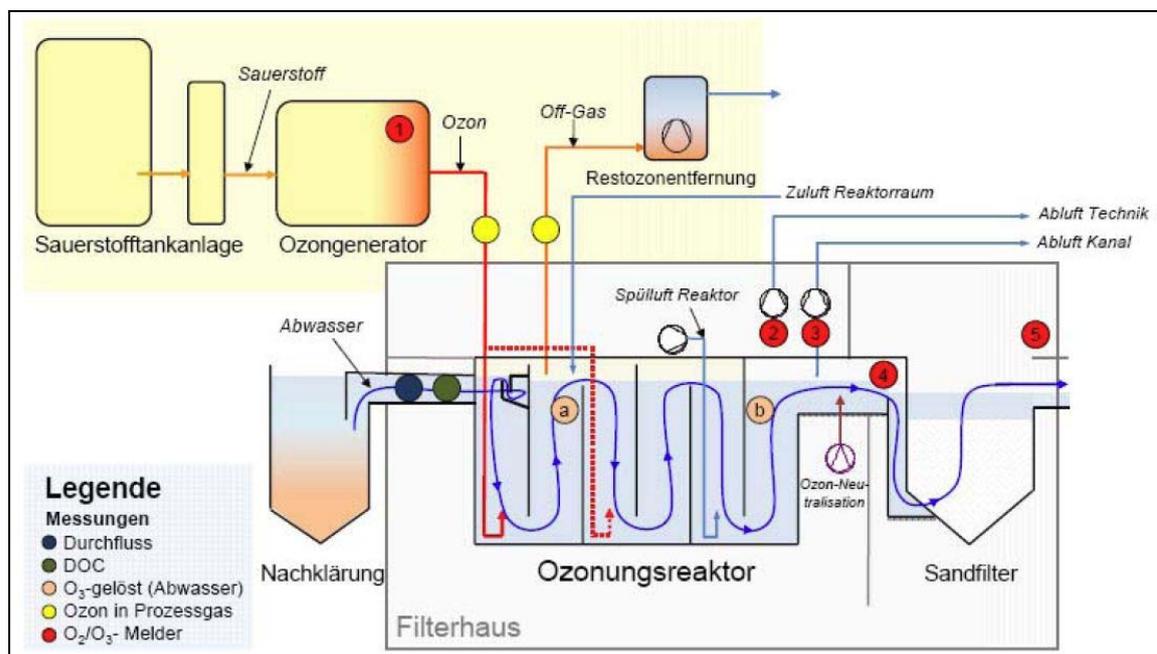


Bild 10: Schematische Darstellung einer Ozonanlage

Der Grad der Eliminationsleistung hängt maßgeblich von der zugeführten Ozonmenge ab. Bei Zugabemengen von 0,3 – 0,5 mg O<sub>3</sub>/mg DOC beträgt die Eliminationsleistung für die meisten Spurenstoffe > 50% und bei 0,6 – 0,8 mg O<sub>3</sub>/mg DOC > 80% [Hiller, 2011].

Die Reinigungsleistung ist spurenstoffabhängig. In der Kläranlage Duisburg-Vierlinden wurden bei Dosierungen von 2 mg O<sub>3</sub>/l bereits hohe Eliminationsraten und eine fast vollständige Entfernung bei 5 mg O<sub>3</sub>/l für Carbamazepin und Diclofenac erzielt. Andere Stoffe wie Amidotrizoesäure und Tris (2-chlorisopropyl) Phosphat wurden praktisch nicht eliminiert [Maus et al., 2014].

In geringem Umfang findet bei der Ozonung zur Mikroschadstoffelimination eine Hygienisierung (Entkeimung) des Abwassers statt. Zur Auslegung entsprechender Behandlungsstufen liegt das DWA-Merkblatt DWA-M 205 „Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser,“ vor.

Durch das höheren Oxidationspotentials von Ozon werden auch Stoffe oxidiert, die bei der biologischen Umsetzung als inert gelten.

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

In der Schweiz sowie in Deutschland werden bereits in erheblichem Umfang großtechnische Pilotanlagen zur Mikroschadstoffentfernung betrieben (siehe Kapitel 5.5). Zielsetzung dieser Anlagen ist es, die Technologie im Normalbetrieb zu erproben. Zu den untersuchten Verfahrensvarianten gehören auch Kombinationsverfahren aus Ozon und Aktivkohle, so dass auch Aussagen zu Kosten und erreichbaren Reinigungsgraden bei Einsatz von Verfahrenskombinationen vorliegen.

### 5.3.1 Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung

Durch Ozonung oxidieren viele Mikroverunreinigungen, es bilden sich sog. Transformationsprodukte. Die meisten Transformationsprodukte sind biologisch leicht abbaubar und haben eine geringere spezifische Wirkung als die Ursprungssubstanz [KOMS, 2016].

Bekannte Transformationsprodukte sind Bromat und Nitrosamine. Bromat gilt als potentiell kanzerogen und wird bei der Ozonung von bromidhaltigem Wasser gebildet. Der Trinkwassergrenzwert für Bromat gem. TrinkwV (2001) beträgt 10 µg/l. Bei geringen Bromidkonzentrationen im Abwasser von 30 – 90 µg/l wurde bei Versuchen in Regensdorf und Duisburg-Vierlinden der zulässige Trinkwassertoleranzwert von Bromat (10 µg/l) nicht überschritten. Bei hohen Bromidkonzentrationen (100 bis 150 µg/l) und hohen Ozondosen ( $> 0,7 \text{ g}_{\text{O}_3}/\text{g}_{\text{DOC}}$ ) wurde der Grenzwert teilweise überschritten [KOMS, 2016]. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann im Rahmen von Planungsprozessen eine Schwellenbewertung für Bromid erfolgen mit der die Bromatbildung abgeschätzt werden kann ( $C_{\text{Bromid}} \leq 100 \text{ µg/l} \rightarrow$  keine Limitierung bis  $z_{\text{spez.}}: 0,7 \text{ g}_{\text{O}_3}/\text{g}_{\text{DOC}}$ ) [KOMS, 2016].

*N*-Nitrosamine sind Reaktionsprodukte von Nitrit und sekundären Aminen (wie in Proteinen), die vor allem unter Hitzeeinwirkung gebildet werden. Sie kommen z.B. in Lebensmitteln pflanzlicher Herkunft vor. Sie können je nach Lebensmittelzusammensetzung im Körper gebildet und mit dem Urin ausgeschieden werden. NDMA (Dimethylnitrosamin) wird bei der Ozonung von Abwasser aus verschiedenen Aminen gebildet. NDMA ist gut wasserlöslich und kann Krebs erregen. Der Richtwert für Trinkwasser liegt in Deutschland bei 10 ng/l. Untersuchungen von Hollender et al. (2009) zeigten die Bildung von max. 30 ng/l NDMA. In der nachfolgenden Sandfiltration konnte ein Abbau um 50 – 80 % festgestellt werden.

### 5.4 Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe

Verfahren die zur Spurenstoffelimination Ozon als Oxidationsmittel verwenden bedingen die Nachschaltung einer biologischen Reinigungsstufe bzw. einer biologisch aktiven Stufe.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Restozon ist sicher zu vernichten, Abbauprodukte der Ozonung sind in einer biologisch aktiven nachgeschalteten Stufe abzubauen. Als zulässig ist die Nachbehandlung auch in einem Schö-  
nungsteich anzusehen. Darüber hinaus können auch verschiedene Filterverfahren eingesetzt wer-  
den wie Dyna-Sand Filter und automatische Schwerkräftfilter. Zur Abscheidung von Pulveraktiv-  
kohle hinter einer adsorptiven Reinigungsstufe bieten sich neben den vorgenannten Filtern u.a.  
auch Tuchfilter oder Fuzzy Filter an. Ein Fuzzy-Filter wird derzeit erstmalig in Deutschland in  
Verbindung mit einer PAK Dosierung auf der Kläranlage Bartrup installiert [Gantner et al., 2014].

Nachfolgend werden die in den Varianten zur Spurenstoffelimination vorgesehen Filtertypen Dyna-  
Sand Filter und Polstoff-Scheibentuchfilter einführend vorgestellt.

**Dyna-Sand® Filter**

Das Funktionsprinzip des Dyna-Sand® Filters verdeutlicht Bild 11. Der Filter kann kontinuierlich  
beschickt werden. Das Sandbett befindet sich in ständiger Bewegung von oben nach unten. Der  
Sand wird durch eine Mammutpumpe gehoben und vor erneuter Zugabe auf das Sandbett in ei-  
nem Sandwäscher gereinigt.

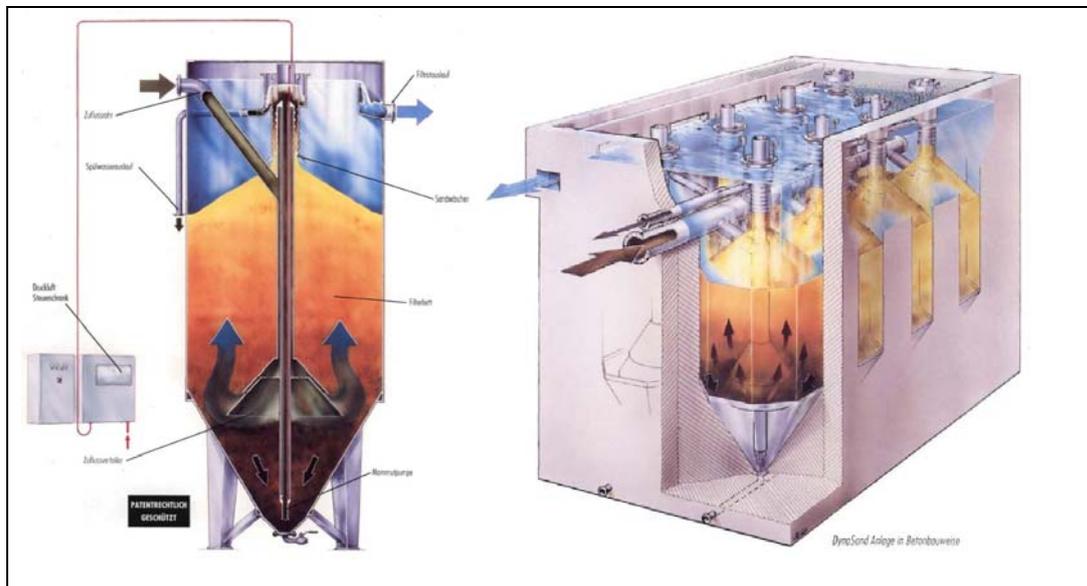


Bild 11: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**Polstoff-Scheibentuchfilter**

Tuchfilter werden auf Kläranlagen zur Feststoffentnahme, u.a. bei Schlammabtrieb aus Nachklärbecken oder in Kombination mit Fällungs/Flockungsanlagen eingesetzt sowie zur Vorfiltration vor UV-Entkeimungen oder Membranstufen. Erste großtechnische Betriebserfahrungen, u.a. auf der KA Lahr, zeigen eine grundsätzliche Eignung zur Rückhaltung von PAK, z.B. nach einer direkten PAK-Dosierung in die Biologie.

Die bei Polstoff-Tuchfiltern eingesetzten Gewebe bestehen aus einem grobporigen Trägergewebe und vertikal eingewebten Polfäden. Die Polfasern des Polgewebes (auch Florgewebe) liegen während der Filtrationsphase flach und bilden eine dichte, abscheidewirksame Faserschicht. Beim Absaugvorgang werden die Fasern innerhalb der Absaugeinrichtung kurzzeitig aufgerichtet, so dass die zurückgehaltenen Feststoffe ausgetragen werden können. Das Funktionsprinzip zeigt Bild 12.

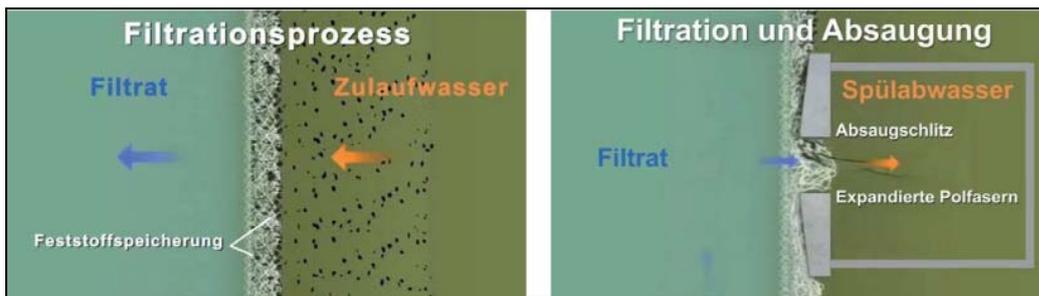


Bild 12: Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

Das Filtertuch ist bei Scheibentuchfiltern auf Kunststoffsegmente montiert. Aus mehreren Segmenten wird eine Filterscheibe gebildet und mehrere Scheiben zu einer Scheibentuchfiltereinheit zusammengestellt. Das Rohabwasser wird dem Filterbehälter zugeführt und strömt durch das Filtertuch, das die Feststoffe zurückhält. Durch die Filterscheiben und das Zentralrohr, den Steigschacht und einen Überlauf strömt das Filtrat in den Ablauf (Bild 13).

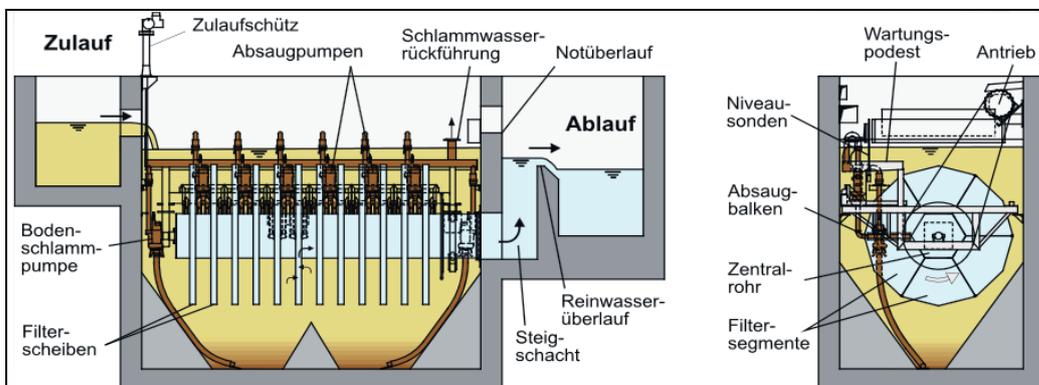


Bild 13: Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

### 5.5 Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

Nachfolgend werden eine Reihe von großtechnisch umgesetzten Anlagen zur Spurenstoffelimination beispielhaft vorgestellt.

Eine Übersicht der in Baden-Württemberg in Planung, Bau und Betrieb befindlichen Kläranlagen mit einer 4.Stufe zur Spurenstoffelimination gibt Bild 14 [KomS, 9.2016].

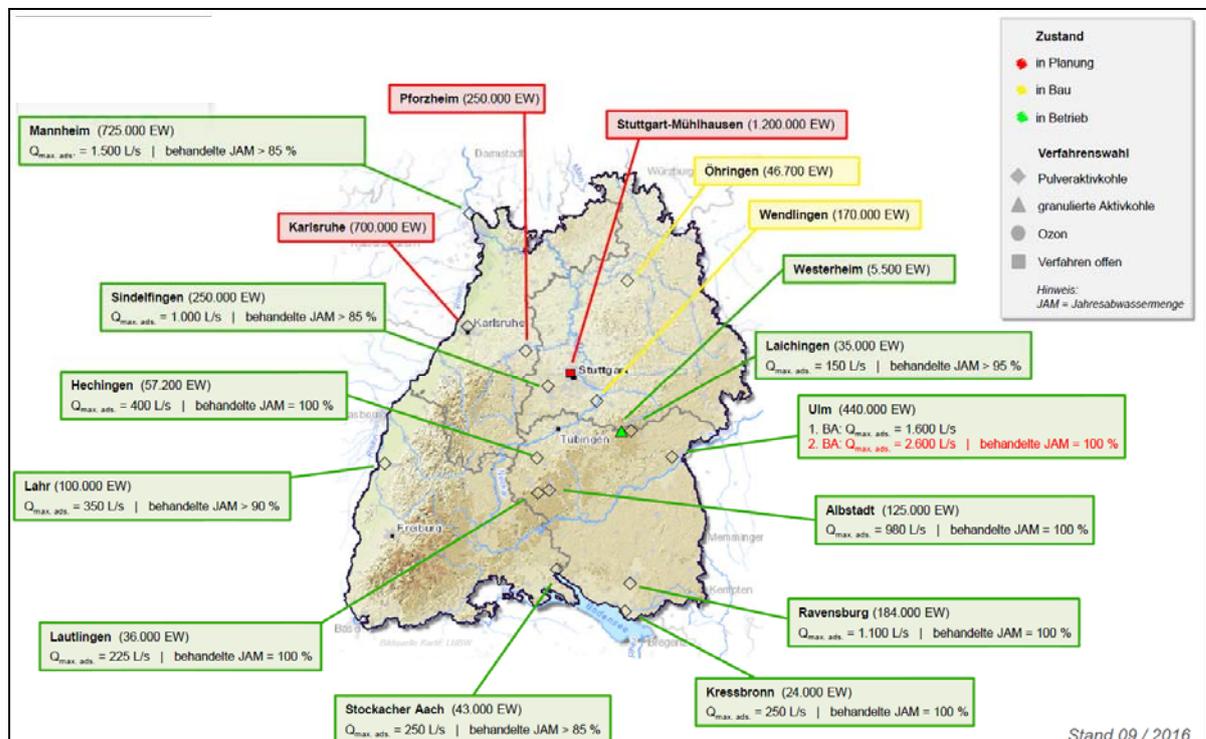


Bild 14: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]

Bild 15 zeigt eine entsprechende Übersicht zu Anlagen aus Nordrhein Westfalen [KOMs, 2016].

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

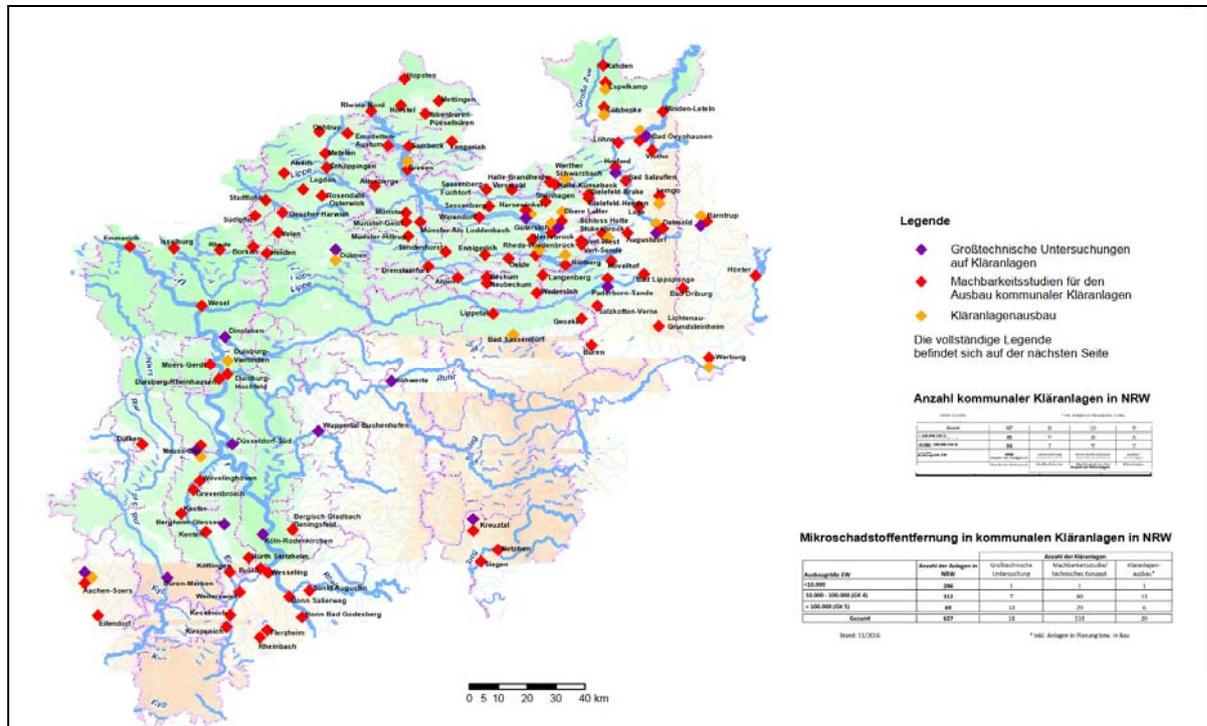


Bild 15: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]

**5.5.1 Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination**

Nachfolgend werden großtechnisch umgesetzte Anlagen zur Spurenstoffelimination mit GAK-, PAK- und Ozon-Einsatz beispielhaft vorgestellt und Kläranlagen mit entsprechender Behandlungsstufe auszugsweise aufgelistet.

**Mikroschadstoffelimination auf Basis von Pulveraktivkohle (PAK)**

Kläranlage	Verfahren	Einwohner	Art /Stand
Dülmen	PAK Adsorptionsanlage	55.000 E	Großtechnik / in Bau
Neuss Ost	PAK Dosierung in Flo.fil.	80.000 E / (280.000 E)	Großtechnik / in Planung
Bartrup	PAK Dosierung, Fuzzy Filter	12.000 E	Großtechnik / in Bau
Stockacher Aach	PAK Adsorptionsanlage (vorh. Filtr.)	56.300 E	Großtechnik / in Betrieb
Kressbronn-Langenargen	PAK Adsorptionsanlage, (vorh. Filtr.)	24.000 E	Großtechnik / in Betrieb
Lahr	PAK Adsorptionsanlage , Tuchfiltration	100.000 E / (70.100 E)	Großtechnik / in Betrieb

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

<b>Kläranlage Bartrup (Stadt Bartrup)</b>		
		
(Foto Versuchsanl., Ausbaukonzept: Ingenieurbüro Danjes GmbH, Detmold)		
<b>Grunddaten</b>	<b>Technik</b>	<b>Kosten</b>
13.000 EW (Ausbau KS) $Q_{TW, max} = 306 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_a = 1,2 \text{ Mio. m}^3/\text{h}$ 4-straßige Auslegung Fuzzy-Filtration Bau 2015 / 2016	Fuzzy-Filter mit PAK	ca.3,2 Mio. Euro netto

**Mikroschadstoffelimination auf Basis von granulierter Aktivkohle (GAK)**

<b>Kläranlage</b>	<b>Verfahren</b>	<b>Einwohner Ausbau (angeschlossen)</b>	<b>Art /Stand</b>
<b>Rietberg</b>	GAD - Dyna-Sand Carbon Filtration	46.500 E / 60.000 E	Großtechnik / in Betrieb
<b>Gütersloh Putzhagen</b>	GAK - Filtration (Teilnutzung Flo.fil)	150.000 E / (80.000 E)	Großtechnik / in Betrieb
<b>Bad Oeynhausen</b>	GAK - Filtration (Teilnutzung Flo.fil)	46.000 E / (78.000 E)	Großtechnik / in Bau
<b>Bielefeld Obere Lutter</b>	GAK - Filtration (Teilnutzung Flo.fil)	75.000 E / (380.000 E)	Großtechnik / in Betrieb

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**Kläranlage Rietberg (Stadt Rietberg)**



(Foto: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH)

Grunddaten	Technik	Kosten
60.000 EW (Ausbau KS) Q <sub>TW, max</sub> = 468 m <sup>3</sup> /h Q <sub>a</sub> = 1,5 Mio.m <sup>3</sup> /a 2-straßige Auslegung Kontaktzeit: 0,33 – 1h	Dyna-Sand Carbon Filtration, (Umbau Dyna-Sand Filtration zu Betrieb mit GAK)	ca.0,7 Mio. Euro netto
Betrieb seit 2014		

**Mikroschadstoffelimination auf Basis von Ozonierung**

Kläranlage	Verfahren	Einwohner	Art /Stand
Detmold	Ozonierung	135.000 E / (90.875)	Großtechnik / in Planung
Schwerte	Ozonierung und/oder PAK-Adsopt.	50.000 E	Großtechnische Versuchsanl. / in Betrieb
Duisburg - Vierlinden	Ozonierung	30.000 / (23.300)	Großtechnische Versuchsanl. / in Betrieb
Bad Sassendorf	Ozonierung	13.000 E	Großtechnische Versuchsanl. / in Betrieb
Espelkamp	Ozonierung	33.000 E / (29.000 E)	Großtechnik / in Planung
Aachen-Soers	Ozonierung	458.000 E	Großtechnik / in Planung

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

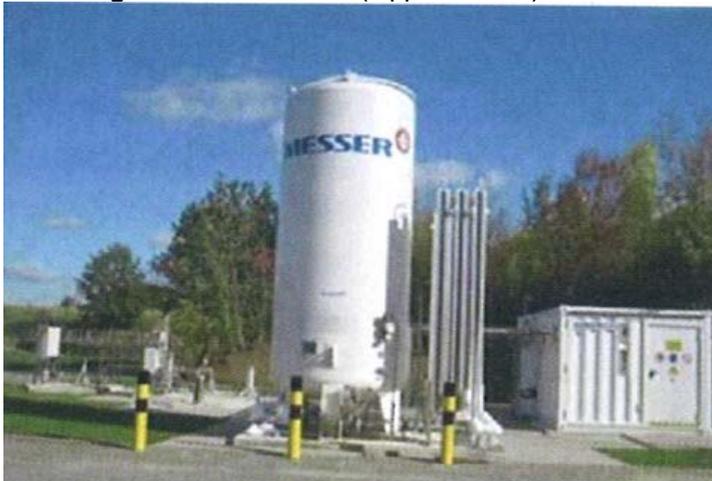
**Kläranlage Düsburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Düsburg)**



(Foto: Wirtschaftsbetriebe Duisburg)

Grunddaten	Technik	Kosten (netto)
30.000 EW $Q_{TW, max} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ (Ozonung) $Q_d = 7.171 \text{ m}^3/\text{h}$ (Ozonung) 2-straßige Auslegung je $100 \text{ m}^3$ $V_{ges.} = 200 \text{ m}^3$ Beckenvolumen biol. Nachbehandlung Betrieb seit 8.2011	Ozonung: Ozoneintrag beider Straßen über Injektoren (Umrüstung der bisherigen Diffusorstraße auf Injektorbetrieb), DOC-Steuerung der Ozondo- sierung	Invest: 1,547 Mio. Euro Betrieb: 92.817 €/a  spez. Beh.kosten: $0,21 \text{ €/m}^3$ (ohne Förd.) [Becker, 2013]

**Kläranlage Bad Sassendorf (Lippeverband)**



(Foto: Emschergenossenschaft / Lippeverband)

Grunddaten	Technik	Kosten
13.000 EW (6 Kliniken, 1200 Betten) $Q_{max} = 650 \text{ m}^3/\text{h}$ (Ozonung)	Ozonung: Eintragung mengenproporti- onal, SAK gesteuert	ca. 0,98 Mio. Euro netto
Betrieb seit 2009		

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**Kläranlage Schwerte (Ruhrverband)**



(Foto: Ruhrverband)

Grunddaten	Technik	Kosten
50.000 EW $Q_{\max} = 1.152 \text{ m}^3/\text{h}$ (Ozonung)	Ozonung und Aktivkohleadsorption, Rezirkulation möglich (Abwasser mit PAK / Ozon)	ca. 1,4 Mio. Euro netto
Betrieb seit 2010		

### 5.6 Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination

Eine allgemein anerkannte Regel der Technik zur Auslegung von Reinigungsstufen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen ist derzeit noch nicht etabliert und in entsprechenden Arbeits- oder Merkblättern der DWA dokumentiert.

Aufgrund von vielfältigen Forschungsvorhaben und den vorab beschriebenen halb- und großtechnischen Anlagen zur Mikroschadstoffelimination bestehen jedoch viele Erfahrungen zur Auslegung, Ausrüstung und zum Betrieb.

Das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW hat im Auftrag des MKULNV NRW eine Arbeitsgruppe unter Beteiligung von Ingenieurbüros zur Erarbeitung von Auslegungsempfehlungen für den Bau von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination gebildet.

Zusammenfassend werden die Empfehlungen der Arbeitsgruppe [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016] wiedergegeben. Zu ergänzenden, bzw. abweichenden Auslegungsempfehlungen werden die Quellen benannt.

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

### **Auslegungswassermenge:**

Bei Ermittlung der Auslegungswassermenge wird unterschieden, ob das angeschlossene Kanalnetzen überwiegend im Mischsystem oder im Trennsystem entwässert.

Bei Kläranlagen mit angeschlossenem Kanalnetz im Mischsystem ist einzuhalten:

$$Q_{\text{Auslegung}} \geq \text{JSM (Jahresschmutzwassermenge)}$$

$$Q_{\text{Auslegung}} \geq 70\% \text{ der JAM (Jahresabwassermenge)}$$

$$Q_{\text{Auslegung}} \geq Q_{\text{T,h,max}} \text{ (max. stündliche Trockenwettermenge, ermittelt nach ATV-DVWK-A 198)}$$

Bei Kläranlagen mit angeschlossenem Kanalnetz im Trennsystem ist einzuhalten:

$$Q_{\text{Auslegung}} \geq \text{JAM (Jahresabwassermenge)}$$

Bei besonders empfindlichen Gewässern (FFH Gebiete, Lachslaichgewässer o.ä.), Gewässern mit geringer Wasserführung im Verhältnis zur Einleitungsmenge bei mittleren Niedrigwasserabfluss ( $Q/\text{MNQ} > 1/3$ ), überdurchschnittlich hohen Mikroschadstoffbelastungen, unterhalb der Kläranlageeinleitung gelegener oberflächenwassergestützter Trinkwassergewinnung sowie gemäß WRRL-Monitoring beeinträchtigter Qualitätskomponenten im Gewässer, sind ggf. abweichende Auslegungswassermengen in Abstimmung mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

Die empfohlene Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge wird in Bild 16 dargestellt.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

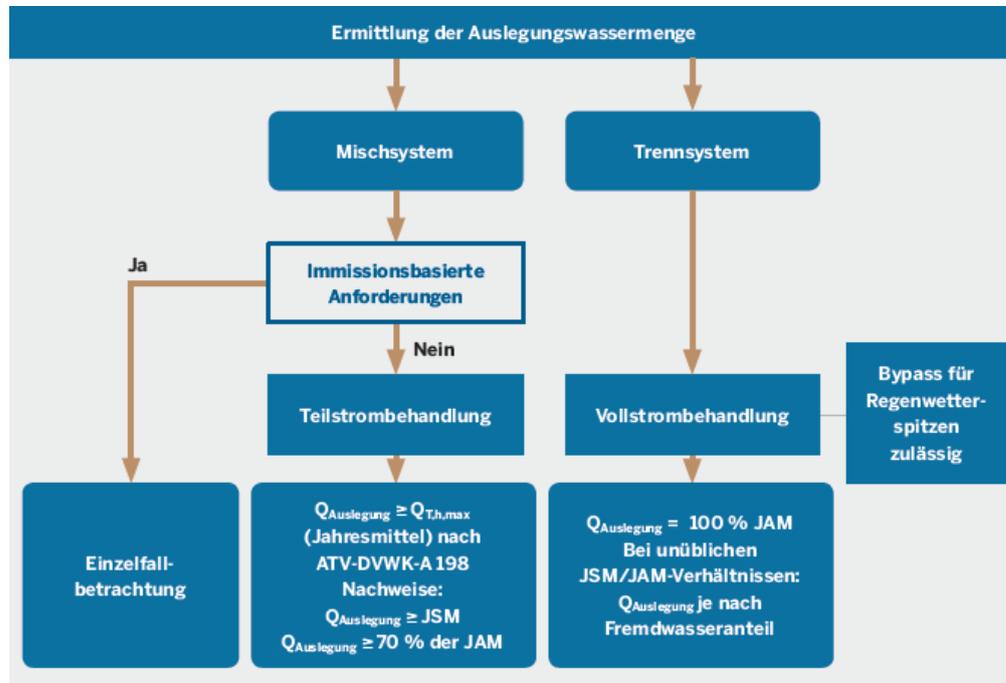


Bild 16: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

Bei Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf den Mischwasserabfluss statt auf den maximalen Trockenwetterabfluss und Annahme einer Reduzierung der Spurenstoffen in der biologischen Stufe von 25% und in der nachgeschaltete Mikroschadstoffstufe von 75%, erhöht sich nach Berechnungen von Metzner (2010) der auf die Jahresfracht bezogene Gesamtwirkungsgrad um nur 7 %. Wirtschaftlich kann somit nur eine Auslegung in Bezug auf den max. Trockenwetterabfluss sein. Ozonanlagen in Duisburg-Vielinden und Bad Sassendorf wurden entsprechend ausgelegt ( $Q_{T,2h,max}$ ) [Maus et al., 2014]. Alternativ ist eine Ozonanlage über einen festzulegenden Anteil der Jahresabwassermenge (JAM) auszulegen [MKUNLNV, 2014].

**Standortspezifische Abwassereigenschaften für Verfahrensauswahl:**

- Gelöster, organischer Kohlenstoff (DOC) bzw. CSB im Zulauf zur Verfahrensstufe
- Feststoffgehalt (AFS) im Zulauf zur Verfahrensstufe
- Bromidkonzentration (bei Ozonungsverfahren wg. Bildung von Bromat)
- Spurenstoffe – Mindestumfang 24h-Mischproben bei Trockenwetterbedingungen, Screening von standortrelevanten Stoffen sowie Leitparameter (s. Tabelle 2) und standortrelevante Stoffe, perfluorierte Tenside (PFT), Galaxolide (HHCB, Moschusduftstoffe)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

**Kriterien der Verfahrensauswahl:**

- Eliminationsleistung der Verfahren hinsichtlich relevanter Spurenstoffe
- Platzbedarf, Flächenverfügbarkeit
- Vorhandene, nutzbare Verfahrens- und Bautechnik (vorh. Filtration, freie Beckenkapazität)
- Klärschlamm Entsorgungswege (Verbrennung, landwirtschaftliche Entsorgung)
- Verbesserung Reinigungsleistung (CSB, AFS,  $P_{ges}$ )
- Mitarbeiterqualität, bzw. Ausbildungsstand
- Monetäre Bewertung – Jahres, Kapital-, Betriebskosten.
- Einbindung in bestehende Kläranlage

Verfahren sind ggf. durch Vorversuche abzusichern. Bei Ozonanlagen ist das Ozonierungsverhalten des Abwassers zu bestimmen (Ozondosis, Kontaktzeit). Bei Adsorptionsstufen ist das Adsorptionsverhalten in Bezug auf Spurenstoffe, CSB zu untersuchen (Schüttel-Versuch, Säulenversuch, Kleinfilterschnelltest (RSSCT)).

**Eliminationsziel:**

Für den emissionsbasierten Ansatz wird das Erreichen des Reinigungsziels durch Sicherstellung einer Elimination von 80% bezogen auf die Gesamtkläranlage für ausgewählte Indikatorsubstanzen sowie durch die Vorgabe einer zu behandelnden Abwassermenge überprüft. Als Indikatorsubstanz werden die in Tabelle 2 angegebenen Substanzen vorgeschlagen [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]. Das Eliminationsziel von 80% ist für die Indikatorsubstanzen als Jahresmittel zu erreichen. Berechnet wird die Gesamtelimination der Kläranlage einschließlich der biologischen Behandlungsstufe.

Tabelle 2: Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

Stoff	Entfernbarkeit mittels Ozon	Entfembarkeit mittels PAK/GAK
1H-Benzotriazol	mittel	gut
Carbamazepin	gut	gut
Diclofenac	gut	gut
Metoprolol	mittel	gut
Clarithromycin	gut	mittel
Sulfamethoxazol	gut	mittel

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

### Auslegung Ozonanlage:

#### **Ozonerzeugung**

- Maximale Ozonmenge, empfohlene Dosis als Auslegungsgröße in Abhängigkeit von der DOC Konzentration:  $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,8 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$  [Bajenbruch et al., 2014].  
Maximale Ozonmenge zur Elimination der meisten Spurenstoffe gemäß schweizerischem Bundesamt für Umwelt  $z_{\text{spez}} = 0,7 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$  [Abegglen et al., 2012]  
Empfohlener Auslegungsbereich:  $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ ,  
im Mittel:  $z_{\text{spez}} = 0,75 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$   
Die angegebenen Ozonkonzentrationen setzen eine stabile Nitrifikation voraus und geringe Feststoffablaufwerte der Nachklärung.
- Festlegung der applizierten Ozonkonzentration:  
 $C_{\text{O}_3} = z_{\text{spez}} \times C_{\text{DOC}}$
- Ermittlung der benötigten Produktionskapazität:  
 $B_{\text{O}_3, \text{max}} = Q_{\text{Bem}} \times C_{\text{O}_3}$   
Bemessungswassermenge  $Q_{\text{Bem}}$  entspricht dem Spitzenabfluss bei Trockenwetter ( $Q_{\text{T,h,max}}$  oder  $Q_{\text{T,2h,max}}$ )
- Ozonerzeugung über flüssigen Sauerstoff (LOX), komprimierte Luft, Sauerstoff aus PSA-Anlage. LOX-Anlagen wandeln ca. 10 M.% in  $\text{O}_3$  um.

#### **Ozonreaktor**

- Ermittlung des Reaktorvolumens über die Aufenthaltszeit (mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss: 15 – 30 min)
- Dauer vollständige Ozonzehrung; vorab Zehrungsversuch oder numerische CFD-Strömungssimulation der Wasser- und Gasphase)
- Reaktorgeometrie – Pfropfenströmung durch Kaskadierung oder Leitwände
- Aufteilung in Begasungszonen / Ausgasungszone
- Gasdichte Abdeckung, Absaugung Off-Gas, Restozon-Vernichter

#### **Ozoneintrag**

- Ozoneintrag über Diffusoren oder Pumpe-Injektorsystem
- Bei Ozoneintrag über Diffusoren ist eine Beckentiefe min. 5 m erforderlich
- Bei Eintrag über Injektorsystem, Eintrag in Abwasserteilstrom, Treibwasserpumpe erforderlich. Wahl Eintragungssystem nach wirtschaftlichen, betrieblichen Faktoren

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

- Steuerung proportional zur Zulaufmenge. Zusätzlich ggf. SAK-, UV-Vis-Sonden, DOC-Messung, O<sub>3</sub>-Konzentration im Off-Gas oder in der gelösten Phase
- O<sub>3</sub> ggf. O<sub>2</sub>-Messungen in Betriebsräumen (Arbeitssicherheit)
- Empfohlene Anwendung der zulaufmengenproportionalen Ozondosierung für Kläranlagen unter 100.000 EW und ohne starke Schwankungen des DOC [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe, 2016]

### **Nachbehandlung - Ozonungsanlagen**

- Nachbehandlung abbaubarer Reaktionsprodukte durch biologische Verfahren erforderlich – biologische Verfahren (Sandfilter, Wirbel- und Festbettreaktoren, Schönungsteich z.B.) oder biologisch-adsorptive Verfahren (GAK-Filter)

### **Auslegung Pulveraktivkohleanlage (PAK):**

- PAK Dosierung zwischen 10 und 20 mg/l PAK
- Kohleart, Rückführung, Dosierort relevant
- Aufenthaltszeit Kontaktbecken: mindestens 30 Minuten
- PAK Absetzbecken Bemessung: Oberflächenbeschickung  $q_A = 2 \text{ m/h}$
- Alternativen Absetzbecken: Actiflo-Verfahren, Filtration
- Nachschaltung Filtration zum Rückhalt feindisperser PAK (Raumfilter, alt. Tuchfilter, Fuzzy-Filter u.a. ggf. nach Vorversuchen)

### **Auslegung GAK-Filter:**

- Standzeit: 3.000 – 15.000 Bettvolumina (labor- und/oder halbtechnische Vorversuche empfohlen)
- Oberflächenbeschickung nach Herstellerangaben

## 6 Kläranlage Geseke

### 6.1 Kurzbeschreibung Kläranlage

Die Kläranlage Geseke wurde Mitte der achtziger Jahre errichtet und 1988 in Betrieb genommen. Aufgrund steigender Schmutzfrachten und erhöhter Reinigungsanforderungen hinsichtlich der Stickstoffelimination wurde die Kläranlage in den vergangenen Jahren insbesondere zur Vergrößerung der Belebungsbecken umgebaut und erweitert. Der Ausbau erfolgte bis ca. 2015 auf eine Ausbaugröße von 28.327 Einwohnerwerte (EW). Derzeit sind rd. 23.000 EW angeschlossen (Bemessungsbelastung) [Sowa, 2011].

Die Kläranlage liegt nördlich der Stadt Geseke. Angeschlossen sind die Kernstadt, der Drivers Park Geseke (Autohof) sowie die Ortsteile Bönninghausen, Mönninghausen, Ehringhausen, Störmede, Langeneicke, Ermsinghausen und Mittelhausen über das Pumpwerk Bönninghausen.

Die Entwässerung erfolgt für Teile der Stadt im Mischsystem.

Folgende Verfahrensstufen sind auf der Kläranlage vorhanden (Sowa, 2011):

- Rechenanlage mit Umlaufgerinne, Feinrechen, Stababstand 10 mm (Fa. Huber), Waschpresse (Fa. Huber)
- Zulauf-Schneckenpumpwerk, Förderleistung  $Q_M = 500$  l/s, 3 Schneckenpumpen
- Sandfang, zweikammeriger, belüfteter Langsandfang, Fettfang
- Vorklärung, zweistraßiger Ausbau (je  $V = 628$  m<sup>3</sup>), Längsräume, Schwimmschlammschild, PS-PW
- Belebungsbecken, vierstraßiger Ausbau, Längsbecken (je rd. 1.500 m<sup>3</sup>, gesamt:  $V_{ges, BB} = 6.149$  m<sup>3</sup>), intermittierende Belüftung, Gebläsestation, Membrandruckbelüftung, Rührwerke
- Simultane P-Fällung
- Nachklärung, dreistraßiger Ausbau, Rundbecken (je rd. 2.100 m<sup>3</sup>, Oberfläche: 605 m<sup>2</sup>), Räum-erbrücke, Bodenräumschild, Pumpwerk zur Rücklaufschlammförderung (4 Pumpen), ÜS-Pumpwerk (2 Pumpen)
- Faulbehälter (1.600 m<sup>3</sup>), Gasbehälter (150 m<sup>3</sup>)
- Schlammstapelbehälter (2 Becken, ges. ca. 2.700 m<sup>3</sup>)

Ein schematischer Lageplan der Kläranlage ist in Bild 17 dargestellt.

## 6. Kläranlage Geseke

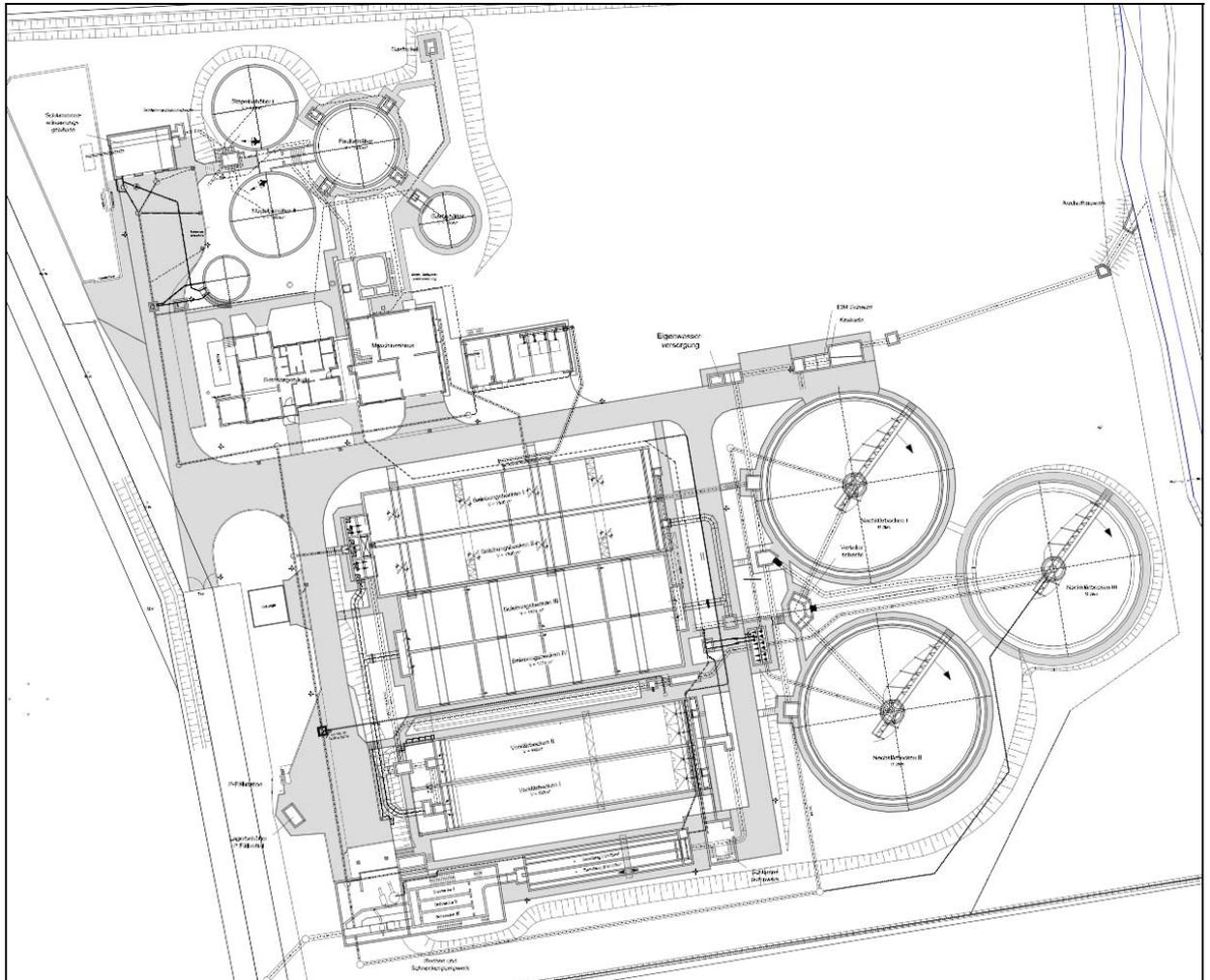


Bild 17: Lageplan Kläranlage Geseke

Nachfolgende Bilder der Kläranlage Geseke zeigen Anlagenteile (Nachklärung, Ablaufschächte), die potentielle Erweiterungsfläche zur Errichtung der 4. Reinigungsstufe sowie die Einleitungsstelle in den Geseker Bach.

6. Kläranlage Geseke

---



Bild 18: Nachklärung, Ablaufschächte



Bild 19: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (östl. Faulung, nördl. Nachklärung) (Blick n. West)

6. Kläranlage Geseke

---



Bild 20: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (östl. Faulung, nördl. Nachklärung) (Blick n. Ost)



Bild 21: Einleitungsstelle Kläranlage in den Geseker Bach

6. Kläranlage Geseke



Bild 22: Geseker Bach – stromab der Einleitungsstelle

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Geseke werden in Tabelle 3 zusammengefasst (Daten aus Sowa [2011]).

Tabelle 3: Planungsdaten Kläranlage Geseke [Sowa, 2011]

Zufluss / Ausbaugröße	Auslegung KA 2011	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$	342 m <sup>3</sup> /h	95 l/s
Fremdwasserzufluss $Q_F$	478 m <sup>3</sup> /h	133 l/s
Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$	820 m <sup>3</sup> /h	228 l/s
Regenwetterzufluss Mischwasser $Q_{M,max}$	1800 m <sup>3</sup> /h	500 l/s
Ausbaugröße	<b>28.327 EW</b>	
Auslastung (Ist) (2012-2014) rd.	<b>24.503 EW</b>	

Legt man die derzeitige mittlere Auslastung von 24.503 EW zu Grunde, ergibt sich eine Ausbaureserve von rd. 15 %.

Das nachfolgende Bild zeigt den Abfluss der Kläranlage bei Trocken- und Regenwetter.

Im Mittel beträgt der Abfluss 8.158 m<sup>3</sup>/d (Zeitraum: 2013 – 2015). Bei Trockenwetter fließen im gleichen Zeitraum im Mittel 6.877 m<sup>3</sup>/d ab.

6. Kläranlage Geseke

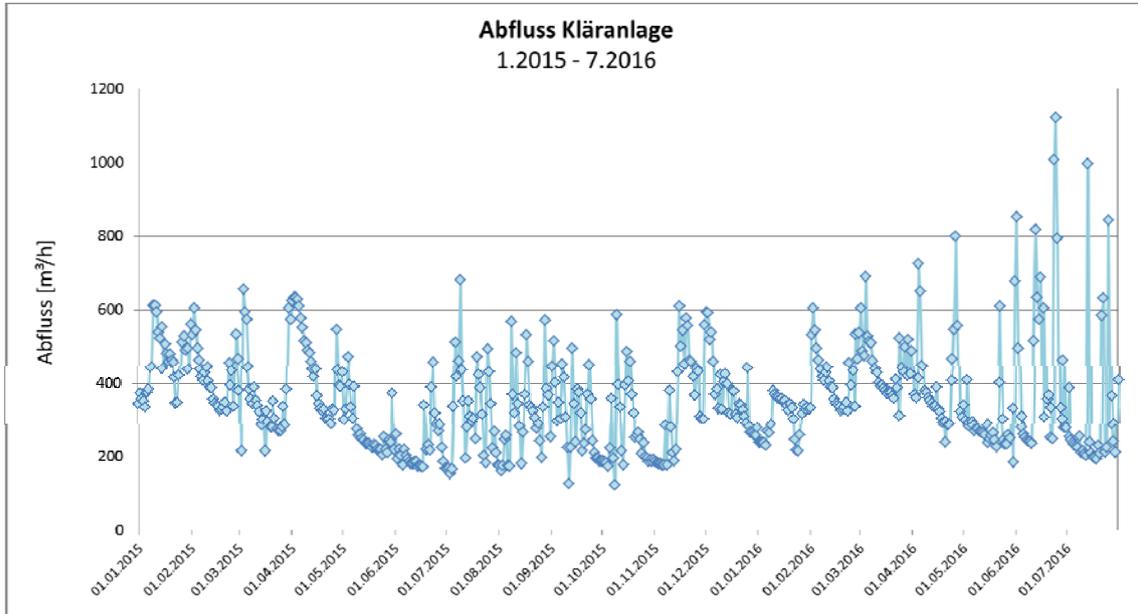


Bild 23: Mittlerer stündlicher Abfluss Kläranlage Geseke, Regen-, Trockenwetter (1.2015, 7.2016)

Die CSB- und PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage zeigen Bild 24 und Bild 25 beispielhaft für den Zeitraum 1.2015 bis 7.2016.

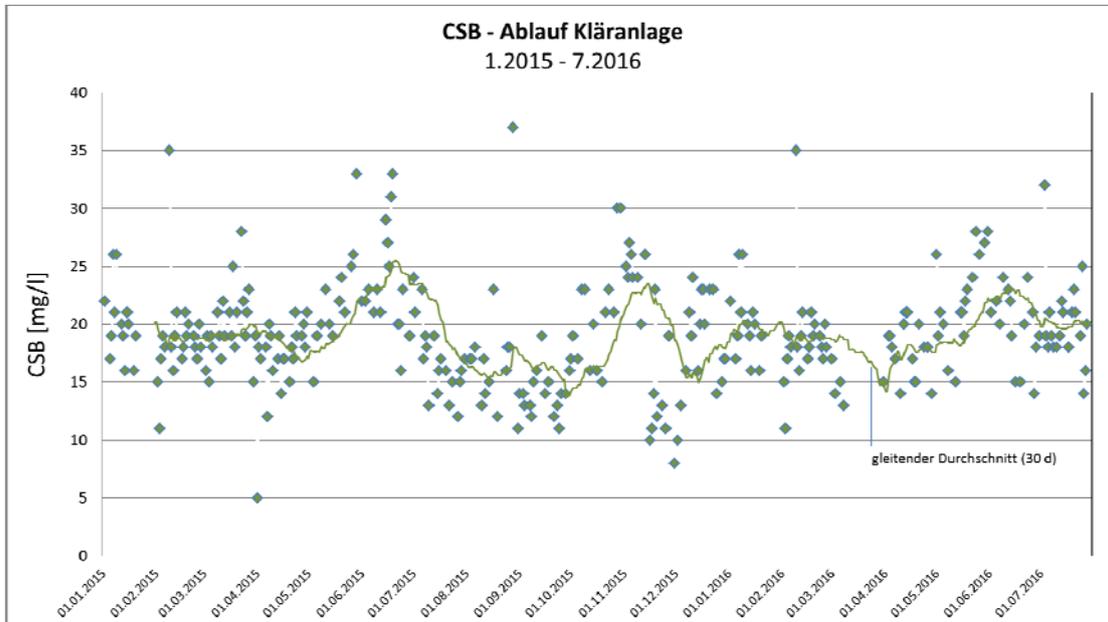


Bild 24: CSB-Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2015 - 7.2016)

Im Mittel beträgt die CSB- Ablaufkonzentration rd. 19 mg/l.

6. Kläranlage Geseke

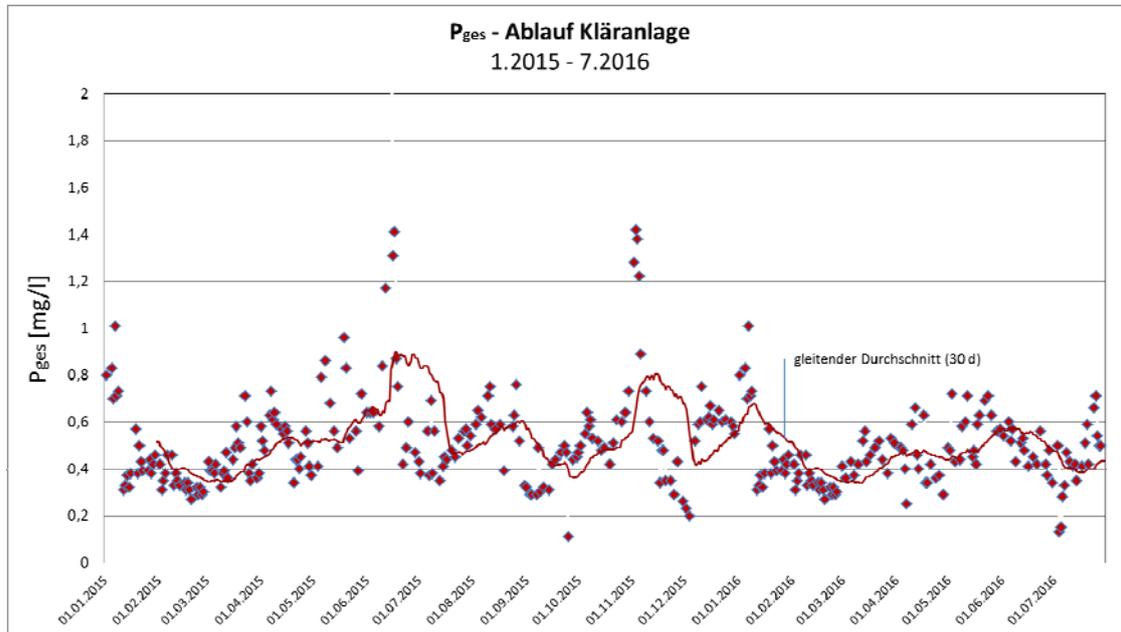


Bild 25:  $P_{ges}$ -Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2015 – 7.2016)

Im Mittel beträgt die  $P_{ges}$ - Ablaufkonzentration rd. 0,51 mg/l. Der Überwachungswert für Phosphor (gesamt) beträgt  $P_{ges} = 1$  mg/l.

Aktuelle Betriebsdaten zum Abwasser- und Schlammfall sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Die Jahresschmutzwassermenge wurde auf Basis der Trockenwettertage ermittelt (Niederschlag < 0,3 mm, ein Tag Regennachlaus).

6. Kläranlage Geseke

Tabelle 4: Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Geseke

Zulauf	Jahr	Abwassermenge				Quelle / Bemerkung
<b>Jahresschmutzwassermenge (JSM)</b>	2013	2.822.905 m³/a	7.734 m³/d	322 m³/h	90 l/s	Betriebsdaten
	2014	2.203.306 m³/a	6.036 m³/d	252 m³/h	70 l/s	Betriebsdaten
	2015	2.504.036 m³/a	6.860 m³/d	286 m³/h	79 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	<b>2.510.082 m³/a</b>	<b>6.877 m³/d</b>	<b>287 m³/h</b>	<b>80 l/s</b>	Mittelwert
<b>Jahresabwassermenge (JAM)</b>	2013	3.175.770 m³/a	8.701 m³/d	363 m³/h	101 l/s	Betriebsdaten
	2014	2.783.220 m³/a	7.625 m³/d	318 m³/h	88 l/s	Betriebsdaten
	2015	2.973.911 m³/a	8.148 m³/d	339 m³/h	94 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	<b>2.977.634 m³/a</b>	<b>8.158 m³/d</b>	<b>340 m³/h</b>	<b>94 l/s</b>	Mittelwert
<b>Jahresfrischwassermenge</b>	2013	831.010 m³/a	2.277 m³/d	95 m³/h	26 l/s	Betriebsdaten
	2014	846.403 m³/a	2.319 m³/d	97 m³/h	27 l/s	Betriebsdaten
	2015	836.276 m³/a	2.291 m³/d	95 m³/h	27 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	<b>837.896 m³/a</b>	<b>2.296 m³/d</b>	<b>96 m³/h</b>	<b>27 l/s</b>	Mittelwert
<b>Fremdwassermenge</b>	2013	1.991.895 m³/a	5.457 m³/d		Fremdw.anteil	70,6%
	2014	1.356.903 m³/a	3.718 m³/d		Fremdw.anteil	61,6%
	2015	1.667.760 m³/a	4.569 m³/d		Fremdw.anteil	66,6%
	2013-2015	<b>1.672.186 m³/a</b>	<b>4.581 m³/d</b>		Fremdw.anteil	<b>66,6%</b>

Auf Basis der mittleren Jahresschmutzwassermenge und der mittleren Jahresfrischwassermenge der Jahre 2013 - 2015 ergibt sich folgende Fremdwassermenge:

$$Q_{F,a} = Q_{T,a} - Q_{S,a}$$

$$Q_{F,a} = 2.510.082 \text{ m}^3/\text{a} - 837.896 \text{ m}^3/\text{a} = 1.672.186 \text{ m}^3/\text{a} \text{ bzw. } \mathbf{4.581 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Der mittlere Fremdwasseranteil (FWA) bzw. Fremdwasserzuschlag (FWZ) im Zeitraum 2013 bis 2015 beträgt rd. 66,6% bzw. rd. 200%.

Der maximale Schmutzwasserabfluss wird auf Basis der ATV-DVGW-A 198 ermittelt:

Divisor zur Ermittlung des Schmutzwasserabflusses für Kläranlagen 20.000 – 100.000 EW:

$$X_{Q_{\max}}: 14 \text{ h/d}$$

$$\text{Schmutzwassererzufluss } Q_{S,\max}: 2.296 \text{ m}^3/\text{d} / 14 \text{ h/d} = \mathbf{164 \text{ m}^3/\text{h}}$$

## 6. Kläranlage Geseke

---

Die derzeitige Auslastung beträgt im Mittel (2012 – 2014): 24.503 EW (ELWAS-WEB).

In Bezug auf die Ausbaugröße von 28.327 EW ergibt sich ein möglicher Zuwachs der Jahresfrischwassermenge von rd. 15 % (Verhältnis 24.503 EW zu 28.327 EW).

Die Fremdwassermenge wird als konstant angenommen.

Daraus ergibt sich ein Schmutzwasserbemessungszufluss

$$Q_{S,max, Bem.} \text{ von: } 164 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,15 = 188,6 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{189 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Fremdwasserzufluss } Q_F: 4.581 \text{ m}^3/\text{d} / 24 \text{ h/d} = 190,9 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{191 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Maximaler Trockenwetterzufluss:

$$Q_{T,max}: 189 \text{ m}^3/\text{h} + 191 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{380 \text{ m}^3/\text{h}, 9.120 \text{ m}^3/\text{d}}$$
 bzw. 105,6 l/s rd. **106 l/s**

$$\text{Mittlerer Trockenwetterzufluss: } Q_{T,mittel}: \mathbf{6.877 \text{ m}^3/\text{d}, 287 \text{ m}^3/\text{h}}$$
 bzw. **80 l/s**

Gemäß Arbeitsblatt ATV-DWA A-198 kann das Nachtminimum bis auf 20% des mittleren Trockenwetterabflusses absinken.

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } Q_{F,aM} + Q_{S,d,aM} \times 20\% = 191 \text{ m}^3/\text{h} + (96 \text{ m}^3/\text{h} \times 20\%)$$

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } 210,2 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{210 \text{ m}^3/\text{h}}$$
 bzw. rd. **58 l/s**

Die Auslegung von Anlagenteilen für den Mischwasserzufluss bei Regenwetter wird hier zunächst auf 300 l/s bzw. 1.080 m<sup>3</sup>/h begrenzt. Im Zuge weiterer Planungsschritte ist die Annahme der Auslegungswassermenge bei Mischwasserzufluss zu verifizieren.

Gemäß Entwurf zur Kläranlage (Sowa, 2011) beträgt die Leistung des Hauptpumpwerkes (PW Bönninghausen) 103 l/s. Das Entwässerungssystem der Stadt Geseke mündet in den Stauraumkanal SKO 6, der bisher (2011) auf einen Ablauf von 200 – 250 l/s begrenzt wurde.

Angenommen wird hier zunächst ein Gesamtzufluss  $Q_M$  von 103 + 200 l/s = 303 l/s rd. **300 l/s**.

Die Auslegungsgrößen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

6. Kläranlage Geseke

Tabelle 5: Auslegung – Spurenstoffelimination

KA Geseke	Bemessung Spurenstoffelimination			Bemerkung
Trockenwetterzufluss (mittel), $Q_{T,mittel}$	6.877 m <sup>3</sup> /d	287 m <sup>3</sup> /h	80 l/s	JSM 2013-2015
Trockenwetterzufluss (max.) $Q_{T,max}$		<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	<b>106 l/s</b>	Steigerung $Q_{T,max}$ . in Summe: 15%
Trockenwetterzufluss (min.) $Q_{T,min}$		210 m <sup>3</sup> /h	58 l/s	
Regenwetterzufluss (max.)		<b>1.080 m<sup>3</sup>/h</b>	300 l/s	KA-Zufluss SRK, PW
Fremdwasserzufluss	4.581 m <sup>3</sup> /d	191 m <sup>3</sup> /h	53 l/s	konstanter FW-Anteil rd. 67%
Frischwasser/Schmutzwasser	2.296 m <sup>3</sup> /d	96 m <sup>3</sup> /h	27 l/s	

Sonstige Angaben:

Klärschlammanfall:

Annahme mittlerer Schlammanfall bei 28% TS und 793 t/a rd. 2.832 m<sup>3</sup>/a (entnommen: Sowa, 2012).

6. Kläranlage Geseke

**6.2 Situation Gewässersystem Lippe (Geseker Bach), Trinkwassergewinnung**

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Geseker Bach, der westlich von Verlar in den Brandenbäumer Bach mündet, der wiederum östlich von Garfeln in die Lippe mündet. Das Gewässersystem zeigt Bild 26.

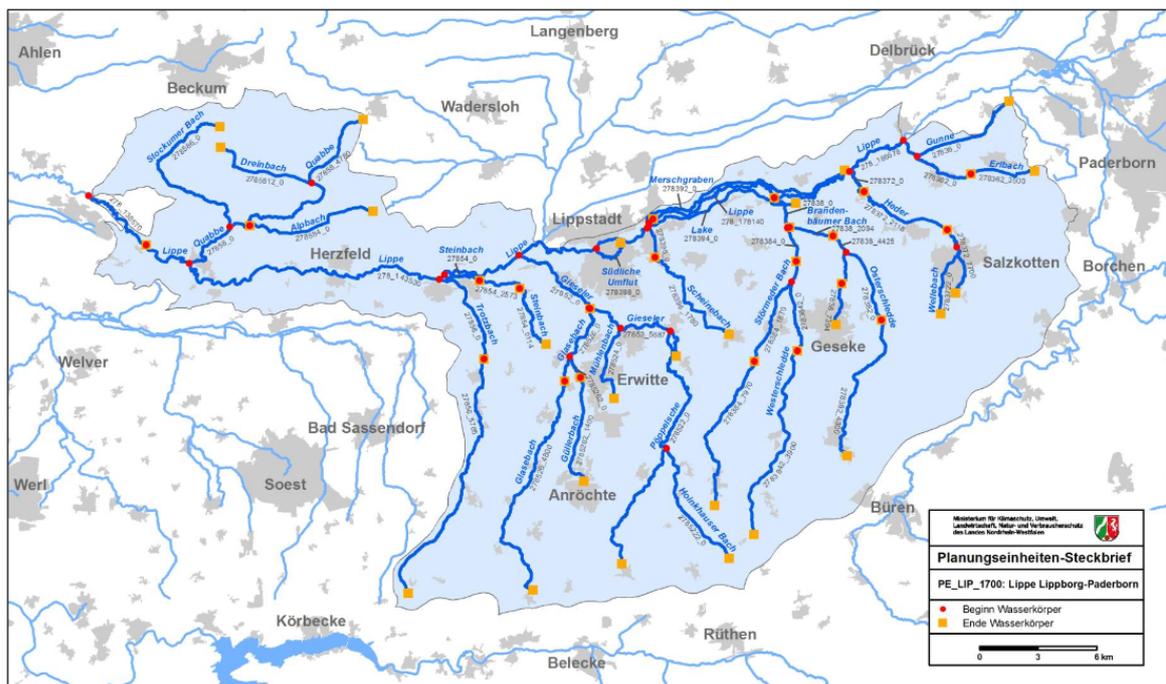


Bild 26: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE\_LIP\_1700 Lippe Lippborg - Paderborn [MKULNV NRW, 2015]

Pegelmessungen zum Geseker Bach liegen in der Datenbank des Landes NRW, ELWAS-WEB, nicht vor.

Das Abflussverhalten des Geseker Baches wurde in einem NA-Modell abgebildet (BR Arnsberg, Standort Lippstadt). Für den Geseker Bach, oberhalb der Einleitung der Kläranlage (Hüstedder Mühle, unterhalb Staustufe) können folgende Abflüsse angegeben werden:

HQ1: 2,74 m³/s, HQ2: 3,31 m³/s, HQ5: 5,13 m³/s, HQ10: 6,59 m³/s und HQ20: 8,20 m³/s.

Nach Angaben der Bezirksregierung können Angaben zum Mittelwasserabfluss MQ und zum mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ nur geschätzt bzw. aus Messungen abgeleitet werden. Grund sind die relativ konstanten Quellschüttungen in Geseke. Es ergibt sich ein MNQ von 0,3 m³/s und ein MQ von 1,5 m³/s.

## 6. Kläranlage Geseke

---

Der mittlere Trockenwetterabfluss der Kläranlage beträgt 6.877 m<sup>3</sup>/d bzw. 0,080 m<sup>3</sup>/s. Bezogen auf MNQ ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von ca. 1 zu 3,75. Der Abwasseranteil am MNQ (nach Einleitung) beträgt ca. 21 %, der Abwasseranteil am MQ beträgt ca. 5 %. Dies führt überschlägig zu Einzelstoffkonzentrationen von > 0,21 µg/l bei MNQ-Abfluss im Gewässer, wenn das Abwasser an der Einleitungsstelle einen Einzelkonzentrationswert von 1 µg/l aufweist.

Abwasseranteile von über 33% am Gewässerabfluss bei MNQ gelten als hoch. Derzeit bestehen hierzu jedoch keine verbindlichen, gewässerrechtlichen Vorgaben in Nordrhein-Westfalen. Der Geseker Bach weist mit rd. 21% Abwasseranteil am MNQ einen rd. 36% niedrigeren Wert auf.

Den aktuellen ökologischen Gewässerzustand des Geseker Baches zeigt die tabellarische Zusammenstellung in Bild 27 [MKULNV NRW, 2015].

### **Geseker Bach:**

Der ökologische Zustand des Geseker Baches wird im 3. Monitoringzyklus im Bereich nördlich von Geseke bis zur Quelle als „schlecht“ bewertet. Die Saprobie und das Phytobenthos (Diatomeen) zeigen einen „mäßigen“ Gewässerzustand. Im weiteren Verlauf – südöstlich von Verlar bis nördlich von Geseke und damit etwa im Bereich der Einleitungsstelle der Kläranlage, wird der ökologische Zustand als „mäßig“ belastet eingestuft und westlich von Verlar bis südöstlich von Verlar vor Einleitung in den Brandenbäumer Bach als „unbefriedigend“. Die Saprobie wird in diesen Abschnitten als „gut“ bewertet. Makrophyten (PHYLIB) werden als „mäßig“ eingestuft, ebenso wie Phytobenthos (Diatomeen). Makrophyten (NRW) zeigen im Bereich nördlich Geseke noch einen „guten“ Zustand und im weiteren Verlauf südöstlich von Verlar einen „mäßigen“ Zustand.

Der chemische Zustand wird im Geseker Bach durchgehend als „nicht gut“ eingestuft.

Es wurde unter den allgemeinen chemischen und physikalischen Parametern (ACP) für Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphat-Phosphor Stoffkonzentrationen festgestellt die Grenz- und Orientierungswerte überschritten.

Unter den nicht gesetzlich verbindlich geregelten Metallen wurden erhöhte Werte von Barium festgestellt. Eine Erklärung zur Ursache bzw. Herkunft der erhöht festgestellten Metallkonzentration fehlt.

Neben der Gewässergüte sind eine hohe Abwasser-Gewässerabflussrelation sowie die Nutzung von Gewässern zur Trinkwassergewinnung (Uferfiltration) mögliche Faktoren die vom Gesetzgeber zur Beurteilung der Errichtung von Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination herangezogen werden können.

6. Kläranlage Geseke

Planungseinheit	PE_LIP_1700		PE_LIP_1700		PE_LIP_1700	
Wasserkörper-ID	27838_2094		27838_4425		27838_7394	
Gewässername	Geseker Bach		Geseker Bach		Geseker Bach	
Wasserkörperbezeichnung	westlich v. Verlar bis südöstlich v. Verlar		südöstlich v. Verlar bis nördlich v. Geseke		nördlich v. Geseke bis Quelle	
LAWA-Fließgewässertyp	18		18		18	
Trinkwassergewinnung	nein		nein		nein	
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB		natürlich - NWB		verändert - HMWB	
HMWB-Fallgruppe	Kult-TLB				Kult-TLB	
Monitoringzyklus	2	3	2	3	2	3
Ökologischer Zustand	unbefr.	unbefr.	mäßig	mäßig	schlecht	schlecht
MZB Saprobie	gut	gut	gut	gut	mäßig	mäßig
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	unbefr.	mäßig	mäßig	unbefr.	unbefr.
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.
MZB Gesamt	unbefr.	unbefr.	mäßig	mäßig	unbefr.	unbefr.
Fische	unbefr.	unbefr.	mäßig	mäßig	schlecht	schlecht
Makrophyten (PHYLIB)	mäßig	mäßig	gut	mäßig	mäßig	
Makrophyten (NRW)	mäßig	mäßig	gut	gut	mäßig	
Phytobenthos (Diatomeen)	mäßig	mäßig		mäßig		mäßig
Phytobenthos o. Diatomeen		gut		gut		
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.
Ökologisches Potenzial	mäßig	mäßig	nicht rel.	nicht rel.	unbefr.	mäßig
MZB Allgemeine Degradation	mäßig	mäßig	nicht rel.	nicht rel.	unbefr.	mäßig
MZB Gesamt	mäßig	mäßig	nicht rel.	nicht rel.	unbefr.	mäßig
Fische	mäßig	mäßig	nicht rel.	nicht rel.	mäßig	mäßig
Metalle (Anl. 5 OGewV)	gut	gut	gut	gut	gut	gut
PBSM (Anl. 5 OGewV)						
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)						
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.	nicht eing.	nicht eing.	nicht eing.	eing. gut	nicht eing.
Gewässerstruktur						
Metalle n. ges. verb. (OW)	nicht eing.	nicht eing.	eing. gut	eing. gut	nicht eing.	nicht eing.
PBSM n. ges. verb. (OW)						
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)		eing. gut		eing. gut		eing. gut
Chemischer Zustand <sup>1</sup>	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut		gut		gut	
Metalle (Anl. 7 OGewV <sup>2</sup> )	gut					
PBSM (Anl. 7 OGewV)	gut					
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)						
Nitrat (Anl. 7 OGewV)	gut		gut		gut	
Planungseinheit	PE_LIP_1700		PE_LIP_1700		PE_LIP_1700	
Wasserkörper-ID	27838_2094		27838_4425		27838_7394	
Gewässername	Geseker Bach		Geseker Bach		Geseker Bach	
Wasserkörperbezeichnung	westlich v. Verlar bis südöstlich v. Verlar		südöstlich v. Verlar bis nördlich v. Geseke		nördlich v. Geseke bis Quelle	
ACP Gesamt (OW)	Ammonium-Stickstoff; Gesamtphosphat- Phosphor		Gesamtphosphat- Phosphor; Ammonium-Stickstoff; Sauerstoff; Wassertemperatur		Wassertemperatur	
<b>Stoffgruppen des ökologischen Zustands / Potenzials</b>						
Metalle (Anl. 5 OGewV)						
PBSM (Anl. 5 OGewV)						
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)						
<b>Gesetzlich nicht verbindlich</b>						
Metalle n. ges. verb. (OW)	Barium				Barium	
PBSM n. ges. verb. (OW)						
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)						
<b>Stoffgruppen des chemischen Zustands</b>						
Metalle (Anl. 7 OGewV <sup>1</sup> )						
PBSM (Anl. 7 OGewV)						
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)						

Bild 27: Gewässerzustand Geseker Bach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]

## **7 Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse**

Zur Abschätzung der Belastung der Kläranlagenabläufe mit Spurenstoffen, wurde zu Beginn der Untersuchungen ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage (Ablauf Nachklärung) vorgenommen.

Untersucht wurden 45 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe (siehe Anhang). Unter anderem wurde analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a..

Es wurde im Zeitraum 16.08.2016 bis 19.08.2016 und 23.08.2016 bis 26.08.2016 jeweils eine 72h-Mischprobe im Ablauf der Kläranlage zeitproportional entnommen (Ablauf Nachklärung). Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vor den Probenahmen trat kein Niederschlag auf.

Zur Abschätzung der bestehenden Spurenstoffbelastung im Gewässer wurde am 17.08.2016 jeweils eine qualifizierte Stichprobe oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle im Geseker Bach entnommen und analysiert.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle 6 zeigt die festgestellte Konzentration der Spurenstoffe sowie Prozentangaben zum Auftreten der Stoffe im Unterlauf der Einleitungsstelle im Verhältnis zu den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage.

Zusätzlich werden den gemessenen Konzentrationen die Umweltqualitätsnormen (UQN) gemäß Anlage 8 der OGewV sowie Orientierungswerte (OW) und Präventive Vorsorgewerte (PV) des Monitoringprogrammes zur Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme nach der WRRL gegenübergestellt (D4-Liste).

7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 6: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Geseke (16.08.16 – 19.08.2016; 23.08.16 – 26.08.2016) und im Gewässer (17.08.2016)

Spurenstoffe:			Spurenstoff-Messwerte					D4-Liste OW / PV	OGewV UQN
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA 16.8.16	Ablauf KA 23.8.16	Oberlauf Ein.stelle 17.8.16	Unterlauf Ein.stelle 17.8.16	Diff. UL/ Ablauf KA 17.8.16	LAWA/PNEC, UFO Plan, EU Draft u.a.	Jahresmittel J-MW/Max.
<b>Antiepileptikum</b>	Carbamazepin	µ g/l	1,20	0,58	<0,05	0,18	15%	0,5 J-MW	
<b>Antibiotika</b>	Clarithromycin	µ g/l	0,19	0,13	<0,05	<0,05		0,02 J-MW	
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,41	0,56	<0,05	0,06	15%	0,15 J-MW	
	Ciprofloxacin	µ g/l	<2,5	<1	<0,05	0,10		k.A.	
<b>Schmerzmittel</b>	Diclofenac	µ g/l	2,00	2,80	<0,05	0,26	13%	0,1 J-MW	
	Ibuprofen	µ g/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,01 J-MW	
<b>Betablocker</b>	Metoprolol	µ g/l	1,50	2,10	<0,05	0,46		7,3 J-MW	
	Sotalol	µ g/l	0,97	0,94	<0,05	0,130	13%	0,1 J-MW	
	Bisoprolol	µ g/l	0,63	0,17	<0,05	0,08	12%	0,1 J-MW	
<b>Röntgenkontrast</b>	Amidotrizoesäure	µ g/l	0,84	7,10	0,10	0,15	18%	0,1 J-MW	
	Iopamidol	µ g/l	0,64	0,18	0,11	0,14	22%	0,1 J-MW	
<b>Lipidsenker</b>	Bezafibrat	µ g/l	0,58	0,46	<0,05	0,06	11%	0,1 J-MW	
<b>Komplexbildner</b> (Geschirrspülmittel)	Benzotriazol	µ g/l	3,50	4,30	0,08	0,60	17%	10 J-MW	
	EDTA (Ethyldiamintetraacetat)	µ g/l	21,00	27,00	0,70	3,20	15%	240 J-MW	
<b>Herbizid</b>	Terbutryn	µ g/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,065 J-MW	0,065 J-MW 0,34 Max.
	Isoproturon	µ g/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		0,3 J-MW	0,3 J-MW 1,0 Max.
	Diuron	µ g/l	<0,05	<0,05	<0,05	0,12		0,2 J-MW	0,2 J-MW 1,8 Max.
	Glyphosat	µ g/l	0,81	0,76	<0,05	<0,05		0,1 J-MW	
	Metolachlor ESA	µ g/l	<0,05	0,08	<0,05	<0,05			0,2 J-MW
	Mecoprob	µ g/l	<0,05	0,08	<0,05	<0,05			0,1 J-MW
<b>Stimulanz</b>	Ritalinsäure	µ g/l	0,12	0,17	<0,05	<0,05		0,1 J-MW	
<b>Duftstoff</b>	Galaxolide (HHCB)	µ g/l	0,48	0,47	0,003	0,098	20%	7 J-MW	
<b>Flammschutzmittel</b>	TCPP	µ g/l	0,10	0,10	<0,01	0,00		k.A.	
<b>Süßstoff</b>	Acesulfam	µ g/l	0,38	0,82	0,07	0,17	45%	k.A.	
<b>Tenside (PFT)</b>	Perfluorooctansäure (gPFOA)	µ g/l	<0,05	<0,05	0,01	0,01		0,1 J-MW	
	Perfluorooctansulfon säure (gPFOS)	µ g/l	<0,05	0,11	<0,01	<0,01		0,1 J-MW	
	Bromid	mg/l	0,07	<0,05				k.A.	

J-MW = Jahresmittelwert

## 7. Screening zu Spurenstoffen

---

Für das Antiepileptikum Carbamazepin, das Antibiotika Sulfamethoxazol, das Schmerzmittel Diclofenac, die Betablocker Sotalol, Bisoprolol, die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol, der Komplexbildner Benzotriazol, das Herbizid Glyphosat sowie das Stimulanzmittel Ritalinsäure fanden sich im Ablauf der Kläranlage Geseke Konzentrationen oberhalb der Orientierungswerte (J-MW) gemäß D4-Liste.

Deutliche Überschreitungen der Orientierungswerte von 0,1 µg/l fanden sich für Diclofenac (2,0 bzw. 2,8 µg/l), Sotalol (0,97 bzw. 0,94 µg/l) und insbesondere am 23.8.16 für das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure mit 7,1 µg/l.

Oberhalb der Einleitungsstelle waren bis auf das Röntgenkontrastmittel Iopamidol keine Spurenstoffe mit Konzentrationen über dem Orientierungswert nachweisbar.

Unterhalb der Einleitungsstelle fanden sich Konzentrationen im Bereich von 11 % bis 20% der Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Geseke. Nur für Acesulfam konnte ein höheres Konzentrationsverhältnis von 45% der Ablaufkonzentration im Unterlauf gemessen werden.

Für die Herbizide Terbutryn, Isoproturon und Diuron konnten keine Konzentrationen oberhalb des Messbereiches gefunden werden. Für Metolachlor ESA und Mecoprob zeigte sich am 23.8.16 eine Ablaufkonzentration von 0,08 µg/l.

Für eine Reihe hier nicht aufgeführter Messwerte wurden weder im Ablauf der Kläranlage noch im Gewässer Konzentrationen oberhalb des Messbereiches gefunden. Hierzu gehören:

Acenaphthen, Acenaphtylen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(ghi)perylen, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Debenz(ah)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphtalin, Phenanthren, Pyren u.a..

Eine vollständige Auflistung der Messwerte ist der Anlage zu entnehmen.

In den nachfolgenden Bildern werden die wesentlichen im Ablauf der Nachklärung festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt.

7. Screening zu Spurenstoffen

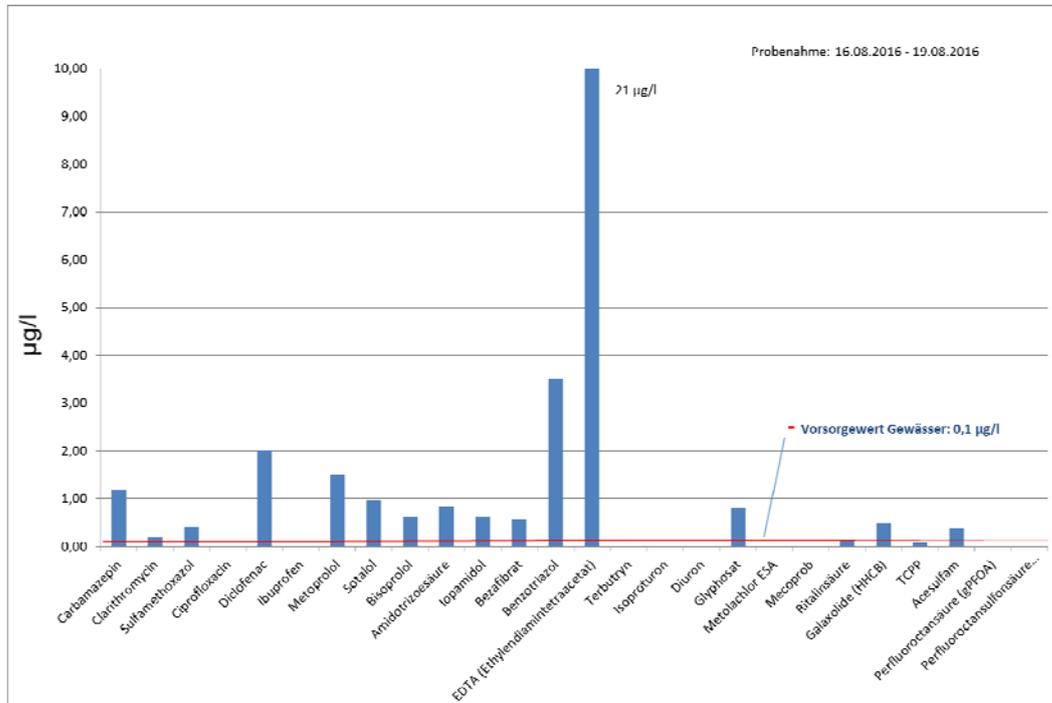


Bild 28: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung (16.08.16 – 19.08.16)

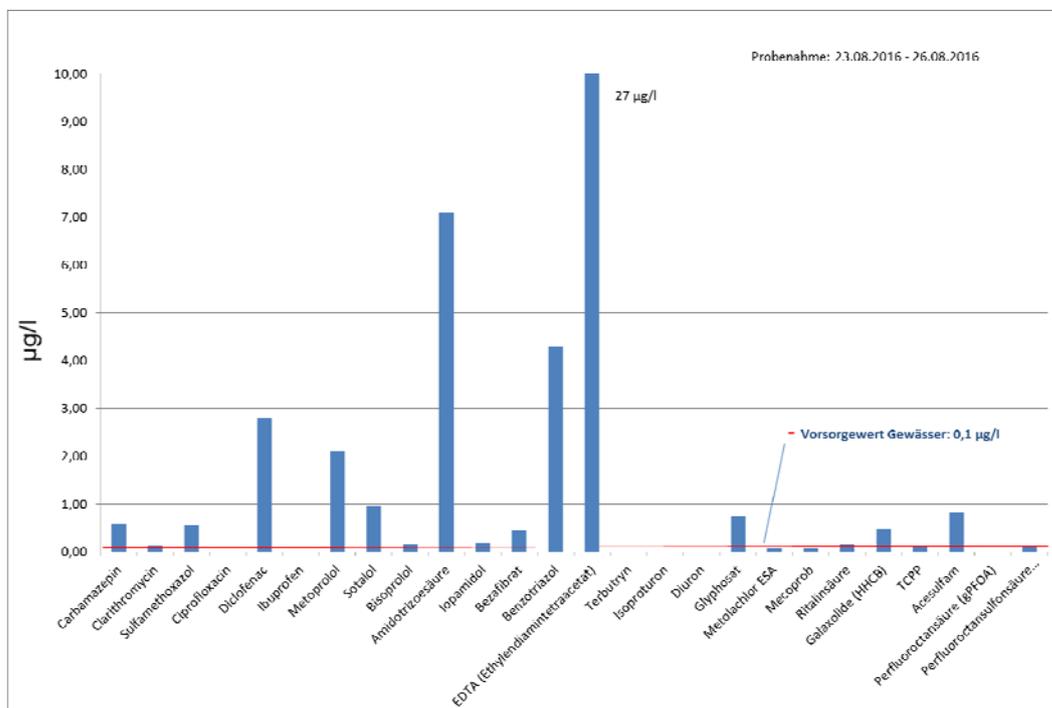


Bild 29: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung (23.08.16 – 26.08.16)

7. Screening zu Spurenstoffen

Ein Vergleich ausgewählter Spurenstoffparameter mit den Konzentrationen anderer Kläranlage zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen

Spurenstoffe:			Kläranlage Geseke		Kläranlage Langenberg	Kläranlage Verl-West	Kläranlage Verl Sende	Kläranlage Rietberg	KA Neuss / KA Sassendorf
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA 16.8.16	Ablauf KA 23.8.16	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA
<b>Antiepileptikum</b>	Carbamazepin	µ g/l	1,20	0,58	2,20	0,93	1,30	1,1 - 2,8	1,4 / 1,3
<b>Antibiotika</b>	Clarithromycin	µ g/l	0,19	0,13	0,16	0,30	0,56	< 0,5 - 0,19	0,7 / 0,71
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,41	0,56	0,34	0,19	0,33	0,5 - 1,1	0,7 / 0,71
<b>Schmerzmittel</b>	Diclofenac	µ g/l	2,00	2,80	0,88	3,40	4,40	1,8 - 3,7	1,1 / 4,9
<b>Betablocker</b>	Metoprolol	µ g/l	1,50	2,10	5,60	3,70	3,70	1,6 - 3,5	k.A.
	Sotalol	µ g/l	0,97	0,94	0,79	0,47	0,32	0,56 - 0,75	k.A.
	Bisoprolol	µ g/l	0,63	0,17	0,51	0,41	0,54	k.A.	k.A.
<b>Röntgenkontrast</b>	Amidotrizoesäure	µ g/l	0,84	7,10	< 0,05	< 0,05	3,40	< 0,05 - 2,9	10,4 / 0,45
	Iopamidol	µ g/l	0,64	0,18	0,17	< 0,05	< 0,1	< 0,05 - 2,8	1,3 / 1,5
<b>Lipidsenker</b>	Bezafibrat	µ g/l	0,58	0,46	0,06	0,12	0,16	k.A.	k.A.
<b>Komplexbildner</b>	Benzotriazol	µ g/l	3,50	4,30	6,60	4,10	7,60	3,6 - 7,2	k.A.
<b>Herbizid</b>	Terbutryn	µ g/l	<0,05	<0,05	0,07				
	Isoproturon	µ g/l	<0,05	<0,05	0,08				
	Diuron	µ g/l	<0,05	<0,05	< 0,05				
	Bromid	mg/l	0,07	<0,05	0,06				

Der Vergleich der festgestellten Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Geseke mit Messwerten anderer Kläranlagen zeigt eine relativ große Übereinstimmung. Eine abweichend hohe Konzentration wurde nur für das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure am 23.08.16 gemessen.

## **8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination**

Für die nachfolgende Variantenbetrachtung werden die in Kapitel 5 vorgestellten wesentlichen Verfahrenstechniken zur Mikroschadstoffentfernung hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit auf der Kläranlage Geseke untersucht.

Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf die nachgeschaltete Filterstufe.

Wie in Kapitel 6.2 gezeigt wurde, ist die Wasserqualität im Geseker Bach durch hohe Phosphorkonzentrationen beeinträchtigt. Die Verfahren werden deshalb so ausgelegt, dass auch eine Verminderung der Phosphor-Ablaufkonzentrationen der Kläranlage durch eine Nachfällung und Filtration möglich ist.

Folgende Verfahren werden betrachtet:

### **1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAK)**

- PAK in Belebung mit nachgeschalteter Filterstufe (Dyna-Sand / Tuchfilter)
- PAK in adsorptiver Reinigungsstufe + Filterstufe (Dyna-Sand / Tuchfilter)

### **2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAK)**

- GAK in Dyna-Sand-Karbon Filter + Filterstufe (Dyna-Sand)
- GAK in Festbett-Adsorberstufe + Filterstufe (Dyna-Sand)

### **3. Oxidative Verfahren**

- Ozonung + Filterstufe (Dyna-Sand)

Die Verfahren werden im Hinblick auf:

Eliminationsleistung, Wirtschaftlichkeit, Raumbedarf, vorhandene Anlagentechnik, Klärschlamm-sorgung sowie betriebliche Aspekte untersucht und bewertet.

Aus Sicht des Betreibers sind weitere Faktoren bei der Verfahrensauswahl zu berücksichtigen, wie eine hohe Betriebsstabilität bei schwankenden Abwassermengen und veränderlichem Abwasser (pH-Wert, Temperatur u. a.), möglichst geringer Personalbedarf und einfache Betreuung der Anlage, Integrationsfähigkeit in bestehende Anlagen, Erweiterbarkeit sowie Überwachung und Steuerung durch Online-Messtechnik.

## 8. Variantenuntersuchung

---

Mit Ausnahme des Verfahrens mit einer PAK Dosierung direkt in die Belebung, wird in allen untersuchten Spurenstoffbehandlungsvarianten der Ablauf der Nachklärung behandelt.

### 8.1 Vorhandene Erweiterungsfläche

Die unterschiedlichen Varianten zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfordern unterschiedlich große Flächen. Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt im nord-östlichen Kläranlagenbereich, oberhalb der Nachklärung (Bild 30).

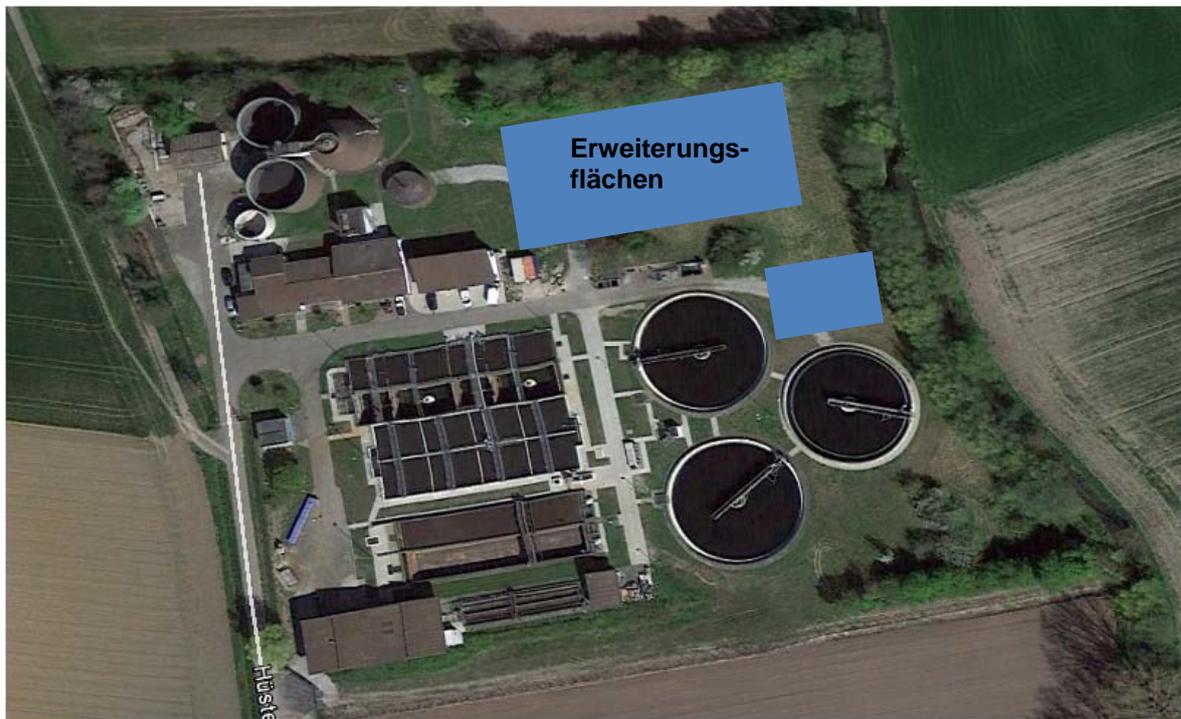


Bild 30: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Geseke (Luftbild - Quelle: Google-Earth)

Es sind Flächen von rd. 4.300 m<sup>2</sup> sowie rd. 600 m<sup>2</sup> im nord-östlichen Bereich der vorhandenen Kläranlage verfügbar (Bild 31). Auch unter Berücksichtigung des Überschwemmungsgebietes (HQ 100, türkise Linie) ist die potentielle Erweiterungsflächen für die 4. Reinigungsstufe ausreichend.

8. Variantenuntersuchung

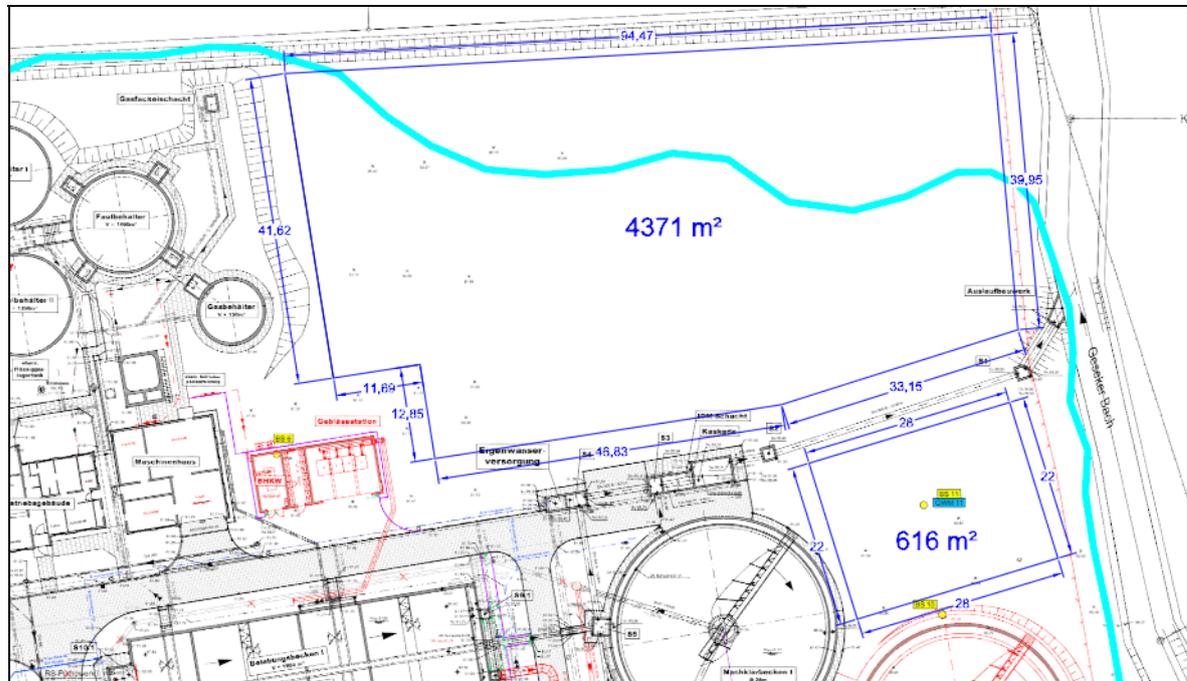


Bild 31: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Geseke

## 8.2 Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen

Die Dimensionierung der Reinigungsstufe erfolgt unter Ansatz von Literaturempfehlungen (s. Kap. 5.6). Im Wesentlichen werden die Empfehlungen der Arbeitsgruppe Mikroschadstoffe des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe zugrunde gelegt [KOMS, 2016].

Die Auslegung erfolgt für die ausgewerteten Abwassermengen der Jahre 2013 bis 2015. Es wird eine rd. 15% Steigerung der Schmutzwassermengen (Frischwasser) berücksichtigt.

Tabelle 8: Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe

Zulaufmenge	Trockenwetter
Trockenwetterzufluss - Mittel $Q_{T,mittel}$	287 m <sup>3</sup> /h, 80 l/s
Trockenwetterzufluss - Maximum $Q_{T,max.}$	380 m <sup>3</sup> /h, 106 l/s
Trockenwetterzufluss - Minimum $Q_{T,min}$	210 m <sup>3</sup> /h, 58 l/s
Jahresschmutzwassermenge (JSM) $Q_{S,a}$	2,51 Mio. m <sup>3</sup> /a
Jahresabwassermenge (JAM) $Q_{MW,a}$	2,97 Mio. m <sup>3</sup> /a
Mischwasserzufluss $Q_{M,Bemessung}$	1.080 m <sup>3</sup> /h, 300 l/s

8. Variantenuntersuchung

**8.3 Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe**

**8.3.1 Verfahrensbeschreibung**

In Variante 1.1 wird eine Spurenstoffelimination durch die Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) in die Biologie untersucht.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- PAK Silo
- PAK Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung
- Elektro-, MSR Technik
- Nachgeschaltete Filterstufe

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination in Variante 1.1 wird schematisch in Bild 32 gezeigt:

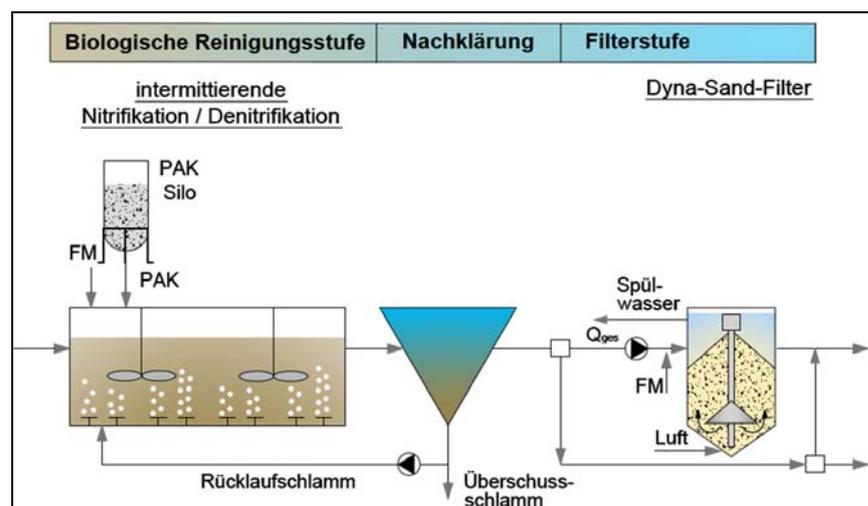


Bild 32: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

Die räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks erfolgt im Bereich der Belebungsbecken. Der Lagertank ist so auszulegen, dass die Fracht eines LKW-Lieferfahrzeuges vollständig und zeitsparend aufgenommen werden kann. Entsprechend ist die Expansion der PAK bei Befüllung des Silos zu berücksichtigen. Die Befüllung des Silobehälters erfolgt pneumatisch über das Silofahrzeug. Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerieren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird

8. Variantenuntersuchung

gravimetrisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierier staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen in das Verteilerbauwerk der Belebungsbecken zugeführt.

Die Dosierung der PAK erfolgt proportional zum Abwasserzufluss. Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen.

Zum Rückhalt von PAK wird im Ablauf der Nachklärung eine Dyna-Sand Filtration vorgesehen, um aus der Nachklärung ggf. ausgetragene Pulveraktivkohle rückhalten zu können (Variante 1.1). Der Mischwassererablauf wird mit einem Zwischenpumpwerk gehoben und über die Filtration geführt (Bild 33).

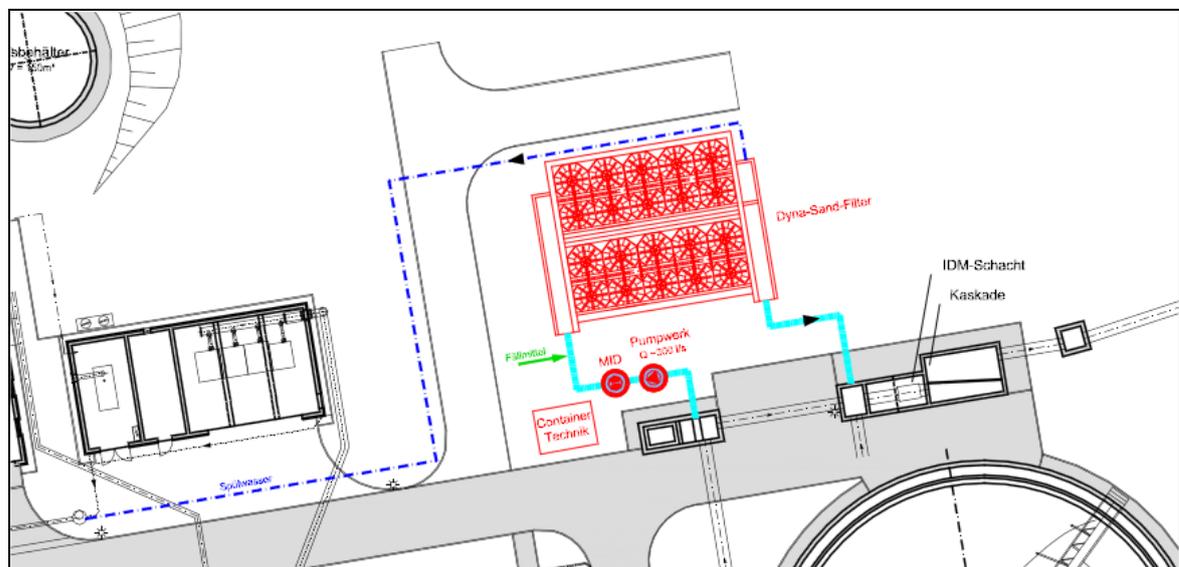


Bild 33: Lageplan KA Geseke - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebungsbecken, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

8. Variantenuntersuchung

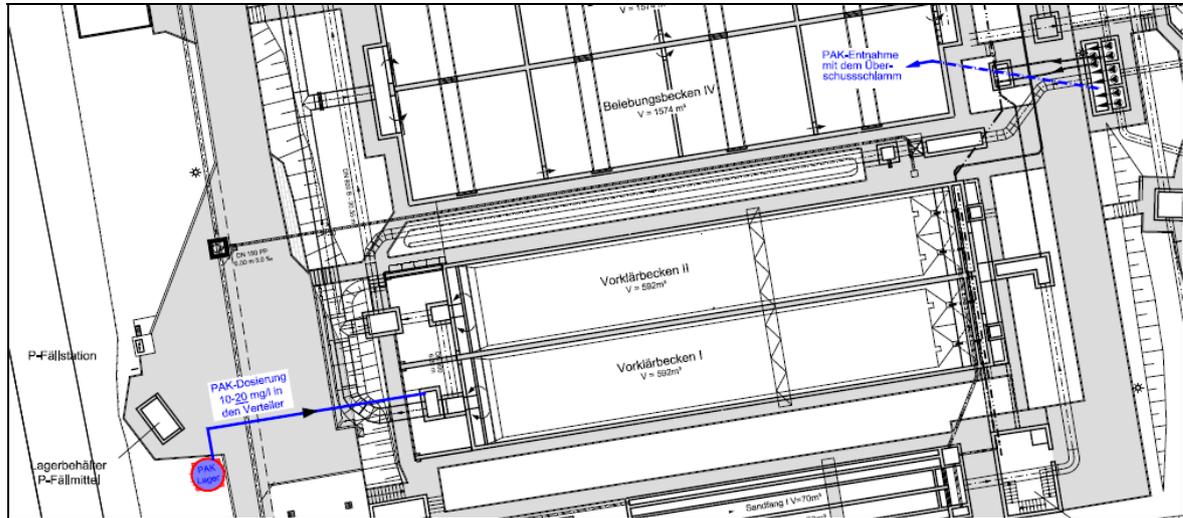


Bild 34: Lageplan KA Geseke - Variante 1.1 – Dosierstelle PAK im Zulauf zur Belebung

**Dyna-Sand Filtration (Variante 1.1)**

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge wird vorerst mit 300 l/s bzw.  $Q_m = 1.080 \text{ m}^3/\text{h}$  angesetzt und entspricht damit rd. 86% der max. Mischwassermenge vor Ausbau der KA von 350 l/s (Fördermenge Zulaufpumpwerk – Ist: 500 l/s).

Ob ein Ausbau auf den vollen Bemessungs-Mischwasservolumenstrom erforderlich ist, ist in weiteren Planungsschritten zu prüfen.

Die Abwasser-Zuführung erfolgt aus dem Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Dyna-Sand Filtration, maschinelle Einrichtung, Betonbau
- Kompressorstation, Einhausung
- Fällmitteldosierstation
- Elektro-, MSR Technik

Die Dyna-Sand Filtration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 20 Filterzellen.

Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 6000 D-B (Nordic Water).

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabirinth
- Tragkonstruktion für innere Rohrleitungen und Sandwäscher

## 8. Variantenuntersuchung

---

Das Filtrat verlässt das Filterbecken in einem Kanal auf einer Höhe von etwa 5 m. Das Zulaufniveau liegt bei 1,1 m über Filteroberkante, bei ca. 6,5 m.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

Der Rückspülprozess findet kontinuierlich und parallel zur Filtration statt, der Filtrationsvorgang wird nicht beeinträchtigt. Das Funktionsprinzip der Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben.

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. beispielhaft Bild 40).

Als Alternative zur Dyna-Sand Filtration wird eine Filtration über Polstoff-Schweibentuchfilter betrachtet, die an Stelle der Dyna-Sand Filtration zum Rückhalt von Feststoffen und PAK im Ablauf der Kläranlage eingesetzt wird (Variante 1.1b). Die Filtration wird ebenfalls für den o.a. Mischwasserstrom der Kläranlage ausgelegt.

### **Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.1b)**

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt. Die Auslegungs-Mischwassermenge beträgt  $Q_m = 1.080 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Die Abwasser-Zuführung erfolgt über den Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Polstoff-Scheibentuchfilter (32 Filterscheiben / je 6 Filterelemente),
- maschinelle Einrichtung (Filterreinigungssysteme, Filterantrieb, Tauch-, Prallwand, Bodenschlamm- u. Entleerungspumpe), Wartungspodest, Betonbau
- Elektro-, MSR Technik, Einhausung Elektrotechnik

Die Polstoff-Scheibentuchfiltration wird in Betonbauweise errichtet.

Der Filtereinbau entspricht Typ: SF 16/80-B-240-3-PMF-A4 (Mecana)

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4404 ausgeführt.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt. Die Filtertücher werden über Filterreinigungssysteme (Absaugbalken mit Filterabsaugpumpe) gereinigt.

Das Funktionsprinzip der Tuchfiltration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben.

8. Variantenuntersuchung

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 35).

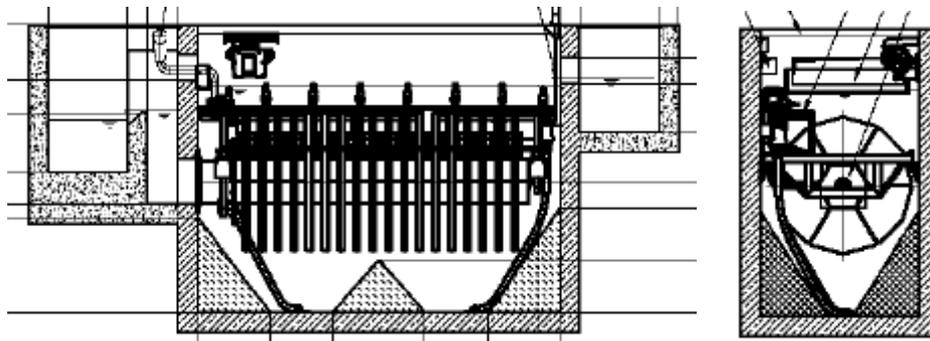


Bild 35: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)

### 8.3.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 9 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 9: Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge – PAK Dosierung	287 m <sup>3</sup> /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	1.080 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (PAK-Dosierung )	2,97 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	20 mg/l
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 4.270 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 51.200 kg/a
PAK Silo gewählt	80 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.3.3 Diskussion Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung

Die Installation und Integration einer PAK Dosierung in die Biologie ist mit relativ geringem baulichem Aufwand verbunden. Im Wesentlichen ist ein PAK-Silo sowie eine PAK-Ansetzeinheit sowie die Dosiereinrichtung erforderlich. Hinzu kommt die nachgeschaltete Filterstufe.

Der Platzbedarf ist insgesamt gering.

Mit der PAK Dosierung sind folgende verfahrenstechnische Besonderheiten, Vor- und Nachteile verbunden:

- Keine selektive Spurenstoffentnahme im Ablauf, da Sekundärbeladungen abbaubarer Stoffe in der Belebung erfolgt. Dadurch hoher PAK Verbrauch
- Geringer Energiebedarf
- Keine direkte konzentrationsabhängige Regelung der Dosierung möglich, maximal ist eine träge Dosierung in Abhängigkeit von CSB-, DOC-Konzentrationen im Zu- oder Ablauf zu realisieren
- Zusätzliche Reduzierung der Phosphorablaufkonzentration und – fracht über die Filtration möglich
- Mittlerer Anteil an Maschinenteknik sowie MSR-Technik, keine anspruchsvolle Wartung
- erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, eine Verbrennung erforderlich

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.4 Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe

#### 8.4.1 Verfahrensbeschreibung

In Variante 1.2 wird eine Spurenstoffelimination durch die Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) in eine neu zu errichtende separate Adsorptionsstufe, bestehend aus Kontakt und Sedimentationsbecken realisiert. Der Anlage ist ein Sandfilter, z.B. vom Typ Dyna-Sand oder ein Polstoff-Tuchfilter nachzuschalten. Beide Filter werden auf Mischwasserbetrieb ausgelegt und sind durch eine Nachfällung zur Verminderung der P-Ablaufkonzentrationen einzusetzen.

Die adsorptive Reinigungsstufe wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 380 m<sup>3</sup>/h. Die Zuführung erfolgt von einem Umgehungsschacht in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Analgenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Neubau Kontaktreaktor
- Neubau Sedimentationsbecken
- Rücklaufkohlepumpwerk
- PAK Silo
- PAK Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung
- Elektro-, MSR Technik
- Nachgeschaltete Filtration (Dyna-Sand)
- Fällmittel, Flockungshilfsmittel Lager- und Dosierstation

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 1.2 wird schematisch in Bild 36 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung

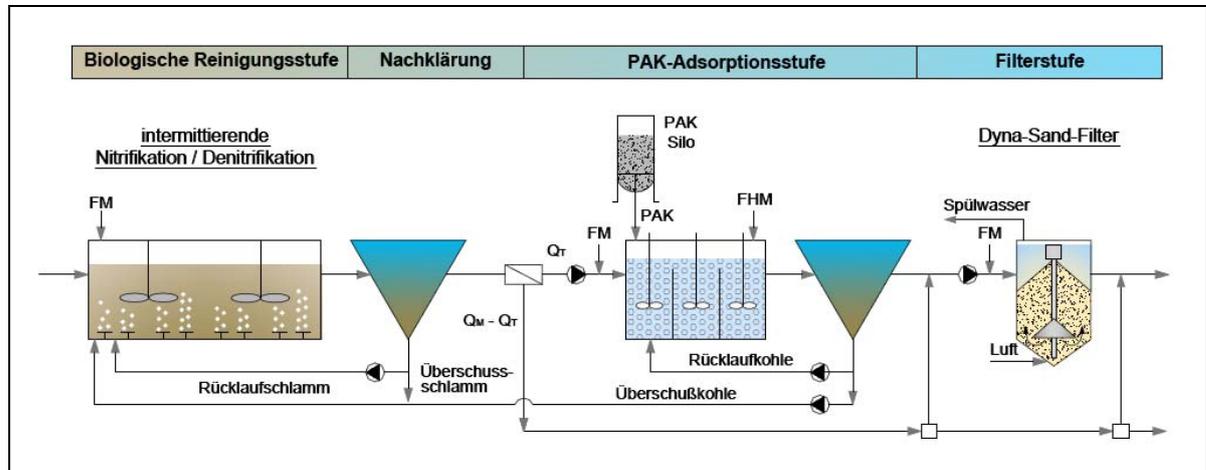


Bild 36: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

Das Sedimentationsbecken ist als horizontal durchströmtes Rundbecken auszuführen. Grundsätzlich sind auch alternative Bauformen – vertikal durchströmte Becken, Parallelplattenabscheider, Lamellenseparatoren, Actiflo<sup>®</sup> Carb-Verfahren, Fuzzy-Filter<sup>®</sup> o.ä. zur Abscheidung der PAK einsetzbar.

Ein ausschließendes Einsatzkriterium dieser Verfahren kann u. a. eine geringe Flächenverfügbarkeit sein.

Das Sedimentationsbecken wird mit einem Umlaufräumer ausgeführt. Der Ablauf des Absetzbeckens erfolgt über eine Überfallkante und fließt dem nachgeschalteten Sandfilter zu.

Aus dem Absetzbecken wird die abgesetzte Kohle in das Kontaktbecken zurück gefördert. Die Rücklaufkohle wird in den Zulauf des Kontaktbeckens zugeführt. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70%. Die Überschussschlamm wird dem Rücklaufschlammumpwerk oder alternativ dem Faulbehälter zugeführt.

Das Kontaktbecken wird u. a. zur Zugabe von Fällmitteln (Metall-Salze) verwendet, die in den Zulauf des Kontaktreaktors dosiert werden. Hierdurch wird der Aufbau von Schlammflocken gefördert, die eine verbesserte Abscheidung der PAK in der nachfolgenden Adsorptionsstufe ermöglicht.

Aufteilung in 3 Beckenabschnitte: Dosierung Fällmittel, Dosierung frische PAK, Dosierung Flockungshilfsmittel. Frisches PAK wird in die zweite Stufe des Kontaktreaktors dosiert sowie optio-

## 8. Variantenuntersuchung

---

nal Flockungshilfsmittel (Polymere) zur besseren Abtrennung des feinen Kohlestaubes in den Ablauf des Kontaktreaktors. Die Kammern des Kontaktbeckens werden kontinuierlich durchmischt.

Technische Ausrüstung: Rührwerke in den drei Kammern des Kontaktreaktors, Räumbrücke Absetzbecken, Dosierpumpen, -leitungen Fällmittel- und Flockungshilfsmittel.

Zur P-Elimination und zur Dosierung von Fällmittel in das Kontaktbecken wird eine separate Fällmittel und Flockungshilfsmittel Lager- und Dosierstation vorgesehen.

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Adsorptionsstufe aus dem Ablaufschacht der Nachklärung.

Neubau eines Pumpwerkes zur Rezirkulation der PAK und zum Abzug der Überschussschle. Verbindende Abwasserleitungen.

Errichtung eines PAK Lagertanks sowie der entsprechenden Dosiereinrichtung und der zuzuführenden Leitungen. Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Messtechnik zur volumenproportionale PAK Zugabe: MID im Zulauf zur Behandlungsstufe.

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen. Alternativ ist eine separate Entwässerung des PAK-Schlammes zu prüfen.

Die Adsorptionsstufe ist im Bereich nördlich der Nachklärung anzuordnen (Bild 37).

8. Variantenuntersuchung

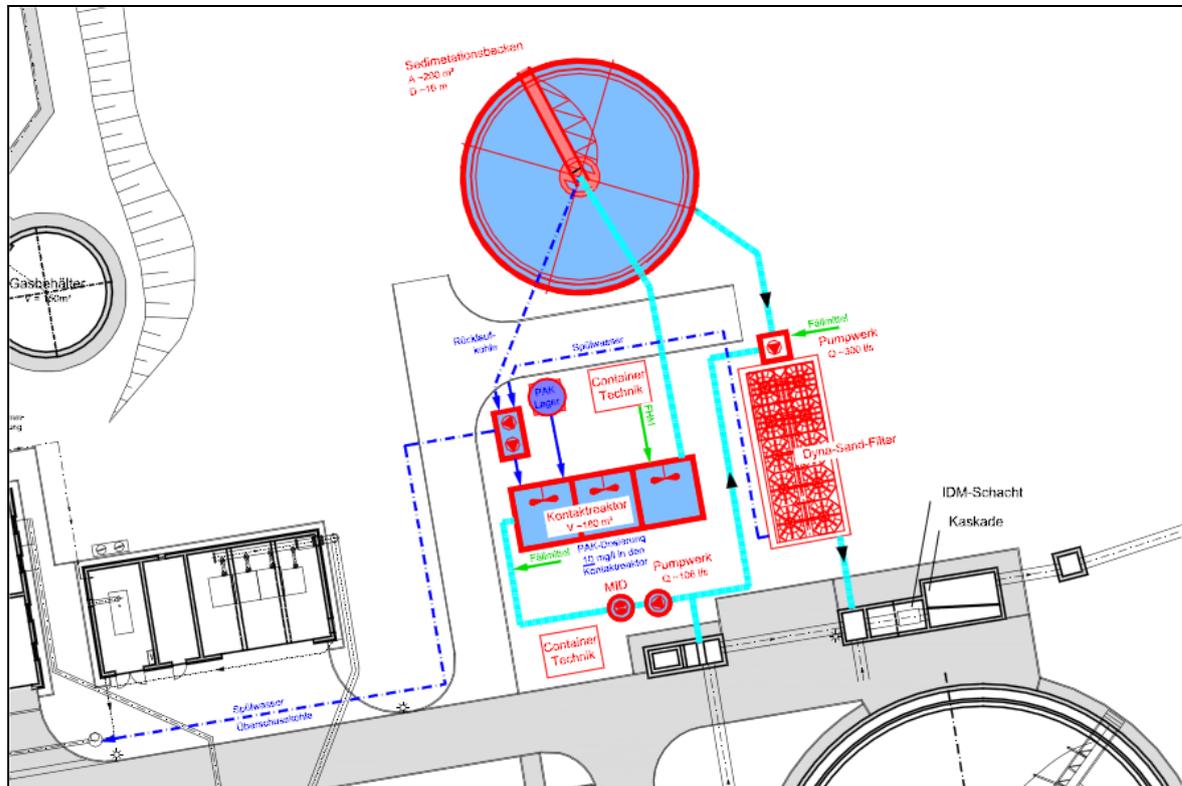


Bild 37: Lageplan KA Geseke - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

Da der Austrag von PAK-Feinststoffen aus dem Absetzbecken nicht auszuschließen ist, ist eine Sandfiltration oder Tuchfiltration nachzuschalten. Die Filtration wird ebenfalls zur P-Nachfällung eingesetzt und wird auf Vollstrombetrieb ausgelegt.

**Dyna-Sand Filtration (Variante 1.2)**

Das Verfahrensprinzip der Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 8.5.1 erläutert. Als Filtermedium wird Sand eingesetzt.

Aufgrund der höher anzusetzenden Flächenbelastung (geringe PAK Konzentration im Zulauf) wird eine Dyna-Sandfiltration mit 10 Filterzellen, Typ: DS 6000 D-B (Nordic Water) gewählt.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### **Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.2b)**

Als Alternative zur Dyna-Sand Filtration ist ein Polstoff-Scheibentuchfilter vorzusehen – Variante 1.2b.

Die Bemessungswassermenge und der Einbau als nachgeschaltete Stufe hinter dem PAK Sedi-mentationsbecken entspricht der Variante mit Dyna-Sand Filter.

Die Grundkonstruktion der Tuchfiltration wird in Abschnitt 8.3.1 erläutert (Variante 1.1b).

Aufgrund der höher anzusetzenden Flächenbelastung (geringe PAK Konzentration im Zulauf) wird eine 2-straßige Polstoff-Scheibentuchfiltration mit 24 Filterscheiben mit je 6 Filterelementen gewählt. Verwendet wird beispielhaft Typ: SF 12/60-B-240-3-PMF-A4 (Mecana).

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 38).

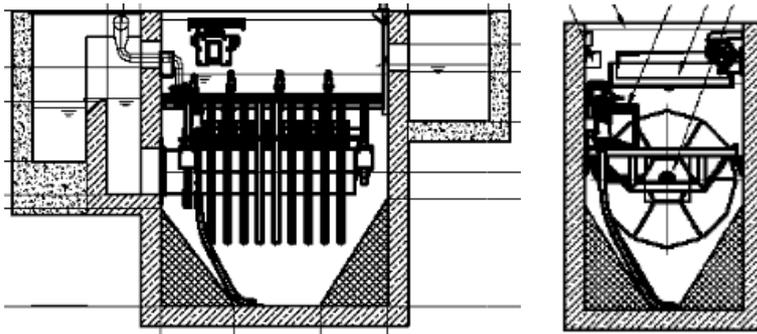


Bild 38: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)

8. Variantenuntersuchung
 

---

### 8.4.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 10 die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 10: Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$ – Adsorptionsstufe	380 m <sup>3</sup> /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	1.080 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,51 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	10 mg/l (5 – 15 mg/l)
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 2.100 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 25.600 kg/a
Dosierung Flockungshilfsmittel	0,2 mg/l (0,2 – 0,3 mg/l)
Dosierung Fällmittel	5 mg/l (2 – 8 mg/l)
Aufenthaltszeit Kontaktbecken	30 min
Aufenthaltszeit Absetzbecken	120 min
Oberflächenbeschickung Absetzbecken	2 m/h
PAK Silo gewählt	80 m <sup>3</sup>
Volumen Kontaktbecken gewählt	190 m <sup>3</sup>
Volumen Absetzbecken gewählt	760 m <sup>3</sup>
Oberfläche Absetzbecken gewählt	200 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.4.3 Diskussion Variante 1.2 PAK - fDosierung adsorptive Reinigungsstufe

Die Installation und Integration einer adsorptiven Reinigungsstufe ist mit hohem baulichem Aufwand verbunden. Zudem ist der Flächenbedarf groß. Die zur Verfügung stehende Erweiterungsfläche ist ausreichend.

Mit der PAK Dosierung in die adsorptive Reinigungsstufe sind folgende verfahrenstechnische Besonderheiten, Vor- und Nachteile verbunden:

- Schnelle und effektive Adsorptionskinetik durch geringe Partikeldurchmesser
- Einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonierung
- Mittlerer Energiebedarf
- Konzentrationsabhängige Regelung der Dosierung (z.B. CSB, DOC im Zu-, Ablauf), in Abhängigkeit von Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziel möglich.
- Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Zusätzliche Reduzierung der Phosphorablaufkonzentration und – fracht möglich
- Geringer Anteil an Maschinenteknik, dennoch aufwändige Wartung der MSR-Technik
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, Verbrennung erforderlich

Grundsätzlich ist auch eine separate Schlammbehandlung für die Pulveraktivkohle möglich. Hierzu ist jedoch eine zusätzliche Schlammbehandlung neu zu errichten. Zudem würde damit der Vorteil einer zusätzlichen Beladung der Aktivkohle in der Biologie entfallen.

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie der Anlage zu entnehmen.

8. Variantenuntersuchung

**8.5 Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter**

**8.5.1 Verfahrensbeschreibung**

In Variante 2.1 wird eine Spurenstoffelimination durch Betrieb einer modifizierten Dyna-Sand<sup>®</sup> Filtration mit granulierter Aktivkohle (GAK) und Betrieb als Dyna-Sand Carbon Filtration untersucht.

Die Filtration wird mit zwei getrennten Filterstraßen ausgelegt (Teilaußerbetriebnahme möglich). Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 380 m<sup>3</sup>/h. Die Zuführung erfolgt vom Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Dyna-Sand-Carbon Filtration, maschinelle Einrichtung, Betonbau
- Dyna-Sand Filtration, maschinelle Einrichtung, Betonbau
- Kompressorstation, Einhausung
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.1 wird schematisch in Bild 39 gezeigt:

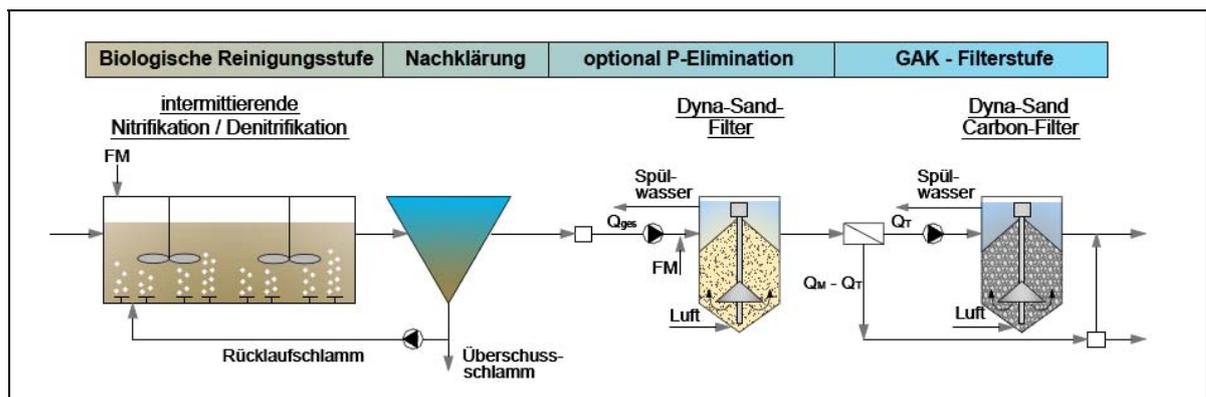


Bild 39: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

Die Dyna-Sand Carbon Filtration (DS-C) sowie die Dyna-Sand Filtration (DS) werden in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 10 Filterzellen (DS-C) und 10 Filterzellen (DS).

## 8. Variantenuntersuchung

Der Filtereinbau entspricht z.B. Typ: DS 6000 D B (Nordic Water). Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabirinth
- Tragkonstruktion für innere Rohrleitungen und Sandwäscher

Das Filtrat verlässt das Filterbecken in einem Kanal auf einer Höhe von etwa 5 m. Das Zulaufniveau liegt bei 1,1 m über Filteroberkante, bei ca. 6,5 m.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

Der Rückspülprozess findet kontinuierlich und parallel zur Filtration statt, der Filtrationsvorgang wird nicht beeinträchtigt. Das Funktionsprinzip der Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben. Die Installation erfolgt in separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 40).

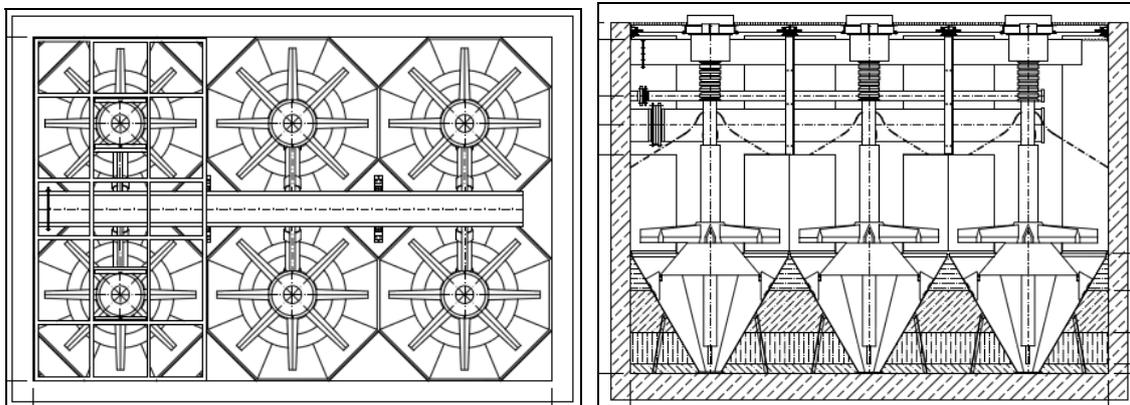


Bild 40: Draufsicht , Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster)  
(Quelle: Fa. Nordic Water)

Weitere Bestandteile sind eine Druckluftsteuerung (Schaltschrank, Druckluftreduzierventil, Rotameter Luftmessung). Bühnenkonstruktion zur Begehung der Filtration einschließlich Abdeckung mit Gitterrostrahmen versehen mit Lichtgitterrosten aus GFK zum Lichtschutz (Algenbildung).  
Waschwasserleitung, Anlagensteuerung, bestehend aus Druckmesssonde (Filterzulauf), Schaltschrank. Die Füllung erfolgt mit granulierter Aktivkohle.

Ein Beispiel für eine Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) zeigt Bild 41.

## 8. Variantenuntersuchung

---



Bild 41: Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)

Die Befüllung der Dyna-Sand Filtration erfolgt mit Sand.

Die Anlage wird mit einer Dosierstation für Fällmittel ausgerüstet. Hierdurch wird die Phosphatfracht und –konzentration im Ablauf der Kläranlage vermindert. Die nachfolgende Adsorptionsstufe wird vor hohen Feststoffkonzentrationen geschützt und damit die Effektivität und Standzeit der GAK-Filtration verbessert.

Die Beschickung der Filtration kann Volumenproportional erfolgen. Eine frachtabhängige Steuerung ist durch eine SAK-Messung oder TOC-Messung zu realisieren. Die Standzeit der Aktivkohle ist dadurch potentiell zu erhöhen.

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Filtration aus dem Ablauf der Nachklärung. Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.

Die Druckluftversorgung erfolgt über eine separate Kompressorstation (s. beispielhaft Bild 42). Die Unterbringung erfolgt jeweils in einem an die Filtration angelehnten separaten Bauteil (hier: Container).

8. Variantenuntersuchung



Bild 42: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)

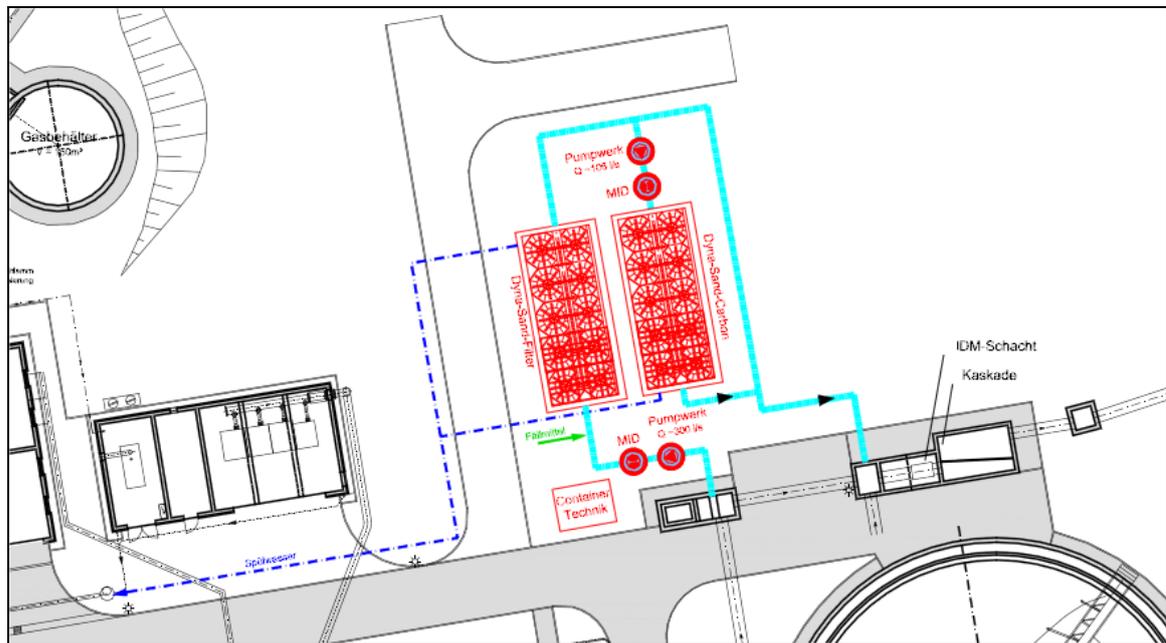


Bild 43: Lageplan KA Geseke - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

8. Variantenuntersuchung

### 8.5.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 11 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 11: Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

<b>Auslegungsparameter</b>	
DS-C-Filtration: Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	380 m <sup>3</sup> /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge $Q_M$	1.080 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,51 Mio. m <sup>3</sup> /a
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B (Dyna-Sand)	10 Stk.
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B (Dyna-Sand Carbon)	10 Stk.
Filterfläche je Einbauteil	6 m <sup>2</sup>
Filterfläche gesamt (je Filtration DS-C, DS)	60 m <sup>2</sup> / 60 m <sup>2</sup>
Mittlere Oberflächenbelastung (DS-C)	5 m/h
Spülwassermenge	1 - 2 m <sup>3</sup> /h/Filter bzw. 15 m <sup>3</sup> /h
Druckluftbedarf	23 Nm <sup>3</sup> /h
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	7,8 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	78 t
Mittlere Aufenthaltszeit DS-C-Filtration	0,55 h
Volumen – Betonbauwerk (DS, DS-C-Filtration)	rd.2 x 450 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.5.3 Diskussion Variante 2.1 - Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)

Die Installation und Integration einer Dyna-Sand Carbon Filtration in Kombination mit einer Dyna-Sand Filtration ist mit mittlerem baulichem Aufwand verbunden.

Die erforderliche Erweiterungsfläche ist nördlich der Nachklärung auf der der KA Geseke verfügbar.

Mit der GAK-Behandlungsstufe sind folgende verfahrenstechnische Besonderheiten, Vor- und Nachteile verbunden:

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- Geringer Energiebedarf
- Konzentrationsabhängiger Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB- (SAK), DOC-Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Zusätzliche Verminderung der Phosphatablaufkonzentration und –fracht der Kläranlage möglich
- Mittlerer Anteil an Maschinentchnik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich

Betriebserfahrung mit entsprechenden Anlagen in Deutschland liegen derzeit für zwei Kläranlagen vor, u.a. auf der KA Rietberg. Bei Betrieb mit Aktivkohle auf Basis von Steinkohle zeigt sich, dass nur ein sehr geringer Abrieb der Kohle auftritt. Ursächlich ist die schonende Umwälzung der Aktivkohle über Mammutpumpen. Aufwendige technische Einbauten zur Rückspülung sind nicht erforderlich.

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie der Anlage zu entnehmen.

8. Variantenuntersuchung

**8.6 Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**

**8.6.1 Verfahrensbeschreibung**

In Variante 2.2 wird eine Spurenstoffelimination durch Betrieb einer Festbett-Adsorberstufe mit granulierter Aktivkohle (GAK) untersucht.

Die Adsorberstufe wird 2-straßig ausgelegt. Filter werden einzeln rückgespült, so dass auch im Rückspülzeitraum eines Filters die Adsorptionsstufe voll verfügbar ist. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 380 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom Ablaufschacht der Nachklärung.

Zur vorhergehenden Feststoffabscheidung und Schutz der GAK-Filterstufe sowie zur weitergehenden P-Elimination wird ein Dyna-Sand-Filter vorgeschaltet.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Festbett-Adsorber
- Dyna-Sand-Filtration
- Spülwasserspeicher
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.2 wird schematisch in Bild 44 gezeigt:

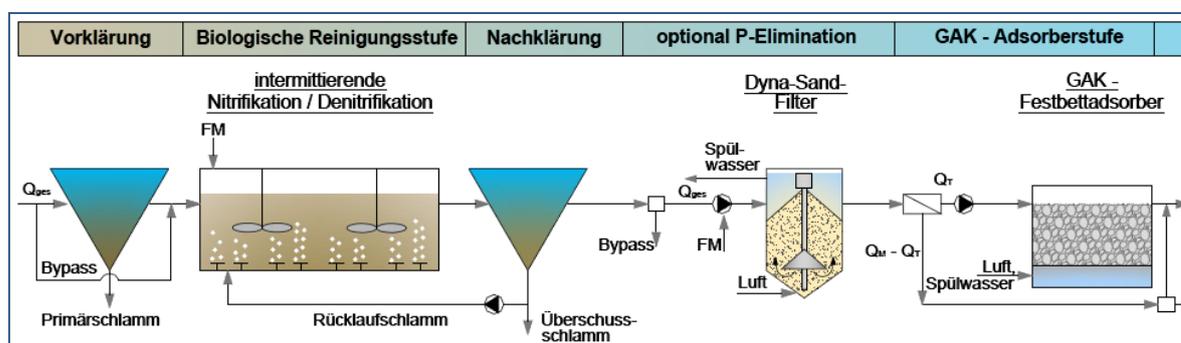


Bild 44: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

Errichtung von vier rückspülbaren GAK-Aktivkohle-Adsorbern, einschließlich Zulaufpumpwerk sowie zu- und abführende Leitungen. Zum Spülen der Aktivkohle-Adsorber werden redundant

8. Variantenuntersuchung

ausgelegte Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse vorgesehen. Über einen Brauchwasserspeicher wird Ablaufwasser zum Rückspülen der Filter zur Verfügung gestellt.

Neubau zweier Pumpwerke zur Zuführung des Abwassers zu den Filtrationen und eines Pumpwerkes zur Rückspülung der Filter. Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.

Messtechnik: MID im Zulauf der Filter sowie SAK-Sonden zur optionalen Regelung des über die Filter zu leitenden Trockenwetter-Teilstroms. Druckmessung im Zu- und Ablauf der Filter.

Die Beschickung der Filtration kann volumenproportional erfolgen. Eine frachtabhängige Steuerung ist durch eine SAK-Messung oder TOC-Messung zu realisieren. Die Standzeit der Aktivkohle ist dadurch potentiell zu erhöhen.

Zur Zugabe von Fällmitteln in die Dyna-Sand Filtration wird eine Dosierstation vorgesehen.

Die Anordnung der Behandlungsstufe ist Bild 45 zu entnehmen.

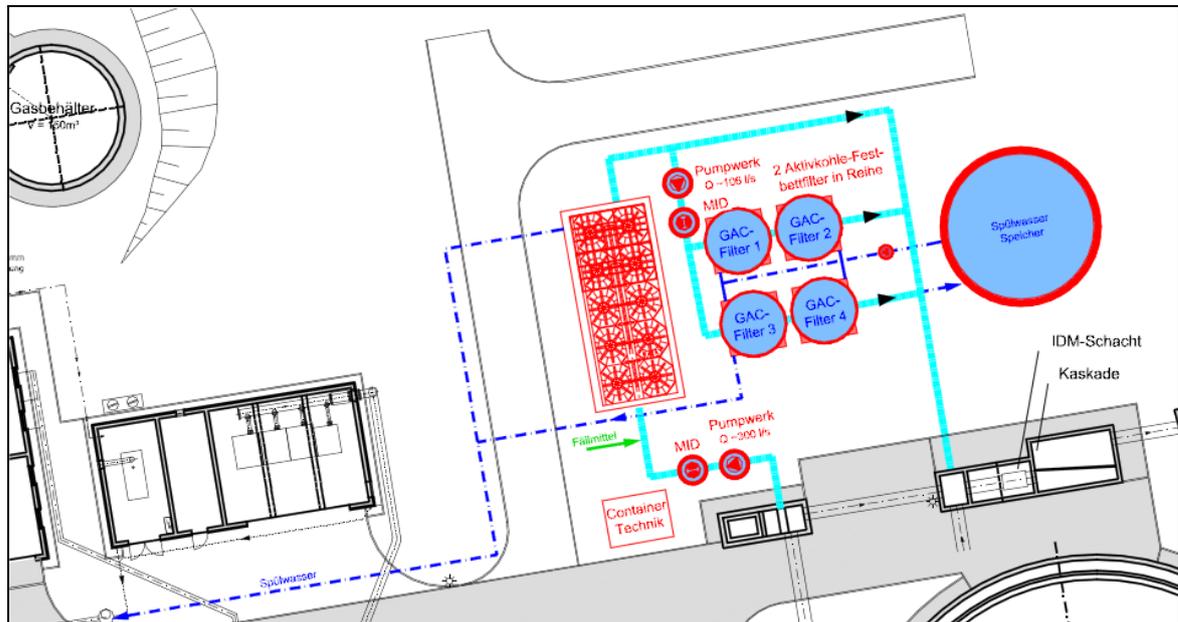


Bild 45: Lageplan KA Geseke - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorgeschalteter Dyna-Sand Filter

8. Variantenuntersuchung
 

---

### 8.6.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 12 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 12: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	380 m <sup>3</sup> /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge $Q_M$	1.080 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,51 Mio. m <sup>3</sup> /a
Anzahl GAK Filter	4
Filterfläche gesamt	60 m <sup>2</sup>
Mittlere Oberflächenbelastung	10 m/h
Volumen gesamt Filterbett	240 m <sup>3</sup>
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	29,4 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	117,6 t
Mittlere Aufenthaltszeit	0,66 h
Dyna-Sand Filter Typ: DS 6000 D-B (Nordic Water)	10 Stk.

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### **8.6.3 Diskussion Variante 2.2 - Festbett Adsorberstufe (GAK)**

Die Installation und Integration einer Festbett Adsorberstufe und einer Sand-Filtration ist mit mittlerem baulichem Aufwand verbunden.

Der Flächenbedarf ist relativ gering. Die Anlage ist im Bereich der Erweiterungsfläche nördlich der Nachklärung zu errichten.

Mit der GAK Behandlungsstufe sind folgende verfahrenstechnische Besonderheiten, Vor- und Nachteile verbunden:

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- Geringer Energiebedarf
- Konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- Kaum erhöhte Schlammengen
- Reduzierung der Phosphorkonzentration und –fracht im Ablauf der Kläranlage möglich
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Redundanz im Falle von Spülvorgängen durch Vorhalten eines weiteren Filters.

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.7 Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

#### 8.7.1 Verfahrensbeschreibung

In Variante 3.1 wird eine Spurenstoffelimination durch den Einsatz von Ozon in Verbindung mit einem nachgeschalteten Dyna-Sand Filter untersucht. In der Ozonung wird der Ablauf der Nachklärung behandelt. Zusätzlich werden Metaboliten der Ozonstufe in einem Filter biologisch nachbehandelt.

Die Ozonung wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 380 m<sup>3</sup>/h. Die Filtration wird 2-straßig angelegt und auf die rd. 3-fache max. Trockenwettermenge bzw. rd. 60% der Einleitungswassermenge von 1.800 m<sup>3</sup>/h auf 1.080 m<sup>3</sup>/h bemessen.

Es werden folgenden Analgenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerke
- Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Oszondosierung
- Restozonvernichter
- Dyna-Sand-Filter
- Dosierstation Fällmittel

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.1 wird schematisch in Bild 46 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung

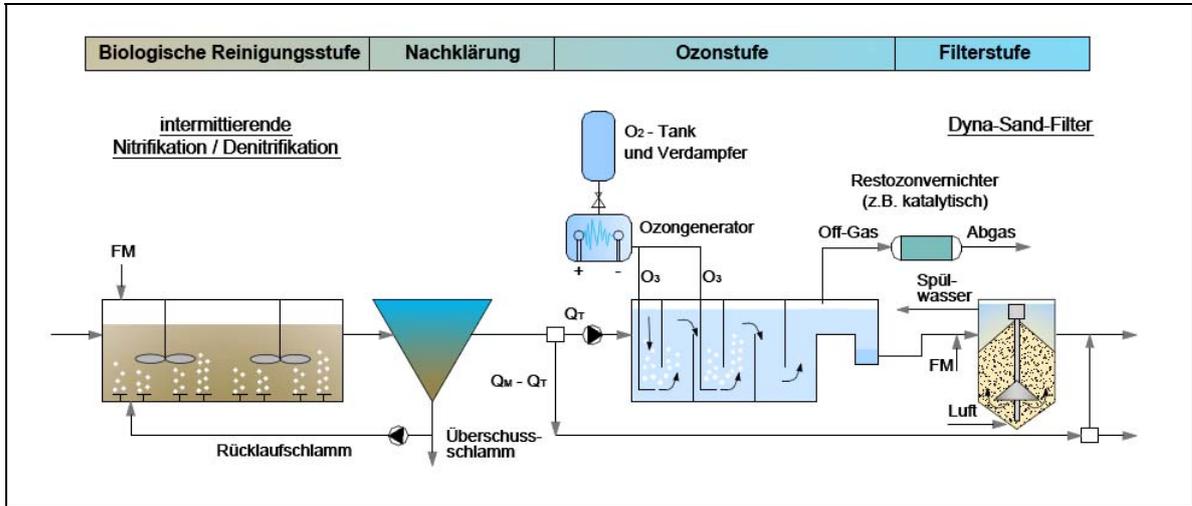


Bild 46: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

Als Nachbehandlungsstufe hinter der Ozonung zum biologischen Abbau von Metaboliten bzw. Ozon-Krackprodukten wird eine Dyna-Sand Filtration berücksichtigt.

Die Ozon-Behandlungsstufe wird auf der Erweiterungsfläche nördlich der Nachklärung angeordnet. Die Einbindung erfolgt an den Ablaufschacht der Nachklärung. Das Abwasser wird der Filterstufe und der Ozonstufe bis zur jeweiligen Bemessungswassermenge über Zulaufpumpwerke zugeführt. In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, ob ein Zulaufpumpwerk entfallen kann.

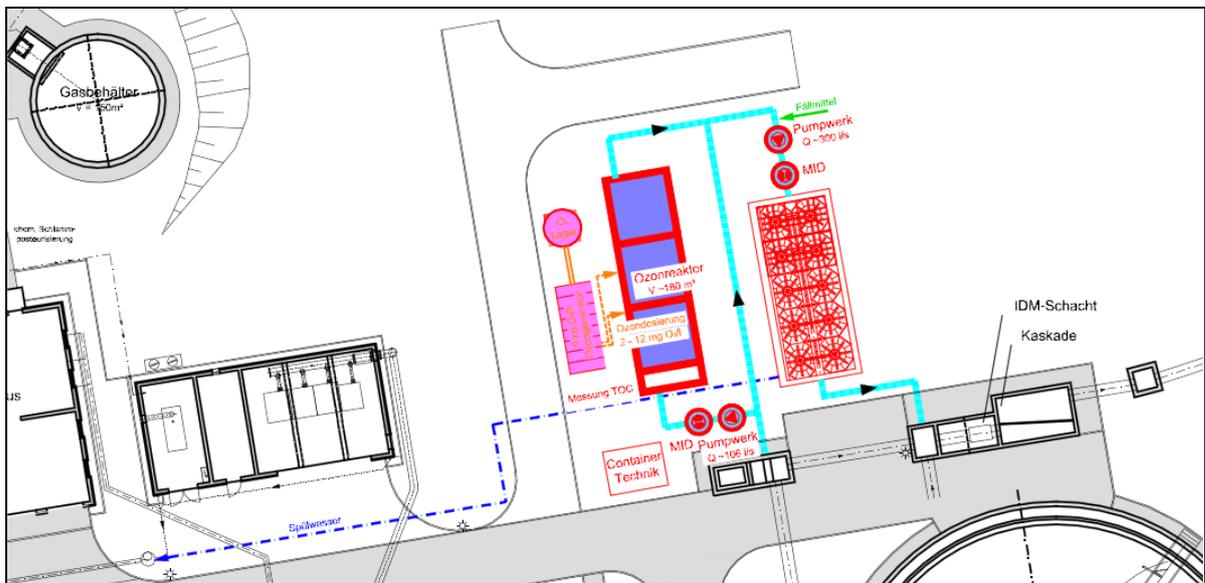


Bild 47: Lageplan KA Geseke - Variante 3.1 – Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter

## 8. Variantenuntersuchung

---

### **Auslegung – Kontaktbecken:**

Das Reaktorvolumen ist unter Berücksichtigung der Aufenthaltszeit des Abwassers im Reaktor und der Dauer bis zur vollständigen Ozonzehrung festzulegen. Eine weitgehende Ozonzehrung ist aus wirtschaftlichen Gründen und zum Schutz der Umwelt vor unzulässigen Ozonausträgen anzustreben.

Der Reaktor kann als Schlaufenreaktor mit Leitwänden, Rohrreaktor und mit kaskadierten Becken ausgeführt und dabei in verschiedene Begasungs- und Ausgasungszonen unterteilt werden [Abegglen, 2009].

Gewählt wird hier eine Auslegung mit Leitwänden. Das Becken erhält zwei Ozonbegasungszonen und eine Abklingzone. Ein Großteil des Ozons ist in die erste Reaktionskammer einzutragen, um die ausgelegte Konzentration gelösten Ozons im Abwasser zu erhalten. Der Gaseintrag in die zweite Kammer dient dem Ausgleich reaktionsbedingter Ozonverluste. Die dritte Kammer wird genutzt, um die nötige Reaktionszeit zu erhalten sowie ein Ausgasen des behandelten Wasser zu gewährleisten.

Das Becken wird gasdicht verschlossen. Der Gasraum wird kontinuierlich abgesaugt, das Off-Gas in einem Restozon-Vernichter behandelt. Die Ausführung erfolgt mit ozonbeständigen Werkstoffen (Beton, Edelstahl).

Messtechnik: Durchfluss- und TOC-Messung im Zulauf zum Ozonreaktor. Messung der Ozonkonzentration nach der Ozonerzeugung sowie im Ablauf des Ozonreaktors und in der Abluft. Die Abluft wird über einen Restozonvernichter behandelt.

Der Ozoneintrag erfolgt feinblasig über keramische Diffusoren direkt in den Ozonreaktor. Alternativ kann ein Eintrag über Mischinjektoren erfolgen, bei der das ozonreiche Luft-Ozon-Gemisch dem Zulauf des Ozonreaktors zugeführt wird. Aufgrund der geringen Mindestbeaufschlagung ist zu prüfen, ob einzelne Diffuser temporär ausgeschaltet werden können. Alternativ ist die Ozonkonzentration des Produktgases abzusenken.

8. Variantenuntersuchung

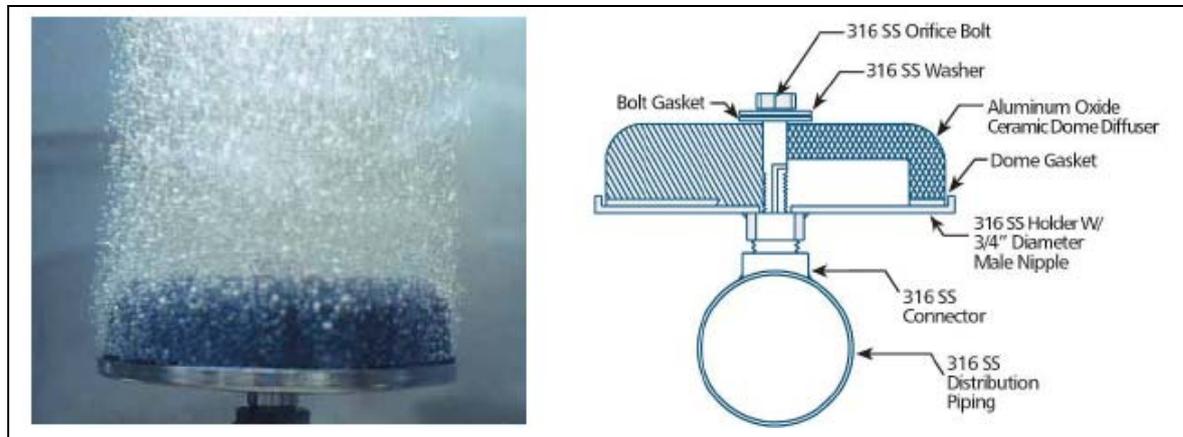


Bild 48: Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)

Das ozonhaltige Abgas wird über eine Restozonentfernungsanlage geleitet. Ozonhaltige Abluft durchströmt einen Katalysator auf Metalloxidbasis, in dem das Restozon in molekularen Sauerstoff umgewandelt wird. Der Abgasstrom wird von einem Seitenstromverdichter durch den Katalysator gesaugt.

**Auslegung - Ozonung:**

Als Ozonerzeuger wird zunächst ein wassergekühlter Röhrenozonerzeuger vorgesehen. Ein Mittelfrequenzumrichter und Hochspannungstransformator stellt aus der eingespeisten Netzspannung die für die Ozonerzeugung erforderliche mittelfrequente Hochspannung (1-1000 Hz) her.

Die bei der Ozonbildung entstehende Verlustwärme wird über einen Rohrbündel-Wärmetauscher an das Kühlwasser abgeführt.

Die Herstellung von Ozon im Ozonerzeuger erfolgt aus sauerstoffhaltigen Gasen nach dem Prinzip der „Stillen elektrischen Entladung“. Das erforderliche Einsatzgas Sauerstoff wird am Eingang des Ozonerzeugers mittels eines Druckminderers auf den Gasbetriebsdruck des Ozonerzeugers reduziert.

Die Ausführung erfolgt in Ozonbeständigen inerten Materialien, u.a. in Edelstahl.

Beispielhaft wird eine entsprechende Ozonung in Bild 49 gezeigt.

8. Variantenuntersuchung

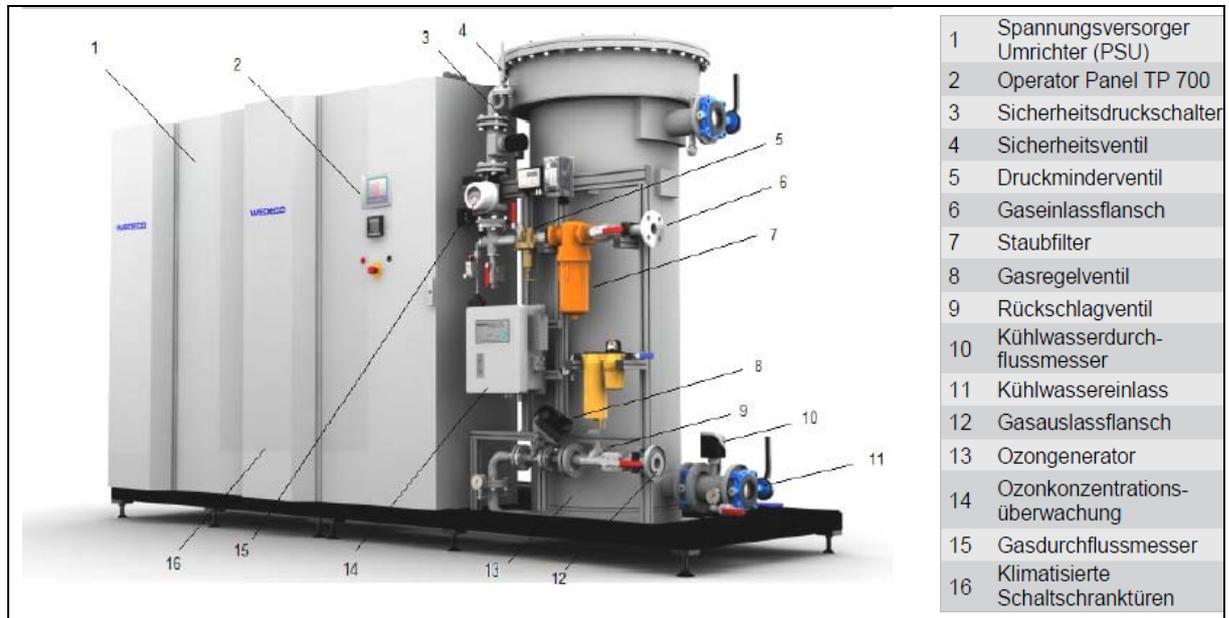


Bild 49: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

Es wird vorgesehen, dass der Ozonerzeuger mit einer einfachen Einhausung in einem Container zu versehen ist. Die Ozon- und Sauerstoffkonzentration wird in der Raumluft im Bereich der Ozonerzeugung gemessen bzw. überwacht. Bei Austritt von Ozon wird die Anlage abgefahren. Ozonmessungen auf Basis einer UV-Absorptionsmessung erfolgen im Produktgas und im Abgasstrom.

## 8. Variantenuntersuchung



Bild 50: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)

Die Anlage verfügt über eine zentrale Prozesssteuerung bestehend aus Touchpanel, SPS, Steuerungssoftware, Die Ozondosierung erfolgt in Abhängigkeit von der gemessenen Durchflussmenge und der spezifischen, vorgegebenen Ozondosis. Im Zulauf der Anlage ist die DOC-Konzentration online zu messen.

Zur Abführung der bei der Ozonerzeugung entstehenden Wärme und zur Gewährleistung eines hohen Wirkungsgrades werden die Ozonerzeuger gekühlt. Das Kühlsystem besteht aus Plattenwärmetauscher und Kühlwasserkreislaufpumpe. Die Kühlung erfolgt mit behandeltem Abwasser aus dem Ablauf.

Für die Ozonung wird von einer Ozonerzeugung aus Flüssigsauerstoff (LOX) ausgegangen. Abhängig von der Qualität des flüssigen Sauerstoffs kann die Ozonerzeugung eine Zusätzlich Stickstoff-Dosierung vorgesehen werden.

Der Tank für den Flüssigsauerstoff und der zugehörige Verdampfer werden in Nähe des Containers aufgestellt. Die Fläche um den Sauerstofftank wird befestigt, so dass Schwerlastverkehr erfolgen kann.

## 8. Variantenuntersuchung

---

Die nachgeschaltete Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 8.3.1 erläutert, das Funktionsprinzip in Abschnitt 5.4.

### 8.7.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 13 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 13: Auslegung Variante 3.1 Ozonung, Dyna-Sand Filtration

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	380 m <sup>3</sup> /h,
DS-Filtration: Bemessungswassermenge $Q_M$	1.080 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,51 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung maximale Ozonmenge	0,75 mgO <sub>3</sub> /mg TOC
Dosierung Ozon	2 – 12 mg/l
Sauerstoffbedarf	10 mgO <sub>2</sub> /mgO <sub>3</sub>
Leistung Ozongenerator	4,56 kgO <sub>3</sub> /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	120 m <sup>3</sup>
Ausgasungsbereich gewählt	60 m <sup>3</sup>
Volumen Ozonreaktor gesamt	180 m <sup>3</sup>
DS-Filtereinbauteile Typ DS 6000	10 Stk.
Filterfläche je Einbauteil	6 m <sup>2</sup>
Filterfläche gesamt	60 m <sup>2</sup>
DS-Oberflächenbelastung	18 m/h
Filtersand (Körnung: 1 – 2 mm)	16 t/Filter
Gesamtmenge Filtersand	160 t
Volumen – Betonbauwerk DS-Filtration	rd. 450 m <sup>3</sup>

Maßgeblich für die Ozondosierung ist der TOC bzw. DOC Gehalt im Abwasserstrom. Eine entsprechende Online-Messung sollte in ein Steuerungskonzept zur Ozondosierung eingebunden werden. Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

## 8. Variantenuntersuchung

---

### 8.7.3 Diskussion Variante 3.1 - Ozonung mit Dyna-Sand Filtration

Die Installation und Integration einer separaten Ozonung ist im Wesentlichen mit dem Bau eines Kontaktbeckens verbunden. Die Ozonung selbst wird bereits vorinstalliert geliefert und ist als Containeranlage (Maschinen-, MSR-Technik) aufzustellen und anzuschließen. Die Dyna-Sand Filtration wird in einem Betonbecken errichtet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Nachfällung und damit der Reduzierung der Phosphorkonzentration im Ablauf der Kläranlage. Der Platzbedarf ist insgesamt gering.

Mit der Ozonung sind folgende verfahrenstechnischen Besonderheiten, Vor- und Nachteile verbunden:

- Spurenstoffe werden nicht entfernt sondern lediglich zerstört, Transformationsprodukte sind weiterhin im Abwasser enthalten
- Öko- und humantoxikologische Auswirkungen von entstehenden Metaboliten und Transformationsprodukten sind bemessungstechnisch zu berücksichtigen
- Bestimmte Spurenstoffe sind zudem einer Zerstörung durch Ozon nicht oder kaum zugänglich, keine Eliminationsleistung für spezifische adsorbierbare Stoffe (z.B. PFT)
- Einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Hoher Energiebedarf
- Minderung der Betriebskosten durch geregelte Dosierung auf Basis von DOC-Konzentrations- und Durchflussmessungen möglich, z.B. im Fall von Mischwasserzuläufen sowie durch Variation der Ablaufziele
- Bau zusätzliche Beckenvolumina erforderlich
- Eine empfohlene, nachgeschaltete Reinigungsstufe ist über den Bau einer Dyna-Sand Filterstufe zu realisieren. Neben den Baukosten entstehen höher Betriebskosten, u.a. durch eine weitere Hebung des Abwasserstroms, Wartung und Instandhaltung. Dem gegenüber steht ein zusätzlicher Abbau oxidierten Reststoffen aus der Ozonstufe und die Reduzierung der Phosphorkonzentration und –fracht im Ablauf der Kläranlage durch Nachfällung
- Hoher Anteil an Maschinentechnik sowie MSR-Technik, anspruchsvolle Wartung
- Zusätzliche Entkeimung bzw. Hygienisierung des Kläranlagenablaufes
- Keine erhöhten Schlammengen bzw. anderer Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiterhin möglich
- Die Bromidkonzentration im Zulauf lag bei der Beprobung in einem für eine potentielle Bromatbildung unkritischen Bereich (s. Analytik).

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie der Anlage zu entnehmen.

## 9 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination wird anhand der ermittelten Investitions- und Betriebskosten untersucht. Eine Gegenüberstellung der Kosten und ein Kostenvergleich erfolgt durch Ermittlung der Jahreskosten auf Basis einer Kostenvergleichsrechnung nach LAWA (2012).

### 9.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten werden auf Basis von Kostenannahmen ermittelt. Herangezogen wurden Daten aus realisierten Bauprojekten, veröffentlichten Ansätzen der Literatur sowie aus Richtpreisangeboten verschiedener Hersteller, insbesondere zur technischen Ausrüstung.

In Tabelle 14 werden die Summen der ermittelten Investitionskosten unterteilt nach Bautechnik, technischer Ausrüstung und EMSR-Technik für die untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination aufgeführt. In den Kostenvergleich wurden auch Baunebenkosten (Honorare, Gutachten, Unvorhergesehenes etc.) als pauschaler Satz einbezogen.

Tabelle 14: Zusammenstellung Investitionskosten

	Variante 1 - PAK			
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
<b>Baukosten</b>	532.218 €	350.425 €	923.571 €	775.643 €
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	838.500 €	921.100 €	894.000 €	985.500 €
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	53.000 €	62.500 €	103.500 €	107.500 €
<b>Summe Investkosten (netto)</b>	1.423.718 €	1.334.025 €	1.921.071 €	1.868.643 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	284.744 €	266.805 €	384.214 €	373.729 €
<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>	1.708.462 €	1.600.830 €	2.305.285 €	2.242.372 €
Mehrwertsteuer 19%	324.608 €	304.158 €	438.004 €	426.051 €
<b>Summe Investkosten (brutto)</b>	<b>2.033.069 €</b>	<b>1.904.988 €</b>	<b>2.743.289 €</b>	<b>2.668.422 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>107%</b>	<b>100%</b>	<b>144%</b>	<b>140%</b>

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 2.1 - GAK in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Baukosten</b>	665.326 €	746.379 €	574.751 €
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	674.500 €	598.500 €	835.500 €
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	105.000 €	103.000 €	90.500 €
<b>Summe Investkosten (netto)</b>	1.444.826 €	1.447.879 €	1.500.751 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	288.965 €	289.576 €	300.150 €
<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>	1.733.791 €	1.737.455 €	1.800.901 €
Mehrwertsteuer 19%	329.420 €	330.116 €	342.171 €
<b>Summe Investkosten (brutto)</b>	<b>2.063.212 €</b>	<b>2.067.571 €</b>	<b>2.143.072 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>108%</b>	<b>109%</b>	<b>112%</b>

Die Variante 1.1b weist mit rd. 1,905 Mio. Euro brutto die niedrigsten Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 7 % ist die Variante 1.1 mit PAK Dosierung und Dyna-Sand Filtration teurer als mit Tuchfiltration im Ablauf. Variante 2.1 mit GAK DS-C-Filtration weist Mehrkosten von rd. 8% auf. Die Variante mit Ozonung 3.1 zeigt 12 % höhere Investitionskosten. Am teuersten sind die Varianten 1.2 bzw. 1.2b mit adsorptiver Reinigungsstufe mit 44 % bzw. 40 % höheren Kosten.

Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 1,905 Mio. Euro und 2,743 Mio. Euro brutto relativ hoch.

Eine mögliche Reduzierung der durch den Betreiber aufzuwendenden Investitionskosten durch Förderung der Maßnahme durch das Land NRW ist hier zunächst nicht berücksichtigt worden.

Bild 51 zeigt die ermittelten Investitionskosten (netto) und die jeweiligen Bau-, Maschinentechnik- und EMSR-Technik-Kosten.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

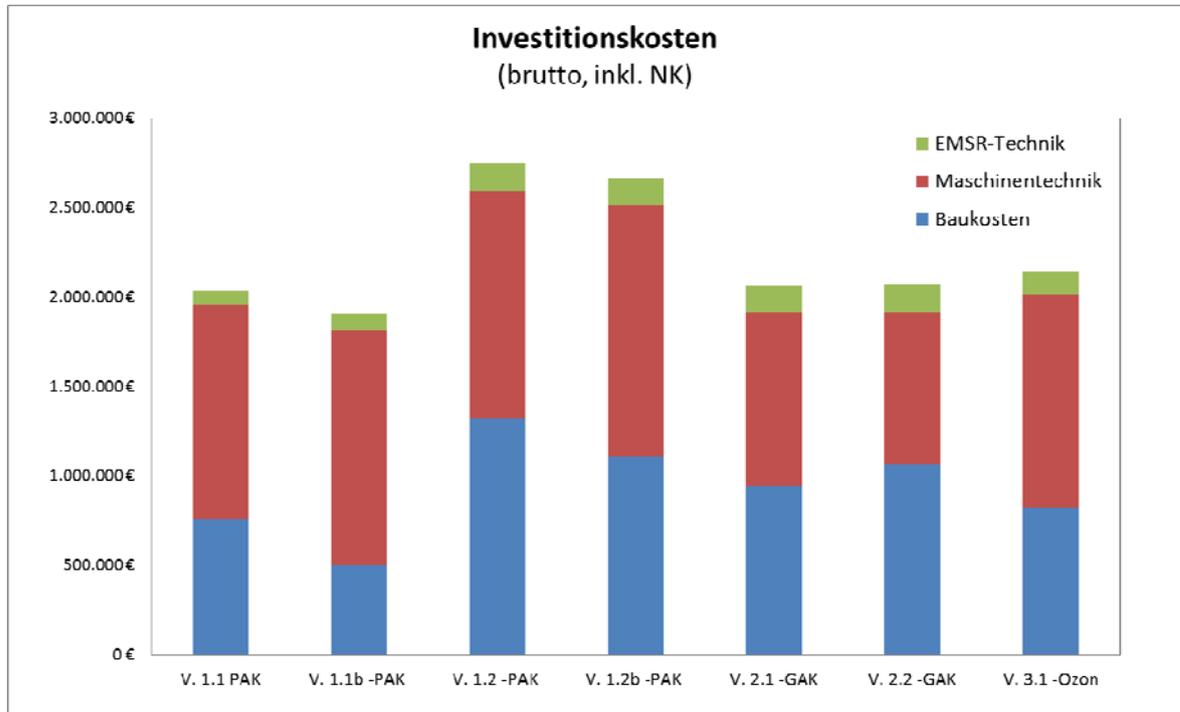


Bild 51: Investitionskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)

Eine detaillierte Auflistung der angenommenen Kosten ist der Anlage zu entnehmen.

Nachfällung Phosphate

Die beschriebenen Varianten zur Spurenstoffelimination beinhalten jeweils auch eine Nachfällung von P-Verbindungen (Filterstufe).

## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

### 9.2 Betriebskosten

Die angenommenen Betriebskosten beruhen ebenfalls auf Ergebnissen aus Ausschreibungen, veröffentlichten Ansätzen und Angaben des Betreibers. Reale Kosten, z.B. zur thermischen Klärschlammbehandlung, können je nach Marktlage abweichen.

Die Betriebskosten sind unterteilt in Wartung und Instandhaltung, Verbrauchsstoffe, Energiebedarf, Schlammbehandlung und Personalkosten.

Folgende spezifischen Kosten wurden bei der Ermittlung der Betriebskosten berücksichtigt (netto-Kosten):

Instandhaltung:	Baukosten: 1,0% der Investitionskosten
	Technische Ausrüstung: 3,0% der Investitionskosten
	EMSR-Technik: 2,0% der Investitionskosten
Energie:	0,185 €/kWh
Pulveraktivkohle (PAK):	1,50 €/kg
Granulierte Aktivkohle (GAK):	1,30 €/kg; Kostenansatz regenerierte GAK: 1,00 €/kg
Fällmittel:	0,13 €/kg
Flockungshilfsmittel:	2,50 €/kg
Personal:	45.000,-- €/a
Sauerstoff:	0,20 €/kg O <sub>2</sub>

Die spezifischen Kosten für Sauerstoff beinhalten auch die Tankmiete.

Schlammbehandlung als Differenz landwirtschaftliche Schlammverwertung / Verbrennung:  
45,-- €/t<sub>FS</sub> (entwässertes Schlamm) (Annahme).

Da es bei Einsatz von Pulveraktivkohle und gemeinsamer Abtrennung der Kohle zusammen mit dem Primär- und Überschussschlamm nicht mehr möglich ist den entwässerten Schlamm weiterhin in der Landwirtschaft zu entsorgen, ist der gesamte Schlamm der Verbrennung zuzuführen. Die Mehrkosten sind im Rahmen des Kostenvergleiches anzusetzen. Als Preisspanne der Entsorgungskosten von mechanisch entwässertem Schlamm (20 – 45 %TS) benennen Schumacher et al. (2009 zitiert in [UBA, 2012]) 33,-- bis 45,-- €/t<sub>FS</sub> für (überregionale) landwirtschaftliche Entsorgung und 80,-- bis 120,-- €/t<sub>FS</sub> für Monoverbrennung bzw. 75,-- bis 100,-- €/t<sub>FS</sub> für Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken.

Die Angaben der Literatur zu den Kosten für die landwirtschaftliche Klärschlammbehandlung entsprechen etwa den tatsächlichen derzeitigen Kosten von rd. 36,-- bis 40,-- €/t TS<sub>FS</sub>.

## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

Ein besonderer Aspekt im Zusammenhang mit der Klärschlamm Entsorgung stellt die derzeit vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit als Referentenentwurf am 18. August 2015 vorgestellte Novellierung der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) dar. Gemäß Artikel 1 §15 der Verordnung in Verbindung mit Artikel 5 ist die bodenbezogene Klärschlammverwertung ab 2025 für Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 (größer 10.000 EW) nicht mehr zulässig. Darüber hinaus ist in der aktuellen Düngemittelverordnung (DüMV) V.v. 05.12.2012 mit Änderung vom 27.05.2015 gemäß §10 (4) geregelt, dass synthetische Polymere z.B. in Klärschlämmen nur noch bis zum 31.12.2016 in Düngemitteln in Verkehr gebracht werden dürfen.

Alternative Polymere die zur Entwässerung von Klärschlämmen einzusetzen sind, z.B. auf Stärkebasis, sind aufgrund der geringen Scherfestigkeit in der Schlammflocke nur bedingt einzusetzen. Auch unter diesem Aspekt wird die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zunehmend problematisch. Die bodenbezogene Klärschlammverwertung ist damit zukünftig nicht gesichert möglich.

Mit der Neuregelung der Klärschlammentsorgung sind Engpässe bei der thermischen Verwertung entwässerter Klärschlämme zu erwarten und steigende Entsorgungskosten.

Da das Gesetzgebungsverfahren zur Klärschlammentsorgung noch in der Entwicklung ist und noch keine abschließende Festsetzung erfolgt ist, werden im Rahmen der Betriebskostenrechnungen verschiedene Annahme zur Entsorgung getroffen (Verbrennung aller Klärschlämme/ Nutzung in der Landwirtschaft von Schlämmen ohne Aktivkohlebestandteile).

Zu entsorgende Klärschlammmenge nach Entwässerung: 2.832 t/a [Sowa, 2012].

Der Betrieb einer weiteren Behandlungsstufe wird zu einem erhöhten Personaleinsatz führen. Der Energieverbrauch ergibt sich aus dem Stromverbrauch für Pumpen, Ozonerzeugung, Rührwerken, Räumerbrücken etc..

Bei Varianten mit GAK Filtration (Varianten 2.1, 2,2) wurde zunächst eine Standzeit der Filtration von rd. 7,5 Monaten angesetzt bzw. von 1 Jahre. Es sind für Variante 2.1 also 1,6 und für Variante 2.2 1 Befüllung mit Aktivkohle pro Jahr erforderlich. Dies entspricht für beide Varianten rd. 10.000 durchgesetzten Bettvolumina (BV). Auswirkungen abweichender Standzeiten auf die Betriebskosten werden in Abschnitt 9.4 untersucht.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Mögliche Einsparungen in der Abwasserabgabe wurden in der Zusammenstellung der Betriebskosten nicht berücksichtigt.

Es ergeben sich die in Tabelle 15 aufgeführten Betriebskosten der einzelnen Varianten zur Spurenstoffelimination.

Tabelle 15: Zusammenstellung Betriebskosten

	Variante 1.1 - PAK			
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	31.537 €	32.387 €	38.126 €	39.471 €
Verbrauchsstoffe	80.951 €	92.065 €	43.768 €	48.022 €
Energiebedarf	19.470 €	19.246 €	38.669 €	37.485 €
Schlamm Entsorgung	129.746 €	129.980 €	130.896 €	130.896 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	<b>272.954 €</b>	<b>283.522 €</b>	<b>262.709 €</b>	<b>267.124 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	51.861 €	53.869 €	49.915 €	50.754 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>324.815 €</b>	<b>337.391 €</b>	<b>312.624 €</b>	<b>317.878 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>147%</b>	<b>153%</b>	<b>142%</b>	<b>144%</b>

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	28.988 €	27.479 €	32.623 €
Verbrauchsstoffe	162.369 €	162.378 €	62.820 €
Energiebedarf	36.763 €	34.827 €	78.725 €
Schlamm Entsorgung	0 €	0 €	0 €
Personalkosten	8.434 €	9.844 €	11.250 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	<b>236.554 €</b>	<b>234.528 €</b>	<b>185.418 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	44.945 €	44.560 €	35.229 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>281.499 €</b>	<b>279.088 €</b>	<b>220.647 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>128%</b>	<b>126%</b>	<b>100%</b>

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Betriebskosten variieren von rd. 220.000 €/a der Variante 3.1 bis rd. 337.000,-- € brutto bei Variante 1.1b. Die kostengünstigste Variante mit Ozonung liegt mit einem Abstand von rd. 26 % zu Variante 2.2 mit GAK Filtration und rd. 42% zu Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe.

Die Betriebskosten von Varianten mit PAK Dosierung werden vergleichsweise hoch eingeschätzt, weil bei der Schlammensorgung von einer thermischen Entsorgung ausgegangen wird. Hier wirkt sich die Differenz zu der bisher möglichen landwirtschaftlichen Entsorgung aus.

Bild 52 zeigt die Verteilung der Betriebskosten nach den einzelnen Kostengruppen. Es wird deutlich, dass einzelne Kostengruppen eine besonders hohe Auswirkung auf die Summe der Betriebskosten haben. Die angenommenen spezifischen Betriebskosten können nur am Markt genau bestimmt werden. Die Auswirkung von Abweichungen besonders sensibler Kosten auf die Wirtschaftlichkeit wird in Abschnitt 9.4 Sensitivitätsanalyse untersucht.

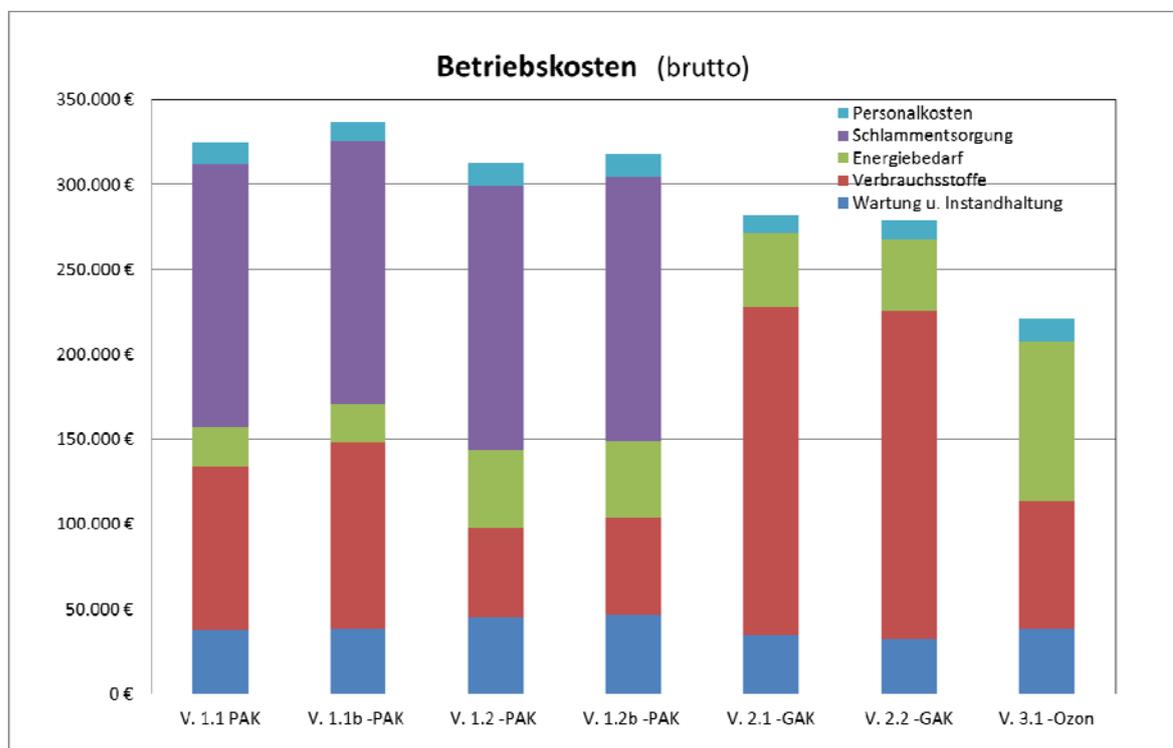


Bild 52: Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Wie oben angeführt, ist damit zu rechnen, dass nach 2025 die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter zulässig sein wird. Damit würde die Schlammentsorgung als Unterscheidungskriterium für eine Variantenbetrachtung zur Spurenstoffelimination entfallen, da alle Schlämme thermisch entsorgt werden müssten. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 16 angegebenen Betriebskosten.

Tabelle 16: Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlammentsorgungskosten

	Variante 1 - PAK			
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	31.537 €	32.387 €	38.126 €	39.471 €
Verbrauchsstoffe	80.951 €	92.065 €	43.768 €	48.022 €
Energiebedarf	19.470 €	19.246 €	38.669 €	37.485 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	143.208 €	153.542 €	131.813 €	136.228 €
Mehrwertsteuer 19%	27.210 €	29.173 €	25.044 €	25.883 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>170.418 €</b>	<b>182.715 €</b>	<b>156.857 €</b>	<b>162.111 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>109%</b>	<b>116%</b>	<b>100%</b>	<b>103%</b>

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	28.988 €	27.479 €	32.623 €
Verbrauchsstoffe	162.369 €	162.378 €	62.820 €
Energiebedarf	36.763 €	34.827 €	78.725 €
Personalkosten	7.031 €	8.438 €	11.250 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	235.151 €	233.122 €	185.418 €
Mehrwertsteuer 19%	44.679 €	44.293 €	35.229 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>279.830 €</b>	<b>277.415 €</b>	<b>220.647 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>178%</b>	<b>177%</b>	<b>141%</b>

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Vernachlässigt man die Schlammuntersorgungskosten ist die Varianten 1.2 mit PAK Dosierung in eine Adsorptionsstufe und nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration die geringsten Betriebskosten.

Der hohe Kostenanteil der Verbrauchsmaterialien (GAK) an den Betriebskosten der Varianten 2.1 und 2.2 wird in Bild 53 deutlich. Die Schwankung des Einkaufspreises für GAK auf die Jahreskosten der Varianten wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersucht (Abschnitt 9.4).

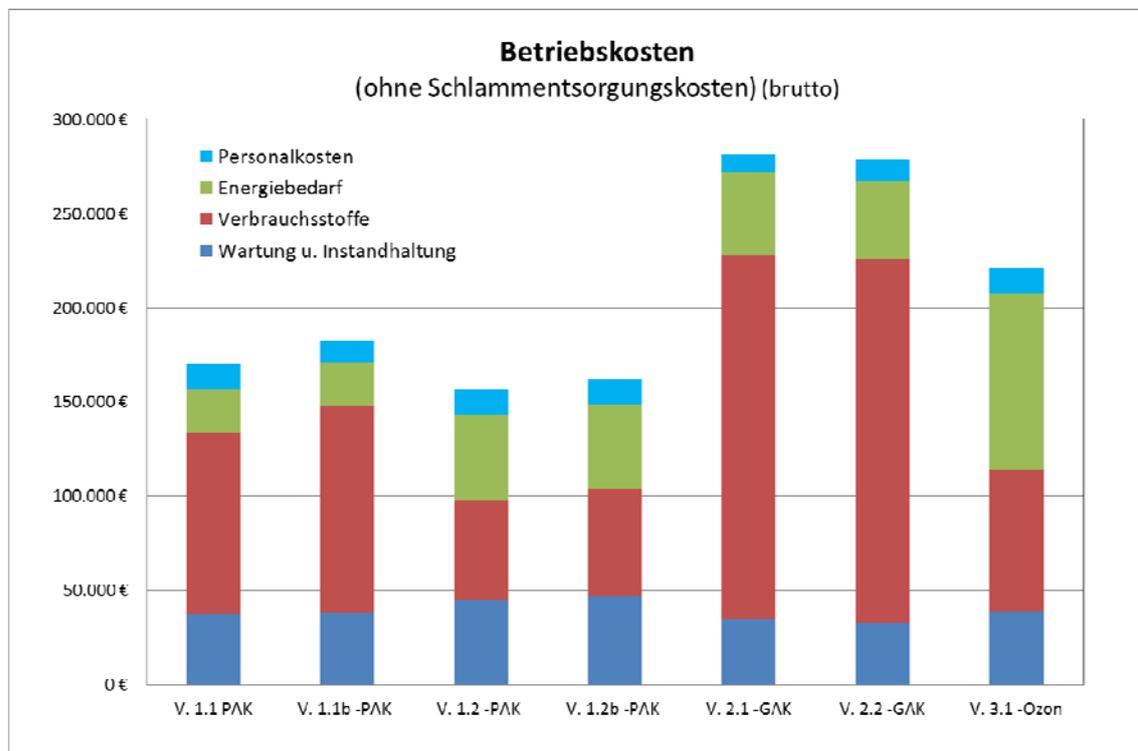


Bild 53: Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammuntersorgungskosten (brutto)

## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

### 9.3 Jahreskosten

Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Varianten wurde mit einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach KVR-Richtlinie der LAWA (2012) überprüft.

Die Jahreskosten wurden unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen ermittelt.

- Untersuchungszeitraum: 30 Jahre,
- Bezugszeitraum: 2015
- Realer Zinssatz  $i$ : 3 %,
- Preissteigerungsrate  $r$ : 0%
- Nutzungsdauer: Bautechnik: 30 Jahre, Maschinenteknik: 15 Jahre, EMSR-Technik: 10 Jahre

Tabelle 17 fasst die Ergebnisse der Jahreskostenermittlung und die daraus abgeleiteten spezifischen Kosten zusammen.

Zur größeren Übersichtlichkeit und aufgrund der ähnlichen Investitions- und Betriebskosten werden die Untervarianten 1.1b und 1.2b nicht aufgeführt.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 17: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)

	Variante 1 - PAK		Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAG in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAG in Festbett-Adsorption	Variante 3.2 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Baukosten</b> (gesamt)	532.218 €	923.571 €	665.326 €	746.379 €	574.751 €
<b>Baukosten</b> (ohne GAK Erstbef.)	532.218 €	923.571 €	563.926 €	593.499 €	574.751 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Jahreskosten Bau</b>	<b>27.154 €</b>	<b>47.121 €</b>	<b>28.772 €</b>	<b>30.280 €</b>	<b>29.324 €</b>
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	838.500 €	894.000 €	674.500 €	598.500 €	835.500 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR <sub>3,15</sub>	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
<b>Jahreskosten MT</b>	<b>70.241 €</b>	<b>74.890 €</b>	<b>56.503 €</b>	<b>50.136 €</b>	<b>69.990 €</b>
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	53.000 €	103.500 €	105.000 €	103.000 €	90.500 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR <sub>3,10</sub>	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
<b>Jahreskosten EMSR</b>	<b>6.213 €</b>	<b>12.133 €</b>	<b>12.309 €</b>	<b>12.075 €</b>	<b>10.609 €</b>
<b>Jahreskosten Invest (netto)</b>	103.608 €	134.144 €	97.584 €	92.491 €	109.923 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	20.722 €	26.829 €	19.517 €	18.498 €	21.985 €
<b>Jahreskosten Invest,NK (netto)</b>	<b>124.330 €</b>	<b>160.973 €</b>	<b>117.100 €</b>	<b>110.990 €</b>	<b>131.908 €</b>
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>272.954 €</b>	<b>262.709 €</b>	<b>236.554 €</b>	<b>234.528 €</b>	<b>185.418 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(netto)</b>	<b>397.284 €</b>	<b>423.682 €</b>	<b>353.654 €</b>	<b>345.518 €</b>	<b>317.326 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	75.484 €	80.500 €	67.194 €	65.648 €	60.292 €
<b>Jahreskosten Gesamt(brutto)</b>	<b>472.768 €</b>	<b>504.182 €</b>	<b>420.849 €</b>	<b>411.166 €</b>	<b>377.617 €</b>
<b>Prozente</b>	125%	134%	111%	109%	100%

ohne Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 24.503 EW	19,29 €/EW/a	20,58 €/EW/a	17,18 €/EW/a	16,78 €/EW/a	15,41 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.510.082 m <sup>3</sup> /a	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,17 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>
Gebührenf. Frischwassermenge 837.896 m <sup>3</sup> /a	0,56 €/m <sup>3</sup>	0,60 €/m <sup>3</sup>	0,50 €/m <sup>3</sup>	0,49 €/m <sup>3</sup>	0,45 €/m <sup>3</sup>

Die ermittelten Jahreskosten variieren zwischen brutto rd. 377.000,-- € der Variante 3.1 mit Ozonierung und Nachbehandlung in einem Dyna-Sand Filter und 504.000,-- € für Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe.

Der Unterschied der Jahreskosten der untersuchten Varianten beträgt maximal 34 %.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Bei der Berechnung der Investitionskosten wurden bei Varianten mit GAK Filtration die Erstbefüllung mit Aktivkohle in der Kostenaufstellung herausgenommen, da bereits eine Anrechnung bei den Betriebskosten erfolgt.

Die spezifischen Kosten pro angeschlossenen Einwohner bei Annahme von 24.503 EW betragen minimal 15,41 €/EW/a (Variante 3.1) und maximal 20,58 €/EW/a (Variante 1.2). Es ergibt sich für die behandelte Wassermenge (Trockenwetter) ein spezifischer Preis von brutto 0,13 €/m<sup>3</sup> (Variante 3.1) und maximal 0,17 €/m<sup>3</sup> (Variante 1.2).

Die Kosten pro m<sup>3</sup> Frischwasser betragen für die günstigste Variante 3.1 0,45 €/m<sup>3</sup>.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten der untersuchten Varianten zeigt Bild 54.

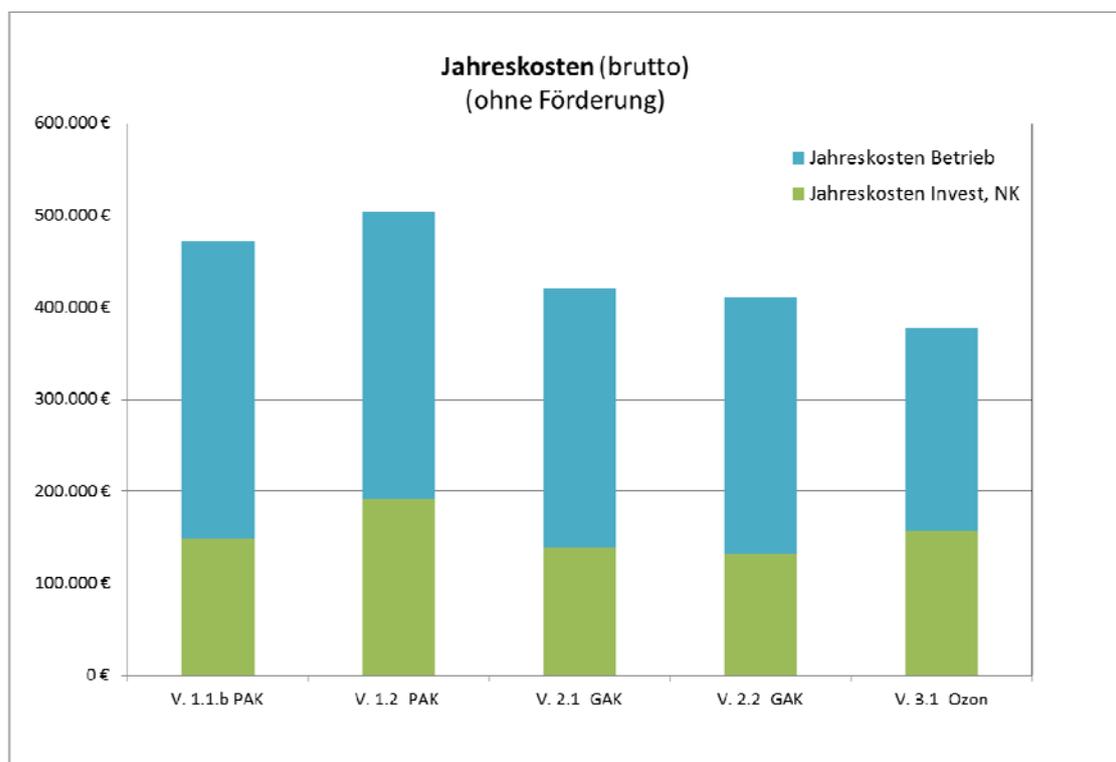


Bild 54: Jahreskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Ergänzend wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt, welche Auswirkung eine Förderung der Investitionskosten der Maßnahme auf die Jahreskosten hat. Varianten mit hohen Investitionskosten und niedrigen Betriebskosten sind bei dieser Betrachtungsweise potentiell wirtschaftlich günstiger, sofern man die Fördersumme in die Betrachtung einbezieht.

Tabelle 18 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70% (Stand: Förderung 2016).

Tabelle 18: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.2 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)</b>	1.708.462 €	2.305.285 €	1.733.791 €	1.737.455 €	1.800.901 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	1.195.923 €	1.613.700 €	1.213.654 €	1.216.218 €	1.260.631 €
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)</b>	<b>61.016 €</b>	<b>82.331 €</b>	<b>61.921 €</b>	<b>62.051 €</b>	<b>64.317 €</b>
<b>Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)</b>	<b>63.314 €</b>	<b>78.642 €</b>	<b>55.180 €</b>	<b>48.938 €</b>	<b>67.590 €</b>
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>272.954 €</b>	<b>262.709 €</b>	<b>236.554 €</b>	<b>234.528 €</b>	<b>185.418 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)</b>	<b>336.268 €</b>	<b>341.351 €</b>	<b>291.734 €</b>	<b>283.466 €</b>	<b>253.008 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	63.891 €	64.857 €	55.429 €	53.859 €	48.072 €
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)</b>	<b>400.159 €</b>	<b>406.208 €</b>	<b>347.163 €</b>	<b>337.325 €</b>	<b>301.080 €</b>
<b>Prozente</b>	133%	135%	115%	112%	<b>100%</b>

**mit Förderung**

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 24.503 EW	16,33 €/EW/a	16,58 €/EW/a	14,17 €/EW/a	13,77 €/EW/a	12,29 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.510.082 m³/a	0,16 €/m³	0,16 €/m³	0,14 €/m³	0,13 €/m³	0,12 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 837.896 m³/a	0,48 €/m³	0,48 €/m³	0,41 €/m³	0,40 €/m³	0,36 €/m³

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung ebenfalls die Variante 3.1 mit einer Ozonierung die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Jahreskosten der übrigen Varianten zeigen Mehrkosten von 12 % - 35 %.

Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,12 €/m<sup>3</sup> behandeltes Schmutzwasser gegenüber 0,13 €/m<sup>3</sup> ohne Förderung (Variante 3.1). Die spezifischen Kosten pro m<sup>3</sup> Frischwasser betragen 0,36 €/m<sup>3</sup> für Variante 3.1.

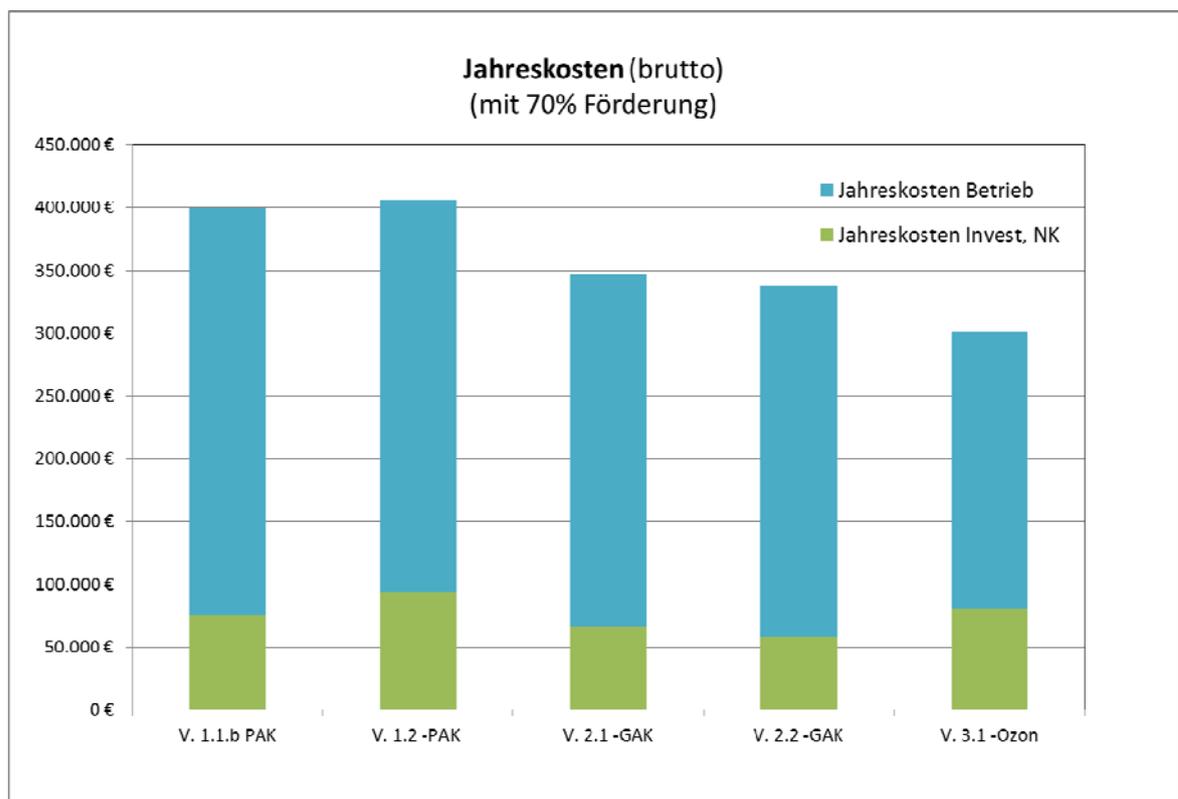


Bild 55: Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)

Will man berücksichtigen, dass ab 2025 voraussichtlich die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab Größenklasse 4 entfällt oder das ein dauerhafter Umstieg von der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu einer thermischen Klärschlammverwertung vorgesehen werden soll, sind die Schlammmentsorgungskosten aus der Kostenvergleichsrechnung heraus zu nehmen. Tabelle 19 zeigt die Jahreskosten ohne Schlammmentsorgungsmehrkosten einschließlich einer möglichen Förderung der Investitionskosten von 70%.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 19: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%) und ohne Schlammensorgungsmehrkosten

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1 - PAK		Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.2 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)</b>	63.314 €	78.642 €	55.180 €	48.938 €	67.590 €
<b>Jahreskosten Betrieb ohne Schlammensorgung (netto)</b>	143.208 €	131.813 €	235.151 €	233.122 €	185.418 €
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)</b>	206.522 €	210.455 €	290.331 €	282.060 €	253.008 €
Mehrwertsteuer 19%	39.239 €	39.986 €	55.163 €	53.591 €	48.072 €
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)</b>	245.761 €	250.442 €	345.493 €	335.652 €	301.080 €
<b>Prozente</b>	100%	102%	141%	137%	123%

**mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten**

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 24.503 EW	10,03 €/EW/a	10,22 €/EW/a	14,10 €/EW/a	13,70 €/EW/a	12,29 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.510.082 m <sup>3</sup> /a	0,10 €/m <sup>3</sup>	0,10 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,12 €/m <sup>3</sup>
Gebührenf. Frischwassermenge 837.896 m <sup>3</sup> /a	0,29 €/m <sup>3</sup>	0,30 €/m <sup>3</sup>	0,41 €/m <sup>3</sup>	0,40 €/m <sup>3</sup>	0,36 €/m <sup>3</sup>

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammensorgungsmehrkosten die Varianten 1.1 und 1.2 mit PAK Dosierung mit rd. 245.000,-- €/a bzw. 250.000 €/a die günstigsten Varianten sind.

Die mit Berücksichtigung der Schlammensorgung günstigste Variante 3.1 weist rd. 23% höhere Jahreskosten auf.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

### 9.4 Sensitivitätsanalyse

Die Zusammenstellung der Investitions- und der Betriebskosten zeigt besonders sensitive Kostenparameter für die Wirtschaftlichkeitsbewertung auf.

Nachfolgend soll durch Variation dieser Parameter innerhalb einer realistischen Schwankungsbreite der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit untersucht werden.

Folgende Kosten-Parameter werden betrachtet:

- Energiekosten, spezifischer Energiepreis (€/kWh)
- Kosten Aktivkohle (PAK / GAK)
- Kosten Sauerstoff
- Kosten der Schlammentsorgung (thermisch)

sowie als betrieblicher Parameter:

- Standzeit der GAK-Filter (behandelte Bettvolumina BV)
- Dosieraten PAK
- Dosieraten Sauerstoff

Die untersuchten Variationen der wirtschaftlichen Parameter zeigt Tabelle 20.

Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter

Parameter	Kostenbasis	Variation - Mindestwert	Variation - Maximalwert
Energiekosten	0,185 €/kWh	0,14 €/kWh	0,28 €/kWh
Kosten Aktivkohle PAK	1.500 €/t	1.200 €/t	1.800 €/t
Kosten Aktivkohle GAK	1.300 €/t	1.100 €/t	1.600 €/t
Differenz Kosten therm. Schlammentsorgung	45 €/tfs	30 €/tfs	60 €/tfs
Kosten Sauerstoff	200 €/t	150 €/t	300 €/t
Standzeit GAK, behandelte BV	rd. 10.000 BV	7.000 BV	13.000 BV
Dosieraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	20 mg/l	10 mg/l	35 mg/l
Dosieraten PAK (Variante 1.2)	10 mg/l	8 mg/l	20 mg/l
Dosieraten Sauerstoff	12 mg O <sub>3</sub> /l	8 mg O <sub>3</sub> /l	16 mg O <sub>3</sub> /l

In Tabelle 21 werden aus den variierten Betriebskosten maximale Jahreskosten ermittelt.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Variante 1.1b und 1.2b werden aufgrund der Ähnlichkeit mit den Varianten 1.1 bzw. 1.2 vernachlässigt.

Tabelle 21: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) (Förderung 70%)

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB, DS- Filter	Variante 1.2 - PAK Adsorpt. Stufe	Variante 2.1 - GAK DS- Carbon	Variante 2.2 - GAK Adsorber	Variante 3.1 - Ozon, DS Filter
Energiekosten	0,14 €/kWh	-4.736 €/a	-9.406 €/a	-6.979 €/a	-6.252 €/a	-19.149 €/a
	0,28 €/kWh	9.998 €/a	19.278 €/a	22.806 €/a	18.950 €/a	40.426 €/a
Kosten Aktivkohle PAK	1.200 €/t	-16.629 €/a	-8.279 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.800 €/t	13.492 €/a	6.781 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Aktivkohle GAK	1.100 €/t	0 €/a	0 €/a	-27.079 €/a	-27.081 €/a	0 €/a
	1.600 €/t	0 €/a	0 €/a	34.416 €/a	34.418 €/a	0 €/a
Differenz Kosten therm. Schlammensorgung	30 €/tFS	-43.249 €/a	-43.632 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	60 €/tFS	43.249 €/a	43.632 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Sauerstoff	150 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-15.085 €/a
	300 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	30.169 €/a
Standzeit GAK, behandelte BV	13.000 BV	0 €/a	0 €/a	-39.378 €/a	-39.380 €/a	0 €/a
	7.000 BV	0 €/a	0 €/a	66.042 €/a	66.064 €/a	0 €/a
Dosierraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	10 mg/l	-39.219 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	35 mg/l	54.909 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosierraten PAK (Variante 1.2)	8 mg/l	0 €/a	-8.279 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	20 mg/l	0 €/a	36.902 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosierraten Sauerstoff	8 mgO <sub>3</sub> /l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-20.113 €/a
	16 mgO <sub>3</sub> /l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	20.113 €/a
Veränderung Betriebskosten	min	-103.833 €/a	-69.596 €/a	-73.436 €/a	-72.713 €/a	-54.347 €/a
	max	121.648 €/a	106.593 €/a	123.264 €/a	119.432 €/a	90.708 €/a
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	<b>272.954 €</b>	<b>262.709 €</b>	<b>236.554 €</b>	<b>234.528 €</b>	<b>185.418 €</b>
min. Betriebskosten	min	169.121 €	193.113 €	163.118 €	161.815 €	131.071 €
max. Betriebskosten	max	394.602 €	369.302 €	359.818 €	353.960 €	276.126 €
Jahreskosten Förderung 70%	mittel	336.268 €	341.351 €	291.734 €	283.466 €	253.008 €
min. Jahreskosten	min	232.435 €	271.755 €	218.298 €	210.753 €	198.661 €
max. Jahreskosten	max	457.916 €	447.944 €	414.998 €	402.898 €	343.716 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	69%	80%	75%	74%	79%
	max	136%	131%	142%	142%	136%

Die günstigsten Jahreskosten ergeben sich bei Annahme minimaler und maximaler Betriebskosten für Variante 3.1 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Jahreskosten können bei günstiger Kostenannahme der Betriebskosten um rd. 21 % unter den mittleren Kostenannahmen liegen und bei ungünstiger Kostenannahme um 36 % darüber (Variante 3.1).

Die Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung der verminderten Jahreskosten bei Förderung der Investitionskosten (Förderhöhe 70%) zeigt Bild 56.

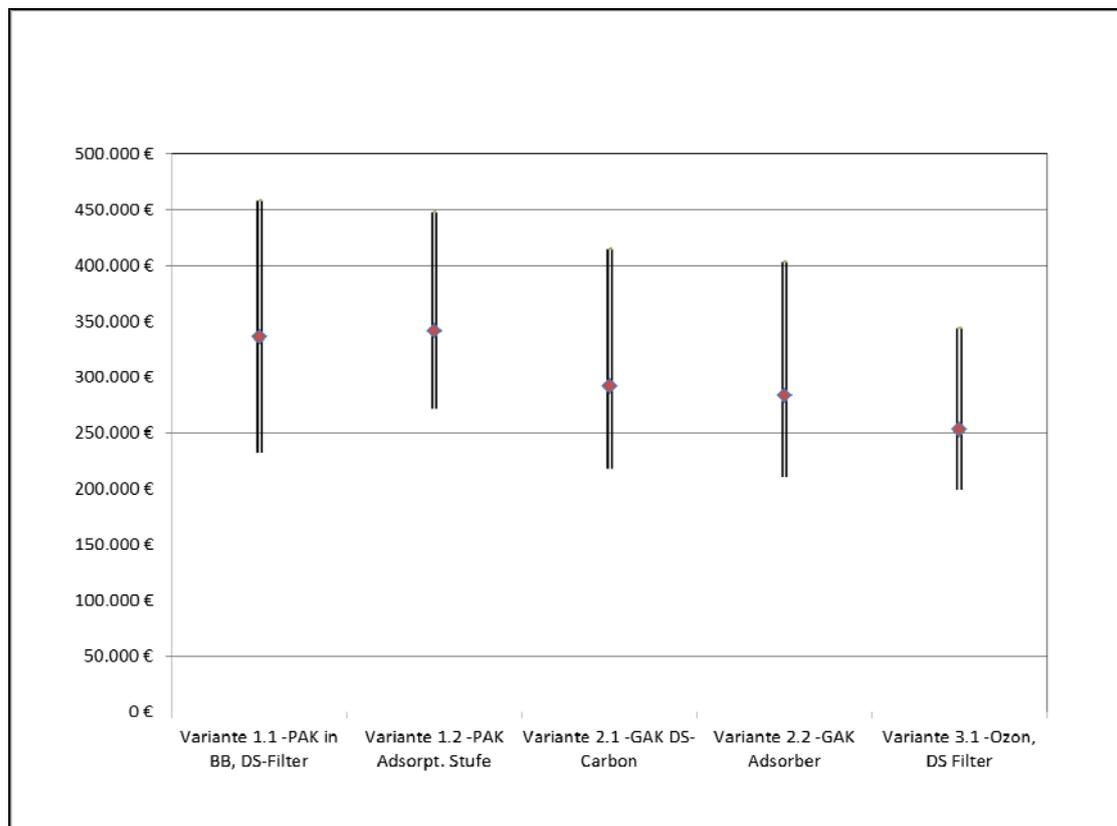


Bild 56: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten (netto)

Bei Berücksichtigung unterschiedlicher Betriebskostenansätze zeigt sich eine deutliche Spreizung der Jahreskosten. Ein kostenrelevanter Faktor, der hier zunächst nicht weiter diskutiert wird, ist die Annahme der Zinsentwicklung für die Kostenvergleichsrechnung. Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist ein realer Zinssatz von  $i_r = 3\%$ . Aufgrund der insgesamt niedrigen Zinsentwicklung erscheint die Annahme hinreichend genau. Eine Variationsrechnung findet auch aufgrund der anzunehmenden Förderung der Maßnahme und der damit verminderten Relevanz zunächst nicht statt.

## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

Ebenfalls wird vereinfachend die Preisentwicklung zu null angenommen.

Da bisher keine gesetzlichen Grenzwerte für bestimmte Spurenstoffe vorliegen sind Ozonkonzentration, spezifische PAK Dosiermengen oder bei GAK Filtration, der Zeitpunkt für den Austausch der Aktivkohle, nicht eindeutig zu definieren.

Hier können letztlich nur Empfehlung, etwa zur mindestens zu eliminierenden Fracht bestimmter Spurenstoffe vorgegeben werden.

Neben finanziellen Aspekten sind weitere nicht monetäre bzw. betriebliche Faktoren für eine Entscheidungsfindung zum geeignetsten Spurenstoffeliminationsverfahren relevant die im nachfolgenden Abschnitt diskutiert werden.

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

## 10 Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

Für die Bewertung der untersuchten Varianten zur Mikroschadstoffelimination sind die Kosten das wesentliche Kriterium. Daneben gehen jedoch weitere Kriterien in die Entscheidungsfindung ein wie Reinigungsleistung, Planungssicherheit (Referenzen), Transformationsprodukte, Platzbedarf etc.. Hierzu wird ein technisch, wirtschaftlicher Variantenvergleich durch eine Kosten-Nutzwertanalyse vorgenommen. Im Ergebnis wird den verschiedenen Entscheidungsalternativen eine Bewertungszahl zugewiesen, die dem Nutzwert darstellt.

In der Bewertungsmatrix der Kosten-Nutzwertanalyse erfolgt die Gewichtung der weichen oder technischen, in Geldwert nicht darstellbaren, Kriterien nach subjektiver Einschätzung in Abstimmung mit der Stadt Geseke.

In der nachfolgenden Tabelle 22 werden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. Dabei werden die Jahreskosten mit Förderung sowie ohne Berücksichtigung der Schlammmentsorgung bewertet. Die Gewichtung wird mit einer Punktzahl von 1 bis 5 Nutzpunkten multipliziert, wobei die Punktzahl 1 der niedrigsten und die Punktzahl 5 der höchsten Zielerreichungsbewertung entspricht. Die Variante mit der jeweils höchsten Punktzahl, ist als Vorzugsvariante anzusehen.

Die Varianten 1.1b und 1.2b werden zur besseren Übersichtlichkeit vernachlässigt, da sie im Ergebnis den Varianten 1.1 bzw. 1.2 ähneln.

Tabelle 22: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung	Variante 1.1 -PAK in BB, DS-Filter		Variante 1.2 -PAK Adsorpt. Stufe		Variante 2.1 -GAK DS-Karbon		Variante 2.2 -GAK Adsorber		Variante 3.1 -Ozon, DS Filter	
	[%]	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht
Jahreskosten mit Förderung 70%	30%	3	0,90	3	0,90	4	1,20	4	1,20	5	1,50
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlammments.	30%	5	1,50	5	1,50	3	0,90	3	0,90	4	1,20
Reinigungsleistung Spurenstoffe	15%	3	0,45	5	0,75	4	0,60	4	0,60	5	0,75
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	10%	5	0,50	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45
Reinigungsleistung Mikroplastik	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Reduzierung von Legionellen, Keimen im KA Ablauf	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	5	0,25
Bildung Nebenprodukte (Transformationsprodukte)	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,20
Wartungsaufwand, Betriebsaufwand	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20
Betriebssicherheit	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	2	0,10	3	0,15
Sensitivität Kostensteigerung	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Klimarelevanz, CO <sub>2</sub> -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	4	0,20	2	0,10	4	0,20	4	0,20	4	0,20
<b>Summe mit Förderung 70%</b>	100%		3,55		3,65		4,00		3,85		<b>4,40</b>
<b>Summe - mit Förderung, ohne Schlammments.</b>	100%		4,15		<b>4,25</b>		3,70		3,55		4,10

Bewertung: 5 Punkte = sehr gut, 4 Punkte = gut, 3 Punkte = befriedigend, 2 Punkte = ausreichend, 1 Punkt = schlecht

## 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

Die **Jahreskosten** werden als wichtigstes Kriterium mit 30% gewichtet. Das Verfahren mit der günstigsten Jahreskosten wird mit 5 Punkten bewertet (Bereich 0 – 10% Abweichung). Verfahren mit 11 – 25% Abweichung von der Variante mit den günstigsten Jahreskosten werden mit 4 Punkten bewertet, Verfahren mit 26 – 50% Abweichung mit 3 Punkten und Verfahren mit 51 – 65% Abweichung mit 2 Punkten und Verfahren mit 66% oder höherer Abweichung mit 1 Punkt.

Die **Reinigungsleistung für Spurenstoffe** wird als weiteres wesentliches Kriterium mit 15% bewertet. Die Analytik zu vorhandenen Spurenstoffen auf der KA Geseke hat keine wesentlichen Auffälligkeiten hinsichtlich der gefundenen Spurenstoffe gezeigt. Die Reinigungsleistung der Verfahren wird nach Bewertung von Literaturangaben für alle Verfahren als gut angesehen, auch wenn die Leistung für unterschiedliche Spurenstoffe variieren kann. Die Leistungsfähigkeit ist bei allen Verfahren bei Bedarf zu steigern, etwa durch höhere Ozondosierungen oder erhöhte PAK-Dosierung (Bewertung 5 Punkte). Die Steigerung der Leistung bei GAK Verfahren ist nur durch frühzeitigen Austausch von Filtermaterial möglich. Aufgrund der geringeren Flexibilität zur Leistungssteigerung wird eine Bewertung mit 4 Punkten vorgenommen. Als Nachteilig wird Variante 1.1 angesehen, da durch die direkte Zugabe in die Belebung eine Konkurrenzbelastung der Aktivkohle im Zuge der vorgelagerten Abwasserreinigungsstufen erfolgen kann. Eine insgesamt verminderte Steuerung der Spurenstoffentnahme, bzw. erforderliche überproportional hohe Dosierungen von PAK ist nicht auszuschließen (Bewertung 3 Punkte).

Eine erhöhte **Reinigungsleistung** (10%) für **P** und **CSB** wird für Verfahren 1.2 – PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe erreicht. Ein vermehrter Rückhalt von AFS und P im Absetzbecken, nach Fäll- und Flockungsmittelzugabe ist anzunehmen, wie entsprechende Betriebserfahrungen großtechnischer Anlagen zeigen (KA Sindelfingen u.a.) (Ansatz: 5 Punkte). Da die übrigen Verfahren ebenfalls mit einer Filtration und P-Fällung ausgelegt sind, sind ähnliche Reinigungsleistungen zu erwarten. Die Dimensionierung der Filterstufe ist leicht ungünstiger gewählt als für Variante 1.1 (geringere PAK-Beladung), so dass eine leicht abgeschwächte Bewertung von 4,5 Punkten erfolgt.

Die erhöhte **Reinigungsleistung für Mikroplastik** (5%) im Abwasserstrom, etwa aus Mikroplastikfasern von Textilien und Kosmetika wird durch Verfahren mit Tuchfiltration potentiell günstig beeinflusst (5 Punkte). Für Verfahren mit Dyna-Sand Filtration wird eine leicht geringere Reinigungsleistung erwartet (4 Punkte), abschließende Untersuchungen fehlen hierzu jedoch.

Aktuelle Vorkommnisse auf Kläranlagen in NRW zeigen, dass in konventionellen Kläranlagen eine **Reduzierung** der **Legionellen**-Konzentration (5%) im Abwasserstrom unzureichend sein kann.

## 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

Verfahrensstufen, die die Konzentrationen von Legionellen, aber auch Viren und Bakterien im Ablauf der Kläranlage reduzieren sind vorteilhaft. Potentiell sind hier Ozonanlagen am wirkungsvollsten (5 Punkte). Von Filtersystemen unter Zufuhr von Luftsauerstoff wird eine begrenzte Reduzierung erwartet (3 Punkte). Ohne Luftsauerstoff wird eine geringe Reduzierung erwartet (2 Punkte). Quantitative Aussagen sind derzeit nur begrenzt möglich.

Die Bildung von **Transformationsprodukten** (5%) ist beim Einsatz von Oxidativen Verfahren gegeben. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte weitgehend abgebaut werden. Verfahren 3.1 berücksichtigt hierzu einen Sandfilter. Nachteile von Einleitungen nach Ozonbehandlung und biologischer Stufe für das Ökosystem des Gewässers in das eingeleitet wird sind bisher nicht bekannt. Bromid sollte bei Anwendung einer Ozonung nur in geringen Konzentrationen im Abwasser vorliegen (hier: im Bereich der Nachweisgrenze).

Verfahren ohne Ozonung werden mit 5 Punkten bewertet. Abhängig von der nachgeschalteten biologischen Stufe werden Ozonverfahren mit 4 (Dyna-Sand) bewertet.

Der Aufwand für **Wartung und Betrieb** (5%) spiegelt sich als monetärer Ansatz in der Kostenberechnung. Die Bereithaltung fachlich geschulten Personals ist jedoch auch als Entscheidungsfaktor zu berücksichtigen. PAK Dosierungen werden als einfache Betriebsverfahren eingeschätzt. GAK und PAK Adsorption und Ozonanlagen als etwas aufwändiger, da u.a. der Umgang mit Sauerstoff eine besondere Schulung erfordert und die Verfahren insgesamt einen höheren Technikanteil enthalten.

**Erfahrungen und Referenzen** (5%) liegen für alle Varianten vor. Ozonanlagen werden als Pilotanlagen in NRW u.a. eingesetzt und bevorzugt in der Schweiz angewendet. Zur Kombination mit einer Dyna-Sand Anlage liegen derzeit keine Erfahrungen vor. Die Bewertung wird hier nur geringfügig abgemindert, da Dyna-Sand Filter in hoher Zahl auf Kläranlagen eingesetzt werden (4 Punkte). Erfahrungen mit Anlagen mit PAK Adsorptionsstufe liegen u.a. aus Baden-Württemberg vor. Eine GAK Filtration als Dyna-Sand-Carbon Anlage wird seit über einem Jahr in Rietberg erfolgreich eingesetzt. Eine weitere Anlage besteht in Süddeutschland. Erfahrungen in Kombination mit Dyna-Sand Filtern sind nicht bekannt (4 Punkte). Erfahrungen mit GAK Adsorbieren im großtechnischen Maßstab sind vorwiegend aus der Trinkwasserreinigung bekannt. Die direkte Dosierung von PAK in die Belebung wird kaum angewendet und wird vermindert bewertet (3 Punkte).

Die **Betriebssicherheit** (5%) betrifft u.a. das Verhalten bei Ausfall eines Aggregates und inwieweit ein redundanter Weiterbetrieb möglich ist. Die höchste Betriebssicherheit wird der PAK Dosierung

#### 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

sowie der Dyna-Sand Carbon Filtration und GAK Adsorber angenommen (4 Punkte). PAK Adsorptionsstufe und Ozonstufen werden durch den hohen Technikanteil im mittleren Bereich eingeschätzt (3 Punkte).

Die **Sensitivität** der Verfahren hinsichtlich **Betriebskosten** (5%) zeigt die Sensitivitätsuntersuchung in Abschnitt 9.4. Entsprechend erfolgt die Einschätzung der Verfahren. Verfahren mit PAK Dosierung haben deutliche Betriebskostenschwankungen hinsichtlich Schlammentsorgung und PAK Kosten, Verfahren mit GAK hinsichtlich GAK Kosten, bzw. der zu erreichenden Filterstandzeit und Verfahren mit Ozon hinsichtlich Energie- und Sauerstoff-Kosten. Die Schwankungsbreite zu Mehr- und Minderkosten ist für die betrachteten Verfahren ähnlich.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die **CO<sub>2</sub>-Bilanz** (5%) für Verfahren mit Ozonung und Aktivkohle in etwa vergleichbar einzuschätzen. Der Ozon- und Sauerstoffproduktion steht die Gewinnung, Aktivierung und Reaktivierung der Aktivkohle gegenüber. Die Verfahren werden einheitlich mit 4 Punkten bewertet.

Der **Platzbedarf** (5%) ist für die KA Geseke weitgehend zu vernachlässigen da ausreichend Erweiterungsflächen zur Verfügung stehen. Insbesondere für die Variante 1.2 mit separater Adsorptionsstufe, ist ein erhöhter Flächenbedarf erforderlich.

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

### **Bewertung – Empfehlung**

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt sowohl bei Vernachlässigung einer Förderung, als auch bei Berücksichtigung einer Förderung, für das Verfahren 3.1 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration mit 4,40 die höchste Bewertung.

Ein anderes Bild ergibt sich wenn man die erhöhten Kosten für eine thermische Klärschlammbehandlung nicht berücksichtigt, weil ab 2025 nicht nur die mit PAK durchsetzten Klärschlämme der Verfahrensvarianten 1 einer thermischen Verwertung zugeführt werden müssen, sondern alle Klärschlämme. Hier ist die Variante 1.2 mit 4,25 Punkten am höchsten bewertet. Das Verfahren weist allerdings auch den größten Platzbedarf auf.

Vorzugsvariante ist die Variante 3.1 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration, die bei Szenarien ohne zwingende thermische Schlammbehandlung die höchste Bewertung erzielt.

## 11 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt fünf verfahrenstechnische Varianten sowie zwei Untervarianten hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Geseke in Bezug auf die technische Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit untersucht. Es handelt sich um zwei Verfahren mit Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK), zwei Verfahren auf Basis von granulierter Aktivkohle (GAK) sowie ein Verfahren mit Einsatz von Ozon als Oxidationsmittel.

Folgende Varianten werden untersucht:

- Variante 1.1: Dosierung von PAK in die Belebung und nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>
- Variante 1.1b: Dosierung von PAK in die Belebung und nachgeschaltetem Scheibentuchfilter
- Variante 1.2: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>
- Variante 1.2b: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Scheibentuchfilter
- Variante 2.1: GAK in Dyna-Sand Carbon<sup>®</sup> Filtration sowie Dyna-Sand-Filter<sup>®</sup>
- Variante 2.2: GAK in Festbett Adsorberstufe sowie Dyna-Sand-Filter<sup>®</sup>
- Variante 3.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>

Die Varianten zur Spurenstoffelimination werden verfahrenstechnisch vorbemessen und zeichnerisch im Lageplan dargestellt. Auf Basis von Kostenannahmen werden Investitionskosten und Betriebskosten ermittelt und daraus Jahreskosten abgeleitet.

Unter Einbeziehung der derzeit möglichen Landesförderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten (2016), ergeben sich Jahreskosten von rd. 301.000,-- € (brutto) für die günstigste Variante 3.1 mit Ozonung und Dyna-Sand-Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 12,29 €/EW/a bzw. 0,36 € pro m<sup>3</sup> Frischwasser (brutto).

In die Bewertung der einzelnen Varianten werden auch nichtmonetäre und betriebliche Kriterien einbezogen. Auf Basis einer Kosten-Nutzwert-Analyse wird der Nutzwert der einzelnen Varianten ermittelt. Hierzu wird in Abstimmung mit der Stadt Geseke eine Bewertungsskala von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) Nutzwertpunkten für jedes Kriterium eingeführt und mit einer Wichtung versehen.

Es wurden verschiedene Szenarien berücksichtigt, mit Förderung der Investitionen sowie mit und ohne Entfall der gesetzlich erlaubten landwirtschaftlichen Klärschlamm Entsorgung (ab 2025).

## 11. Zusammenfassung

---

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante 3.1 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration mit einer Bewertung von 4,40 Nutzwertpunkten weiter zu verfolgen.

Vernachlässigt man die hohen Mehrkosten für eine thermische Klärschlamm Entsorgung bei PAK-Verfahren, ist ebenfalls die Variante 1.2 mit einer separaten Adsorptionsstufe mit der für diesen Fall höchsten Bewertung zu betrachten.

Alle genannten Verfahren sind prinzipiell in der Lage die Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage für einen Großteil der betrachteten Spurenstoffe signifikant zu vermindern.

Da bisher keine gesetzlichen Grenzwerte zu zulässigen Spurenstoffeinleitungen vorliegen, kann hieraus keine Vorauswahl hinsichtlich eines zu präferierenden Verfahrens getroffen werden.

Es wird zunächst von einer Gleichwertigkeit der vorgeschlagenen Verfahren ausgegangen.

Derzeit ist nicht bekannt wann verbindliche gesetzliche Auflagen zur Spurenstoffbehandlung seitens des Gesetzgebers erlassen werden. Die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination wird aber durch das Landes Nordrhein-Westfalen empfohlen.

Bei Umsetzung der Maßnahme und Betrieb einer Filtration mit Phosphat-Nachfällung wird eine Reduzierung der Phosphat-Konzentrationen und –Frachten im Ablauf der Kläranlage erreicht. Aufgrund der bestehenden Gewässerbelastung des Geseker Baches, u.a. mit Phosphaten, sind zukünftige Auflagen der Aufsichtsbehörde zur Verminderung der P-Einleitungen nicht auszuschließen.

Sollte sich die Stadt Geseke zu der Nachrüstung einer Stufe zur Spurenstoffbehandlung auf der Kläranlage entschließen, wird empfohlen die Variante 3.1 Ozonierung und Dyna-Sand Filtration zu verfolgen.

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH

Hannover, im Dezember 2016

Dr.-Ing. Jens Knollmann

## 12 Literatur

**Abegglen, C., Escher, B. (2009)**

Abschlussbericht Ozonung von gereinigtem Abwasser. Pilotversuch Regensdorf. Dübendorf.

**Adamczak, K.; Lyko, S.; Evenblij, H.; Cornelissen, A, Igos, E.; Klebiszewski, K.; Venditti, S.; Kovalova, L.; McArdell, C.; Helwig, K.; Pahl, O.; Barraud, O.; Casellas, M.; Dagot, C.; Maftah, C.; Ploy, M. (2012)**

Pharmazeutische Rückstände in der aquatischen Umwelt – eine Herausforderung für die Zukunft – Erkenntnisse und Aktivitäten des Europäischen Kooperationsprojektes PILLS.

**BAFU (2012)**

Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hrsg. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz, Umwelt-Wissen Nr. 1214.

**Bajenbruch, M.; Firk, W. (2014)**

Möglichkeiten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 10, 61; 2014

**Becker, H.-P. (2013)**

Erfahrungen zur Elimination von Spurenstoffen auf Kläranlagen. Workshop: Maßnahmenprogramm WRRL 2015 und Mikroschadstoffreduzierung“, Bezirksregierung Düsseldorf, 16.12.2013

**Benstöm, F.; Metzger S. (2015)**

Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen. 2. Kläranlagentage, Kassel, 10.06.2015, DWA.

**BMLFUW ( 2015)**

Veröffentlichung des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich: Richtlinien betreffend Oberflächengewässerqualität:[https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu\\_wasserrecht/OFG-Qualitaet-RL.html](https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu_wasserrecht/OFG-Qualitaet-RL.html)

**Bode, H. (2014)**

Wohl und Wehe der 4. Reinigungsstufe. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 12, 61, 2014

**Cornel, P. (2007)**

Potenzielle Anforderungen an die Abwasserreinigung der Zukunft. Schriftenreihe WAR 190, Verein zur Förderung des Institutes WAR (Hg.), Darmstadt - Darmstädter Seminar Abwassertechnik, Universität Darmstadt.

**Dowell Mc, D.C.; Huber, M. M.; Wagner, M.; Gunten v. U.; Ternes, T.A. (2005)**

Oxidation of carbamazepine in drinking water: identification and kinetic study of major oxidation products. Environ Sci. Technol., 39 (29).

**DWA (2008)**

DWA Arbeitsgruppe KA 8.1: Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. DWA-Themenband, Hennef.

**Gantner, K.; Waermer, F. (2014)**

Einsatz der Fuzzy-Filter-Technologie zur Spurenstoffentfernung auf Kläranlagen ohne bereits bestehende Filtrationsstufe. Korrespondenz Abwasser, Nr. 10.

**Götz, C.; Bergmann, S; Ort, C.; Singer, H; Kase, R. (2012)**

Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser - Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV).

**Götz, C. W.; Hollender, J.; Kase, R. (2010)**

Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Herausgeber: Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Dübendorf.

**Hanke I.; Singer H.; Mc Ardell C., Brennwald M., Traber D., Muralt R., Herold T., Oechslin R., Kipfer R. (2007)**

Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. Gas, Wasser, Abwasser 3.

**Hiller, G. (2011)**

Abwasserreinigung mit dem Ziel der Spurenstoffentnahme und der Unterschreitung der abgaberelevanten Schwellenwerte für CSB und P in Ulm/Neu-Ulm. Karlsruher Flockungstage 2011, Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe Schriftenreihe SWW, Bd. 151, Karlsruhe.

**Hoeger, B., Kölner, B., Dietrich D., Hitzfeld B. (2005)**

Water-borne diclofenac affects kidney and gill integrity and selected immune parameters in brown trout. Aquatic Toxicology, 75.

**Hollender, J.; Zimmermann, S. G.; Koepke, S.; Krauss, M.; Mc Ardell, C.S.; Ort, C.; Singer, H.: von Gunten, U.; Siegrist, H. (2009)**

Elimination of organic micropollutants in a municipal wastewater treatment plant upgraded with a full-scale-ozonation followed by sand filtration; Environ. Sci. Technol. 43, 7862 - 7869

**KomS (2016)**

Kompetenzzentrum Spurenstoffe – BW. Übersicht entnommen: Internetseite: <http://www.koms-bw.de/klaeranlage>.

**KOMS (2016)**

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe – NRW. Übersicht entnommen: Internetseite: <http://www.masterplan-wasser.nrw.de>.

**KOMS / Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW (2016)**

Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW; Stand: 9/2016

**LAWA (2012)**

Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Aufl., Herausgeber DWA, Bund/Länder – Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2012

**Maus, C; Herbst, H.; Ante, S.; Becker, H.-P.; Glatze, W.; Börger, A.; Türk, J. (2014)**

Hinweise zu Auslegung und Design von Ozonanlagen zur Mikroschadstoffelimination. Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 11, 61.

**Metzger, S. (2010)**

Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Berlin: Oldenburg IndustrieGesekeag München.

### **MKULNV NRW ( 2013)**

Programm Reine Ruhr zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in Nordrhein-Westfalen. Veröffentlichung des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW.

### **MKULNV NRW (2014)**

ARGE TP6: Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen (TP6), Abschlussbericht; Hrsg.: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW.

### **MKULNV NRW (2015)**

Steckbrief der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Bewirtschaftungsplan 2016-2021. Oberflächengewässer und Grundwasser. Teileinzugsgebiet Rhein/Lippe (Stand 12/2015) Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW.

### **MKULNV NRW ( 2016)**

Bewirtschaftungspläne für Flussgebiete in Europa. Information des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen:  
<http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Bewirtschaftungsplan>

### **MUNLV NRW ( 2009)**

Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer. Integriertes Monitoringkonzept der landesspezifischen, nationalen und internationale Messprogramme. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen:

[http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Monitoring#Monitoring\\_der\\_Oberfl.C3.A4chengew.C3.A4sser](http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Monitoring#Monitoring_der_Oberfl.C3.A4chengew.C3.A4sser)

### **NFP (2008)**

Konsensplattform „Hormonaktive Stoffe in Abwasser und Gewässer“ - Schlussdokument, Nationales Forschungsprogramm „Hormonaktive Stoffe“. Schweizerischer Nationalfond.

### **Ozonía (2010)**

Ozonía – Behandlung von Mikroverunreinigungen, Prospekt Ozonía, Dübendorf, Schweiz (zitiert aus: Forschungsprogramm Amperes, Suez Environnement & Irstea, Schlussbericht, 2010)

**Pinnekamp J.; Merkel W. (2008)**

Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte und Kostenbetrachtungen (Abschlussbericht im Auftrag des MUNLV NRW).

**Scholz, N.; Truelove, N.; Labenia, J.; Baldwin, D.; Collier, T.; (2006)**

Dose-additive inhibition of chloek salmon acetylcholinesterase activity by mixtures of organophosphate and carbamate insecticides. *Env. Toxicol. Chem.* 25 (5).

**Schumacher, Nebocat (2009)**

Kosten der Ersatzbrennstoffverbrennung in Monoverbrennungsanlagen. Tagungsbeitrag; Energie aus Abfall, Band 6; TK Gesekeag, Neuruppin.

**Sowa Ingenieurbüro (2011)**

Erweiterung der Kläranlage Geseke – Entwurf. 2011, Lippstadt (unveröffentlicht)

**Sowa Ingenieurbüro (2012)**

Stadt Geseke – Klärschlammkonzept (Konzept). 2012, Lippstadt (unveröffentlicht)

**StGB NRW ( 2015)**

Mitteilung – Umwelt, Abfall und Abwasser, Städte- und Gemeindebund NRW-Mitteilung 303/2015.  
<https://www.kommunen-in-nrw.de/mitgliederbereich/mitteilungen/detailansicht/dokument/eu-beobachtungsliste-fuer-stoffe.html?cHash=8117525cfd504433bf1940107a587941>

**Sürder, T. (2016)**

Persönliche Mitteilung, E-Mail: 16.11.2016, 03.08.2016; Bezirksregierung Detmold

**Suter, J.M.F.; Holm, P. (2004)**

Dem Fischrückgang auf der Spur, Schlussbericht des Projektes Netzwerk Fischrückgang Schweiz – „Fischnetz“, EAWAG, BUWAL, [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch).

**UBA - Umweltbundesamt (2012)**

Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

**UBA - Umweltbundesamt ( 2014)**

Schutz der Oberflächengewässer. Mitteilung des Umweltbundesamtes vom 01.04.2014:  
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrecht/recht-der-oberflaechengewaesser>

## 13 Anhang

### 13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

- (1) Untersuchungen vom 16.08.2016 – 19.08.2016, 72h-Mischprobe
- (2) Untersuchungen vom 23.08.2016 – 26.08.2016, 72h-Mischprobe

Probenahme: Ablauf Nachklärung, Kläranlage Geseke

<i>Analysennummer:</i>		53071 190654	53071 190655	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Wassermenge in 72 h	m <sup>3</sup>	13970	13057	
TOC	mg/l		12	DIN EN 1484 (H 3)
DOC	mg/l	9	9	DIN EN 1484 (H 3)
Bromid (Br)	mg/l	0,07	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
EDTA	µg/l	21	27	EN ISO 16588
Acenaphthen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Acenaphthylen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Anthracen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(a)anthracen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(ghi)perylen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Chrysen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Fluoranthen	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Fluoren	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Naphthalin	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Phenanthren	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Pyren	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN ISO 17993 (F 18)
PAK (EPA) Summe	µg/l	n.b.	n.b.	DIN EN ISO 17993 (F 18)
Perfluoroctansäure (gPFOA)	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-42 (F 42)
Perfluoroctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,05	0,11	DIN 38407-42 (F 42)
Summe gPFOA/gPFOS	µg/l	n.b.	0,11	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Bisphenol A	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN 12673 (F 15)

## Anhang

<i>Analysennummer:</i>		53071 190654	53071 190655	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Acesulfam	µg/l	0,38	0,82	Hausmethode LC/MS
Bezafibrat	µg/l	0,580	0,460	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diclofenac	µg/l	2,00	2,80	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ibuprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Carbamazepin	µg/l	1,20	0,580	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Bisoprolol	µg/l	0,630	0,170	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Metoprolol	µg/l	1,50	2,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sotalol	µg/l	0,970	0,940	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ciprofloxacin	µg/l	< 2,5	< 1	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clarithromycin	µg/l	0,190	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfamethoxazol	µg/l	0,410	0,560	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ritalinsäure	µg/l	0,1200	0,1700	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Amidotrizoesäure	µg/l	0,840	7,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopamidol	µg/l	0,640	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diuron	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Glyphosat	µg/l	0,810	0,760	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Isoproturon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Mecoprob	µg/l	< 0,05	0,076	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Metolachlor ESA	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Terbutryn	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Benzotriazol	µg/l	3,50	4,30	Hausmethode (LC-MS-MS)
TCPP	µg/l	0,1	0,1	
Galaxolide (HHCB)	ng/l	480	470	

Anhang

Untersuchungen vom 17.08.2016, 07:20 Uhr bis 07:50 Uhr qualifizierte Stichprobe

(1) = Geseker Bach oberhalb Einleitungsstelle

(2) = Geseker Bach unterhalb Einleitungsstelle

Analysennummer:		193020	193021	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
EDTA	µg/l	0,7	3,2	EN ISO 16588
DOC	mg/l	1,4	1,4	DIN EN 1484 (H 3)
Acenaphthen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Acenaphthylen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Anthracen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(a)anthracen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(a)pyren	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(b)fluoranthen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(ghi)perylene	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Benzo(k)fluoranthen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Dibenz(ah)anthracen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Chrysen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Fluoranthen	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Fluoren	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Naphthalin	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Phenanthren	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Pyren	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/l	< 0,01	< 0,01	DIN 38407-39 (F 39)
PAK nach EPA	µg/l	n.b.	n.b.	DIN 38407-39 (F 39)
Perfluorooctansäure (gPFOA)	µg/l	0,01	0,01	ISO 25101
Perfluorooctansulfons. (gPFOS)	µg/l	< 0,01	< 0,01	ISO 25101
Summe gPFOA und gPFOS	µg/l	0,02	0,01	ISO 25101 / DIN 38407-4..
Bisphenol A	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN EN 12673 (F 15)

## Anhang

<i>Analysennummer:</i>		193020	193021	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Acesulfam	µg/l	0,071	0,17	Hausmethode LC/MS
Bezafibrat	µg/l	< 0,05	0,064	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diclofenac	µg/l	< 0,05	0,260	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ibuprofen	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Carbamazepin	µg/l	< 0,05	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Bisoprolol	µg/l	< 0,05	0,075	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Metoprolol	µg/l	< 0,05	0,460	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sotalol	µg/l	< 0,05	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,05	0,097	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	0,061	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Ritalinsäure	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Amidotrizoesäure	µg/l	0,095	0,150	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Iopamidol	µg/l	0,110	0,140	SOP: HM-MA-M U-2-25 <sup>a</sup>
Diuron	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Glyphosat	µg/l	< 0,05	0,120	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Isoproturon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Mecoprob	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Metolachlor ESA	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Terbutryn	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 <sup>a</sup>
Benzotriazol	µg/l	0,084	0,600	Hausmethode (LC-MS-MS)
TCCP	µg/l	< 0,01	0,0	
Galaxolide (HHCB)	ng/l	3,2	98,0	

## **13.2 Abwassertechnische Berechnungen**

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.1 - PAK in Belebung mit Dyna-Sand Filtration**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			28.327 EW	Ausbau 2011-2015
Bemessungsbelastung			24.503 EW	Mittel: 2012-2014
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			2296 m³/d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			4581 m³/d	
Jahresabwassermenge		2.977.634 m³/a	8158 m³/d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.510.082 m³/a	6877 m³/d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		105,6 l/s	<b>380 m³/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		80,0 l/s	<b>287 m³/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		58,3 l/s	<b>210 m³/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$		300 l/s	1080 m³/h	Ansatz Gebietszufluss aus PW und Stauraumk.

**Auslegung PAK Dosierung**

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK		20 - 30 mg/l	<b>20 mg/l</b>	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			8 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			182 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			6 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			138 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			4.271 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			<b>51.247 kg/a</b>	
Auslegung Silobehälter				
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)			425 kg/m³	
erf. Lagervolumen pro Monat			10,05 m³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			30,15 m³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			<b>80 m³</b>	rd. 8 Monate PAK Versorgung

**Auslegung Dyna-Sand Filtration**

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			20 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m²/h	
Filterfläche gesamt			120 m²	
Oberflächenbelastung			<b>9 m/h</b>	
Spülwassermenge			90 m³/h	
Druckluftbedarf			28,8 Nm³/h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			<b>320 t</b>	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			<b>722 m³</b>	10,5 m x 12,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m³	

## Anhang

### Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6777,2 kg/a	

### Variante 1.1.b - PAK in Belebung mit Polstoff-Tuchfiltration

#### Auslegung Tuchfiltration

Polstoff-Tuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 16/80-B-240-3-PMF-A4			32	Bem./Ausl. Mec.
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			160 m <sup>2</sup>	
Stundendurchfluss mittel			380 m <sup>3</sup> /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			1080 m <sup>3</sup> /h	
Filtergeschwindigkeit			6,8 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/m <sup>2</sup> /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) - 2 straßig			216 m <sup>3</sup>	3,0 m x 8 m x 4,5 m * 2 Stk.

Kontaktbecken - Nachfällung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t <sub>KB</sub>		5 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V <sub>KB, erf.</sub>		90 m <sup>3</sup>	
Beckenvolumen, gewählt	V <sub>KB, gew.</sub>		100 m <sup>3</sup>	
Tiefe, gewählt	T <sub>KB, gew.</sub>		2,5 m	
Oberfläche	A <sub>KB, gew.</sub>		40 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken	n <sub>KB</sub>		1	
Länge Becken	L <sub>KB</sub>		8,0 m	
Breite Becken	B <sub>KB</sub>		5,0 m	Oberfläche Ist: 40 m <sup>2</sup>
Rührwerk - Anzahl	n <sub>Rühr</sub>		2	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E <sub>spez.</sub>		10 W/m <sup>3</sup>	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E <sub>ges.</sub>		1,0 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P <sub>RW</sub>		0,5 kW	

### Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6777,2 kg/a	

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe (Optional mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration)**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			28.327 EW	Ausbau 2011-2015
Bemessungsbelastung			24.503 EW	Mittel: 2012-2014
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			2296 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			4581 m <sup>3</sup> /d	
Jahresabwassermenge		2.977.634 m <sup>3</sup> /a	8158 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.510.082 m <sup>3</sup> /a	6877 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		105,6 l/s	<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		80,0 l/s	<b>287 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		58,3 l/s	<b>210 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$		300 l/s	1080 m <sup>3</sup> /h	Ansatz Gebietszufluss aus PW und Stauraumk.

**Auslegung Kontaktbecken**

Kontaktbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	tkB		<b>30 min</b>	
Beckenvolumen, erforderlich	VkB,erf.		190 m <sup>3</sup>	
Beckenvolumen, gewählt	VkB,gew.		<b>190 m<sup>3</sup></b>	
Tiefe, gewählt	TkB,gew.		2,7 m	
Oberfläche	AkB,gew.		72 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken	nkB		1	
Länge Becken	LkB		15,0 m	
Breite Becken	BkB		5,0 m	Oberfläche Ist: 75 m <sup>2</sup>
Rührwerk - Anzahl	nRühr		3	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	Espez.		10 W/m <sup>3</sup>	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	Eges.		1,9 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	PRW		0,6 kW	

**Auslegung Absetzbecken**

Absetzbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	tAB		<b>120 min</b>	
Beckenvolumen, erforderlich	VkB,erf.		760 m <sup>3</sup>	
Tiefe, gewählt	TkB,gew.		3,8 m	
Oberflächenbeschickung	qAB		2,0 m/h	
Oberfläche erforderlich	AAB, erf.		190 m <sup>2</sup>	
Oberfläche gewählt	AAB,gew.		200 m <sup>2</sup>	
Volumen gesamt	VAB,ges.		<b>760 m<sup>3</sup></b>	
Anzahl Becken, Rundbecken	nAB		1	
Durchmesser	DAB		16,0 m	V <sub>Ist</sub> = 760 m <sup>3</sup> , A <sub>Ist</sub> = 201 m <sup>2</sup>

## Anhang

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			105,6 l/s	

Rücklaufkohle	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Rücklaufverhältnis	RV <sub>PAK</sub>		70%	

### Auslegung PAK Dosierung

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK	DOS <sub>mittel, PAK</sub>	5 - 15 mg/l	<b>10 mg/l</b>	
maximale PAK-Dosierung bei QT <sub>max</sub>			3,8 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei QT <sub>max</sub>			91 kg/d	
Suspension	Q <sub>PAK,max</sub>		18,2 m <sup>3</sup> /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT <sub>mittel</sub>			2,9 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei QT <sub>mittel</sub>			69 kg/d	
Suspension	Q <sub>PAK,mittel</sub>		13,8 m <sup>3</sup> /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT <sub>mittel</sub>			2.135 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei QT <sub>mittel</sub>			<b>25.623 kg/a</b>	
Auslegung Silobehälter				
Anzahl Silo	n <sub>Silo</sub>		1	
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)	roh		425 kg/m <sup>3</sup>	
erf. Lagervolumen pro Monat			5,02 m <sup>3</sup>	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			15,07 m <sup>3</sup>	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			<b>80 m<sup>3</sup></b>	ca. 16 Monate PAK Versorgung

### Auslegung Flockungshilfsmittel-Dosierung

Flockungshilfsmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FHM	DOS <sub>mittel, FHM</sub>	0,2 - 0,3 mg/l	<b>0,2 mg/l</b>	
Dichte	roh		500 kg/m <sup>3</sup>	0,5 Gew.%
max. FHM Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		0,11 kg/h	
max. FHM Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		2,74 kg/d	
mittlere FHM Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		0,057 kg/h	
mittlere FHM Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		<b>1,38 kg/d</b>	

### Auslegung Fällmittel-Dosierung Kontaktbecken

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FHM</sub>	2 - 8 mg/l	<b>5,0 mg/l</b>	
Dichte	roh		500 kg/m <sup>3</sup>	0,5 Gew.%
max. Fällmittel Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		2,28 kg/h	
max. Fällmittel Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		54,72 kg/d	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		1,435 kg/h	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		34,44 kg/d	
mittlere Fällmittelmenge pro Jahr			<b>12.571 kg/a</b>	

## Anhang

### Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			<b>6777,2 kg/a</b>	

### Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			<b>10 Stk.</b>	
Filterfläche je Einbauteil			6 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			60 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			<b>18,00 m<sup>3</sup>/h</b>	Annahme: geringe Filterbelastung
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			<b>160 t</b>	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			<b>447 m<sup>3</sup></b>	6,5 m x 12,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

### Variante 1.2 b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe (Optional mit nachgeschalteter Scheibentuchfiltration)

#### Auslegung Scheibentuchfiltration

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 12/60-B-240-3-PMF-A4			<b>24 Stk.</b>	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			120 m <sup>2</sup>	
Stundendurchfluss max			1080 m <sup>3</sup> /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss mittel			380 m <sup>3</sup> /h	
Filtergeschwindigkeit			<b>9, m/h</b>	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n <sup>2</sup> /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) 2 straßig			<b>162 m<sup>3</sup></b>	3,0 m x 6,0 m x 4,5 m *2

#### Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			<b>6777,2 kg/a</b>	

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)**

**Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			28.327 EW	Ausbau 2011-2015
Bemessungsbelastung			24.503 EW	Mittel: 2012-2014
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			2296 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			4581 m <sup>3</sup> /d	
Jahresabwassermenge		2.977.634 m <sup>3</sup> /a	8158 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.510.082 m <sup>3</sup> /a	6877 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		105,6 l/s	<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		80,0 l/s	<b>287 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		58,3 l/s	<b>210 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$		300 l/s	1080 m <sup>3</sup> /h	Ansatz Gebietszufluss aus PW und Stauraumk.

**Auslegung Dyna-Sand Carbon Filtration**

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B		10-12 Stk.	<b>10 Stk.</b>	
Filterfläche je Einbauteil			6 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			60 m <sup>2</sup>	
max. Oberflächenbelastung			<b>6 m<sup>3</sup>/h</b>	
mittlere Oberflächenbelastung			5 m <sup>3</sup> /h	
Spülwassermenge			15 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			23 Nm <sup>3</sup> /h	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m <sup>3</sup>	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			7,8 t/Filter	Typ DS 6000
			78 t/Filter- alle	
Gesamtmenge Aktivkohle			<b>159 m<sup>3</sup>/Filter- alle</b>	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK}$ gesamt: 159 m <sup>3</sup>		<b>15.768 BV/a</b>	
mittlere Aufenthaltszeit			0,55 h	
Aufenthaltszeit bei $Q_{Tmax}$			0,42 h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)		rd.	<b>447 m<sup>3</sup></b>	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

Anhang

**Auslegung Dyna-Sand Filtration**

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			60 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			18,00 m/h	
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			447 m <sup>3</sup>	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

**Auslegung Nachfällmittel-Dosierung**

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6777,2 kg/a	

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)**

**Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			28.327 EW	Ausbau 2011-2015
Bemessungsbelastung			24.503 EW	Mittel: 2012-2014
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			2296 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			4581 m <sup>3</sup> /d	
Jahresabwassermenge		2.977.634 m <sup>3</sup> /a	8158 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.510.082 m <sup>3</sup> /a	6877 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		105,6 l/s	<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		80,0 l/s	<b>287 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		58,3 l/s	<b>210 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$		300 l/s	1080 m <sup>3</sup> /h	Ansatz Gebietszufluss aus PW und Stauraumk.

**Auslegung GAK Festbett-Adsorberstufe**

Festbett-Adsorberstufe	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
max. Filtergeschwindigkeit	$V_{Omax}$		15 m/h	
mittlere Filtergeschwindigkeit	$V_{Qt}$		10 m/h	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qmax}$		25 m <sup>2</sup>	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qt}$		38 m <sup>2</sup>	
Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter, gewählt	$A_{gew.}$		15 m <sup>2</sup>	
Anzahl Filter (Betrieb)	$n_{Filter}$		3	
Anzahl Filter (Betrieb + 1 Rückspülfilter)	$n_{Filter}$		4	
Anzahl Filter, Reserve / Spülung			-	
Filterfläche gesamt (Betrieb ohne Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges}$		45 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt (Betrieb mit Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges, einschl. RSF}$		60 m <sup>2</sup>	
Filterhöhe	$H_{Filter}$		4,0 m	
Filtervolumen, pro Filter	$V_{Filter}$		60 m <sup>3</sup>	
Filtervolumen, gesamt	$V_{Filter, ges.}$		240 m <sup>3</sup>	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK gesamt: 240 m^3}$		<b>10.459 BV/a</b>	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m <sup>3</sup>	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			29,4 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			117,6 t / 240 m <sup>3</sup>	
mittlere Kontakt-/ Aufenthaltszeit (ges.) - 3 Filter			0,63 h	
Aufenthaltszeit bei $Q_{Tmax}$			0,47 h	

Anhang
 

---

**Auslegung Dyna-Sand Filtration**

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			<b>10 Stk.</b>	
Filterfläche je Einbauteil			6 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			60 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			<b>18,00 m/h</b>	
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			<b>447 m<sup>3</sup></b>	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

**Auslegung Nachfällmittel-Dosierung**

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			<b>6777,2 kg/a</b>	

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren**

**Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			28.327 EW	Ausbau 2011-2015
Bemessungsbelastung			24.503 EW	Mittel: 2012-2014
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			2296 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			4581 m <sup>3</sup> /d	
Jahresabwassermenge		2.977.634 m <sup>3</sup> /a	8158 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.510.082 m <sup>3</sup> /a	6877 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		105,6 l/s	<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		80,0 l/s	<b>287 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		58,3 l/s	<b>210 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$		300 l/s	1080 m <sup>3</sup> /h	Ansatz Gebietszufluss aus PW und Stauraumk.

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>TOC</sub>		12,0 mg TOC / l	72h- Mischproben (1 Stk.)
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:			9,0 mg DOC / l	Mittel - 72h- Mischproben (2Stk.)
Bromidkonzentration			0,07 mg/l	keine Auffälligkeiten (max. Konz.)
Standortspez. Spurenstoffe				keine Auffälligkeiten
Voraussetzung: stabile Nitrifikation (keine Oxidation Nitrit zu Nitrat)				erfüllt
Voraussetzung: niedrige AFS Konzentrationen im Ablauf Nachklärung				erfüllt

**Auslegung Mikroschadstoffelimination mit Ozon**

Ozonerzeugung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Maximale Ozonmenge:	Z <sub>spez.</sub>	0,6 – 0,9 g O <sub>3</sub> / g DOC	<b>0,75 mg O<sub>3</sub>/mg TOC</b>	(mittl. Ausl.wert, Empf. [KOMZ])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>TOC</sub>		12,0 mg TOC / l	
erforderliche Ozonkonzentration	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez.</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>9, mg O<sub>3</sub> / l</b>	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierate	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez.</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>12 mg O<sub>3</sub> / l</b>	
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem.</sub> = Q <sub>T,h,max</sub>		<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [KOMZ])
minimale Auslegungswassermenge	Q <sub>T,2h,min</sub>		210 m <sup>3</sup> /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B <sub>O3,max</sub> = Q <sub>Bem.</sub> x C <sub>O3</sub>		<b>4,56 kg O<sub>3</sub>/h</b>	
Maximale Ozon Produktionskapazität			<b>109,44 kg O<sub>3</sub>/d</b>	
Mittlere Ozon Produktion	B <sub>O3,mittel</sub> = Q <sub>T,mittel</sub> x C <sub>O3</sub>		3,44 kg O <sub>3</sub> /h	
Mittlere Ozon Produktion			<b>82,66 kg O<sub>3</sub>/d</b>	
Minimale Ozon Produktion	B <sub>O3,min</sub> = Q <sub>T,2h,min</sub> x C <sub>O3</sub>		2,52 kg O <sub>3</sub> /h	
Minimale Ozon Produktion			60,48 kg O <sub>3</sub> /d	
Jährliche Ozon Produktion			<b>30.169 kg O<sub>3</sub>/a</b>	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			<b>301.694 kg O<sub>2</sub>/a</b>	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

Anhang

<b>Wahl Ozonerzeuger</b>				
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> , Produktgas	M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>	
Anzahl Generatoren	n		1	
max. Leistung Generator			<b>3,6 kg O<sub>3</sub>/h</b>	
Leistung Generator			3,5 kg O <sub>3</sub> /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			24,5 Nm <sup>3</sup> /h	
O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> Gasdurchsatz			23,6 Nm <sup>3</sup> /h	
Kühlwasserbedarf			9 m <sup>3</sup> /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,1 Nm <sup>3</sup> /h	
Energiebedarf gesamter Konverter			32, KW	

Ozonreaktor	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss	t <sub>OR</sub>	15 - 30 min	<b>20 min</b>	
Ozonzehrung	t <sub>Zehrung O<sub>3</sub></sub>		10 min	Literaturwert(alt. Batchversuch) Spitzenwassermenge Trockenwetter
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem. = Q<sub>T,h,max</sub></sub>		<b>380 m<sup>3</sup>/h</b>	
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V <sub>OR</sub>		127 m <sup>3</sup>	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V <sub>Gas</sub>		63 m <sup>3</sup>	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V <sub>ges., erf.</sub>		190 m <sup>3</sup>	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung)	V = Q <sub>Bem</sub> x t <sub>Zehrung</sub> /0,35		181 m <sup>3</sup> /h	
<b>gesamtes Reaktorvolumen gewählt:</b>	V <sub>ges.</sub>		<b>180 m<sup>3</sup></b>	
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A <sub>OR</sub>		25 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR</sub>		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR</sub>		8 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR</sub>		4 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V <sub>OR,gew.</sub>		<b>120 m<sup>3</sup></b>	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A <sub>OR,gew.</sub>		<b>24 m<sup>2</sup></b>	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h <sub>OR-A</sub>		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A <sub>OR-A,gew.</sub>		13 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR-A</sub>		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR-A</sub>		4 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR-A</sub>		4 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V <sub>OR-A,gew.</sub>		<b>60 m<sup>3</sup></b>	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A <sub>OR-A,gew.</sub>		<b>12 m<sup>2</sup></b>	

Ozoneintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
<b>Diffusor:</b>				
Eintragstiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> , Produktgas	M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	
Max einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, max.</sub> )	B <sub>O<sub>3</sub>, max</sub> / CO <sub>3</sub> , Produktgas		31 m <sup>3</sup> /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, min.</sub> )	B <sub>O<sub>3</sub>, min</sub> / CO <sub>3</sub> , Produktgas		17 m <sup>3</sup> /h	> min. Diffusorsystem

## Anhang

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>	
maximale Menge O <sub>2</sub>			46 kg O <sub>2</sub> /h	
maximale Menge O <sub>2</sub>			1094 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			34,44 kg O <sub>2</sub> /h	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			827 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			<b>301.694 kg O<sub>2</sub>/a</b>	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			106 l/s	

### Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000			<b>10 Stk.</b>	
Filterfläche je Einbauteil			6 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			60 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			18 m/h	
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			<b>447 m<sup>3</sup></b>	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

### Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>Mittel, FM</sub>		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWAA-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,9 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			18,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			<b>6777,2 kg/a</b>	

### **13.3 Kostenannahme**

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Zusammenfassung: Jahreskosten, Investitionskosten, Betriebskosten

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Ablaufleitung, DN 600	20	m	700 €	14.000 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
1.1.5	Dosierleitung PAK	20	m	100 €	2.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>46.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Reaktor	722	m <sup>3</sup>	450 €	324.900 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>343.900 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	<b>200</b>	m <sup>2</sup>	100 €	20.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>57.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>497.400 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

## Anhang

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		34.818 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>532.218 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000 B-D, 20 Stk.	1	psch.	350.000 €	350.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung (64 t)				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.1.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	20.000 €	20.000 €
2.1.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	15.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>385.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen	3	Stk.	8.500 €	25.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	8.000 €	8.000 €
	<b>Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>33.500 €</b>

<b>2.3</b>	<b>PAK-Silo, Fällmitteldosierung</b>				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
2.3.2	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	330.000 €	330.000 €
2.3.3	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.3: PAK-Silo</b>				<b>415.000 €</b>

<b>2.4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>838.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
3.1.1	MID DN 400	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage, PAK Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>53.000 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>53.000 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>532.218 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>838.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>53.000 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.423.718 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				284.744 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.708.462 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				324.608 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.033.069 €</b>

**Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration**

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				532.218 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				838.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				53.000 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.423.718 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.322 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				25.155 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.060 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>31.537 €/a</b>

## Anhang

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel (Nachfällung)	6,770 t/a		130 €/t	880 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	51,2 t/a		1500 €/t	76.871 €/a
	Sand	320 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	3.200 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>80.951 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.977.634 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,185€/kWh	13.772 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK, FM</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,185€/kWh	1.621 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>19.470 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	51 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlerer Feststoffgehalt	28%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	2832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2883 t/a		45,00 €/t	129.746 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>129.746 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	<b>40 h/Monat</b>			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>11.250 €/a</b>

Anhang

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				31.537 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				80.951 €/a
	Summe Energiebedarf				19.470 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				129.746 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>272.954 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				51.861 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>324.816 €</b>

**Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	60.242 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>60.242 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-16.629 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	37.651 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>37.651 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-39.219 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,14 €/kWh	10.422 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>14.734 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.736 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2883 t/a		30 €/t	86.497 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>86.497 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlere Kostenannahme</b>				<b>-43.249 €/a</b>

Anhang

**Variante 1.1 - PAK in Belegung und Dyna-Sand Filtration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	90.363 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>90.363 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>13.492 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	35 mg/l	1500 €/t	131.779 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>131.779 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>54.909 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,28 €/kWh	20.843 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,28 €/kWh	3.373 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,28 €/kWh	2.453 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>29.469 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>9.998 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2883 t/a		60 €/t	172.995 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>172.995 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>43.249 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf ST-Filter: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf Zwischenpumpwerk - ST-Filter, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.3	Ablauf ST-Filter: DS - Ablaufleitung, DN 600	20	m	700 €	14.000 €
1.1.4	Dosierleitung PAK	20	m	200 €	4.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser , PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>48.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Scheibentuchfilter - Becken	216	m <sup>3</sup>	500 €	108.000 €
1.2.5	Kontakreaktor P-Fällung	100	m <sup>3</sup>	400 €	40.000 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>167.000 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Scheibentuchfilter Technik, EMSR	1	psch.	35.000 €	35.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>35.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m <sup>2</sup>	100 €	40.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>77.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>327.500 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		22.925 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>350.425 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Scheibentuchfilter, Kontaktbecken P</b>				
2.1.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF16/80, 32 Filterscheiben	1	psch.	435.600 €	435.600 €
2.1.2	Prallwand, Tauchwand				enthalten
2.1.3	Filterreinigungssystem				enthalten
2.1.4	Filterantrieb				enthalten
2.1.5	Sammelleitung				enthalten
2.1.6	Wartungspodest				enthalten
2.1.7	Abspritzlanze				enthalten
2.1.8	Kran - Montage	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.1.9	Rührwerk Kontaktbecken	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.2: Tuchfiltration</b>				<b>465.600 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen	3	Stk.	8.500 €	25.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>35.500 €</b>

<b>2.3</b>	<b>PAK-Silo, Fällmitteldosierung</b>				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
2.3.2	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	330.000 €	330.000 €
2.3.3	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo</b>				<b>415.000 €</b>

<b>2.4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>921.100 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
3.1.1	MID DN 600	1	Stk.	15.000 €	15.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.3	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Scheibentuchfilter Anlage, PAK Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>62.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>62.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

Anhang

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
1.	<b>Summe Baukosten</b>				350.425 €
2.	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				921.100 €
3.	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				62.500 €
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				1.334.025 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				266.805 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				1.600.830 €
	Mehrwertsteuer 19%				304.158 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				1.904.988 €

**Variante 1.1b - PAK in Belegung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				350.425 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				921.100 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				62.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				1.334.025 €

1	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.504 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				27.633 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				32.387 €/a

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel (Nachfällung)	6,777 t/a		130 €/t	881 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	51,2 t/a		1500 €/t	76.871 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	56,5 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	57.253 €/Tuchwechsel	14.313 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				92.065 €/a

3	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.977.634 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,185€/kWh	13.772 €/a

## Anhang

	<b>Energiekosten Scheibentuchfilter</b>				
	Filterantrieb	0,9 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kWh/a		0,185€/kWh	91 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,185€/kWh	219 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,185€/kWh	73 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m <sup>3</sup> *m	0,185€/kWh	1.621 €/a
	<b>Rührwerk</b>				
	Beckenvolumen	100 m <sup>3</sup>			
	Energieeintrag	10 W/m <sup>3</sup>			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,185€/kWh	1.621 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>19.246 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	56 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	28%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	2832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2888 t/a		45,00 €/t	129.980 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>129.980 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	35 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,22 Stelle			
	Personalkosten	0,22 Stelle		45.000 €/Stelle	9.844 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>9.844 €/a</b>

Anhang

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				32.387 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				92.065 €/a
	Summe Energiebedarf				19.246 €/a
	Summe Schlammentsorgung				129.980 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>283.522 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				53.869 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>337.391 €</b>

**Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	60.242 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>60.242 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-16.629 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	37.651 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>37.651 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-39.219 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,14 €/kWh	10.422 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,14 €/kWh	69 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>14.564 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.681 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammentsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2888 t/a		30 €/t	86.654 €/a
	<b>Summe Schlammentsorgung</b>				<b>86.654 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-43.327 €/a</b>

Anhang

**Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m <sup>3</sup> /a	20 mg/l	1800 €/t	90.363 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>90.363 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>13.492 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m <sup>3</sup> /a	35 mg/l	1500 €/t	131.779 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>131.779 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>54.909 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,28 €/kWh	20.843 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,28 €/kWh	138 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,28 €/kWh	331 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m <sup>3</sup> *m	0,28 €/kWh	2.453 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>27.902 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>8.656 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2888 t/a		60 €/t	173.307 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>173.307 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>43.327 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Dyna-Sand Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Dyna-Sand Filter - Ablaufleitung KA, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung DS Filter: Schacht Abl.leitung - DS-Filter, DN 500	25	m	600 €	15.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	50	m	250 €	12.500 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>73.000 €</b>
<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	<b>190</b>	m <sup>3</sup>	400 €	76.000 €
1.2.5	Absetzbecken	<b>760</b>	m <sup>3</sup>	350 €	266.000 €
1.2.6	Dyna-Sand-Reaktor	<b>447</b>	m <sup>3</sup>	450 €	201.150 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>602.150 €</b>
<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR, FHM	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>

## Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	300	m <sup>2</sup>	100 €	30.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>138.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>863.150 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		60.421 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>923.571 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Rohrleitungen, Beckenausrüstung</b>				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	10	m	200 €	2.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
2.1.4	Absetzbecken techn. Ausrüstung	1	psch.	25.000 €	25.000 €
2.1.5	Räumer Absetzbecken	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung</b>	1	psch.	300.000 €	<b>87.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000 E, 10 Stk.	1	psch.	230.000 €	230.000 €
2.2.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.2.3	Sandlieferung (64 t)				enthalten
2.2.4	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
2.2.5	Verrohrung Innen				enthalten
2.2.6	Waschwasserreduzierung				enthalten
2.2.7	Drucksonde				enthalten
2.2.8	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.2.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>255.000 €</b>

Anhang

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	6.500 €	19.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>99.500 €</b>

<b>2.4</b>	<b>PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				
2.4.1	FHM Lager und Dosierstation	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
2.4.2	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
2.4.3	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	330.000 €	330.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				<b>445.000 €</b>

<b>2.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>7.500 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>894.000 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TTS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 600	2	Stk.	8.000 €	16.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>103.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>103.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>923.571 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>894.000 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>103.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.921.071 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				384.214 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>2.305.285 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				438.004 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.743.289 €</b>

Anhang

**Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration**

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwasserermenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwasserermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				923.571 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				894.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				103.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.921.071 €</b>
<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				9.236 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				26.820 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.070 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>38.126 €/a</b>
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	2.510.082 m³/a	5 mg/l	130 €/t	1.632 €/a
	Flockungshilfsmittel	2.510.082 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	1.255 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	6,777 t/a		130 €/t	881 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	25,6 t/a	10 mg/l	1500 €/t	38.400 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	25,6 t/a			
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>43.768 €/a</b>
<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerke - Energiebedarf (2 mal. Heb.)	5.487.716 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,185€/kWh	25.381 €/a
	<b>PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.510.082 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,185€/kWh	3.483 €/a

## Anhang

	<b>PAK-Entnahmepumpwerk</b> - Förderhöhe	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	2,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	3,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	19.851 m³/a	5 W/m³·m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	298 kWh/a		0,185€/kWh	55 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³·m	0,185€/kWh	2.269 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	<b>Räumer</b>	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,185€/kWh	324 €/a
	<b>Rührwerk</b>				
	Beckenvolumen	190 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,185€/kWh	3.079 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>38.669 €/a</b>
<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	26 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	51 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	28%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	2832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		45,00 €/t	130.896 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>130.896 €/a</b>

Anhang

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>11.250 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				38.126 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				43.768 €/a
	Summe Energiebedarf				38.669 €/a
	Summe Schlammentsorgung				130.896 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>262.708 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				49.915 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>312.623 €</b>

**Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	30.121 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>30.121 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.279 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	30.121 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>30.121 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.279 €/a</b>

Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,14 €/kWh	19.207 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,14 €/kWh	2.636 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	298 kWh/a		0,14 €/kWh	42 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,14 €/kWh	1.717 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,14 €/kWh	245 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,14 €/kWh	2.330 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>29.263 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-9.406 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		30 €/t	87.264 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>87.264 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-43.632 €/a</b>

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	45.181 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>45.181 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>6.781 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	75.302 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>75.302 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>36.902 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,28 €/kWh	38.414 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,28 €/kWh	5.271 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	298 kWh/a		0,28 €/kWh	83 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,28 €/kWh	3.434 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,28 €/kWh	491 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,28 €/kWh	4.660 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	9.977 kWh/a		0,28 €/kWh	2.793 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>57.947 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>19.278 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		60 €/t	174.528 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>174.528 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>43.632 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 1 - Mikorschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**

**Variante 1.b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf Kontakreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontakreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontakreaktor-Absetzbecken, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Tuchfilter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Tuchfilter - Ablaufleitung KA, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung ST Filter: Schacht Abl.leitung - ST-Filter, DN 500	25	m	600 €	15.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	50	m	250 €	12.500 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>73.000 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Kontakreaktor	<b>190</b>	m <sup>3</sup>	400 €	76.000 €
1.2.5	Absetzbecken	<b>760</b>	m <sup>3</sup>	350 €	266.000 €
1.2.6	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	162	m <sup>3</sup>	450 €	72.900 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>473.900 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Tuchfilteranlagen-Technik, EMSR, FHM	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>40.000 €</b>

## Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	300	m²	100 €	30.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>138.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>724.900 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		50.743 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>775.643 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Rohrleitungen, Beckenausrüstung</b>				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	50	m	100 €	5.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	4.000 €	12.000 €
2.1.4	Absetzbecken techn. Ausrüstung	1	psch.	25.000 €	25.000 €
2.1.5	Räumer Absetzbecken	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung</b>	<b>1</b>	<b>psch.</b>	<b>300.000 €</b>	<b>87.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Scheibentuchfilter</b>				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF12/60, 24 Filter Scheiben	1	psch.	340.000 €	340.000 €
2.2.2	Prallwand, Tauchwand				enthalten
2.2.3	Filterreinigungssystem				enthalten
2.2.4	Filterantrieb				enthalten
2.2.5	Sammelleitung				enthalten
2.2.6	Wartungspodest				enthalten
2.2.7	Abspritzlanze				enthalten
2.2.8	Kran - Montage	1	psch.	3.500 €	3.500 €
	<b>Summe 2.2: Tuchfiltration</b>				<b>343.500 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>102.500 €</b>

Anhang

<b>2.4</b>	<b>PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				
2.4.1	FHM Lager und Dosierstation	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
2.4.2	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
2.4.3	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	330.000 €	330.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				<b>445.000 €</b>

<b>2.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>985.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 600	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>107.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>107.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>775.643 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>985.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>107.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.868.643 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				373.729 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>2.242.372 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				426.051 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.668.422 €</b>

Anhang

**Variante 1.2.b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration**

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwasseremenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				775.643 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				985.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.868.643 €</b>
<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				7.756 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				29.565 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.150 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>39.471 €/a</b>
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	2.510.082 m³/a	5 mg/l	130 €/t	1.632 €/a
	Flockungshilfsmittel	2.510.082 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	1.255 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	6,777 t/a		130 €/t	881 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	25,6 t/a	10 mg/l	1500 €/t	38.400 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	25,6 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	23.419 €/Tuchwechsel	5.855 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>48.022 €/a</b>
<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerke - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf (2 mal. Heb.)	5.487.716 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,185€/kWh	25.381 €/a
	<b>PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.510.082 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,185€/kWh	3.483 €/a

## Anhang

	<b>PAK-Entnahmepumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	2,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	3,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	251.008 m³/a	5 W/m³·m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.765 kWh/a		0,185€/kWh	697 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³·m	0,185€/kWh	2.269 €/a
	<b>Räumer</b>	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,185€/kWh	324 €/a
	<b>Rührwerk</b>				
	Beckenvolumen	190 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,185€/kWh	3.079 €/a
	<b>Energiekosten Scheibentuchfilter</b>				
	Filterantrieb	1,1 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,185€/kWh	111 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,6 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,185€/kWh	219 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,185€/kWh	73 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>37.485 €/a</b>
<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	26 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	51 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	28%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	2832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		45,00 €/t	130.896 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>130.896 €/a</b>

Anhang

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	35 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>11.250 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				39.471 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				48.022 €/a
	Summe Energiebedarf				37.485 €/a
	Summe Schlammentsorgung				130.896 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>267.125 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				50.754 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>317.879 €</b>

**Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	30.121 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>30.121 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.279 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	30.121 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>30.121 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.279 €/a</b>

Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,14 €/kWh	19.207 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,14 €/kWh	2.636 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.765 kWh/a		0,14 €/kWh	527 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,14 €/kWh	1.717 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,14 €/kWh	245 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,14 €/kWh	2.330 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,14 €/kWh	84 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>28.367 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-9.118 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		30 €/t	87.264 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>87.264 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-43.632 €/a</b>

**Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	45.181 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>45.181 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>6.781 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.510.082 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	75.302 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>75.302 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>36.902 €/a</b>

## Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	137.193 kWh/a		0,28 €/kWh	38.414 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	18.826 kWh/a		0,28 €/kWh	5.271 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.765 kWh/a		0,28 €/kWh	1.054 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,28 €/kWh	3.434 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,28 €/kWh	491 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	16.644 kWh/a		0,28 €/kWh	4.660 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,28 €/kWh	169 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,28 €/kWh	331 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>56.734 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>19.249 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2909 t/a		60 €/t	174.528 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>174.528 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>43.632 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)**

**Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration**

**Kostenannahme - Investitionskosten** (netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf DS-Reaktor: Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 600	15	m	700 €	10.500 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - DS-C Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - DS und DS-C Filter - Ablaufleitung KA, DN 600	35	m	700 €	24.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand-Carbon Anlage, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>65.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Carbon Reaktor	<b>447</b>	m <sup>3</sup>	450 €	201.150 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	<b>447</b>	m <sup>3</sup>	450 €	201.150 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>431.300 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle - GAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.2	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.3	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	30.000 €	30.000 €
1.4.5	Straßen, Wege	<b>200</b>	m <sup>2</sup>	100 €	20.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>75.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>621.800 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

## Anhang

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		43.526 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>665.326 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Dyna-Sand Carbon Filtration</b>				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000E, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
2.1.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.1.3	Aktivkohlelieferung (78t)				enthalten
2.1.4	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
2.1.5	Verrohrung Innen				enthalten
2.1.6	Waschwasserreduzierung				enthalten
2.1.7	Drucksonde				enthalten
2.1.8	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.1.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>265.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 10 Stk.	1	psch.	230.000 €	230.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	17.000 €	17.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>257.000 €</b>

## Anhang

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	2	psch.	10.000 €	20.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>65.000 €</b>

<b>2.4</b>	<b>Dosieranlagen</b>				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	<b>80.000 €</b>
<b>2.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>7.500 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>674.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	SAK Messung	2	Stk.	20.000 €	40.000 €
3.1.2	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	MID DN 400	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	7.000 €	7.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand, Dyna-Sand Carbon Anlage	1	Stk.	45.000 €	45.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>105.000 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>105.000 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>665.326 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>674.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>105.000 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.444.826 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				288.965 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.733.791 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				329.420 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.063.212 €</b>

Anhang

### Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

#### Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassereremenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				665.326 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				674.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				105.000 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.444.826 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				6.653 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				20.235 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.100 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>28.988 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel (Nachfällung)	6,777 t/a		130 €/t	881 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	<b>15.768 BV/a</b>			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/Füllung	1,6 Füllung/a	1300 €/t	159.888 €/a
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>162.369 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe</b>	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.977.634 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,185€/kWh	16.526 €/a

## Anhang

	<b>Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe</b>	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.510.082 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	75.302 kWh/a		0,185€/kWh	13.931 €/a
	<b>Kompressorstationen</b>	11,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,185€/kWh	4.457 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>36.763 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>0 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	30 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,19 Stelle			
	Personalkosten	0,19 Stelle		45.000 €/Stelle	8.438 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>8.438 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				28.988 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				162.369 €/a
	Summe Energiebedarf				36.763 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				8.438 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>236.558 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				44.946 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>281.504 €</b>

Anhang

**Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,6 Füllung/a	1100 €/t	135.289 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>135.289 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-27.079 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,21 Füllung/a	1300 €/t	122.990 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>122.990 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-39.378 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,14 €/kWh	12.506 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,14 €/kWh	12.506 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,14 €/kWh	3.373 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>29.785 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-6.979 €/a</b>

**Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,6 Füllung/a	1600 €/t	196.785 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>196.785 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>34.416 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	2,25 Füllung/a	1300 €/t	228.411 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>228.411 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>66.042 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,28 €/kWh	25.012 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,28 €/kWh	25.012 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,28 €/kWh	6.745 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>59.569 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.806 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)**

**Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf DS-Reaktor: Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - Adsorberstufe, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.5	Ablauf: DS Filter, Adsorberstufe - Ablaufleit.KA, DN 600 /400	35	m	700 €	24.500 €
1.1.5	Zulaufleitung Spülwasser Festbettfilter	75	m	200 €	15.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Festbettfilter, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>79.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Schacht - Entnahme Spülwasser	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	447	m <sup>3</sup>	450 €	201.150 €
1.2.6	Spülwasserspeicher (pausch. mit Zuleitungen)	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
1.2.7	MD-Schacht (Zulauf)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>320.150 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle, Container - GAK, Festbettfilter Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
1.3.2	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>

Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.11	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Fundament Festbettfilter	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	250	m <sup>2</sup>	100 €	25.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Adsorber	118	t	1.300 €	153.400 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>247.900 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>697.550 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		48.829 €

<b>1</b>	<b>Summe Baukosten:</b>				<b>746.379 €</b>
----------	-------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Schwerkraftfilter</b>				
2.1.1	Festbettfilter 4 Stk.	4	Stk.	60.000 €	240.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>260.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 4 Stk.	1	psch.	120.000 €	120.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>145.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpwerk, Spülwasserpumpwerk	9	Stk.	6.500 €	58.500 €
2.2.2	Gebälse	4	Stk.	7.500 €	30.000 €
2.2.3	Armaturen, Schieber	1	psch.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>113.500 €</b>

## Anhang

<b>2.3</b>	<b>Dosieranlagen</b>				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	70.000 €	<b>70.000 €</b>
<b>2.4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>10.000 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>598.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	SAK Messung	2	Stk.	20.000 €	40.000 €
3.1.2	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	MID DN 400	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Festbettfilter, Dyna-Sand Filter	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>103.000 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>103.000 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>746.379 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>598.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>103.000 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.447.879 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				289.576 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.737.454 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				330.116 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.067.570 €</b>

## Anhang

**Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**
**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwasseremenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				746.379 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				598.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				103.000 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.447.879 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				7.464 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				17.955 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.060 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>27.479 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel (Nachfällung)	6.777 t/a		130 €/t	881 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	<b>10.459 BV/a</b>			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	118 t/Füllung	1,0 Füllung/a	1300 €/t	159.897 €/a
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>162.378 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe</b>	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.977.634 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,185€/kWh	16.526 €/a

## Anhang

	<b>Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe</b>	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.510.082 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	75.302 kWh/a		0,185€/kWh	13.931 €/a
	<b>Spülwasserpumpen - Förderhöhe</b>	5,0 m			
	Spülwasserpumpen - Verluste	1,0 m			
	Spülwasserpumpen - Manometrische Förderhöhe	6,0 m			
	Laufzeit pro Tag (bezogen auf Filteranlage)	0,5 h/d			
	Spülwassermenge	80 l/s	288 m³/h		
	Fördermenge, spez. Energiebedarf	52.560 m³/a	5 W/m³*m		
	Spülwasserpumpwerk Pumpkosten	1.577 kWh/a		0,185€/kWh	292 €/a
	<b>Spülluftgebläse</b>	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	0,5 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a			0 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>34.827 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>0 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	35 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,22 Stelle			
	Personalkosten	0,22 Stelle		45.000 €/Stelle	9.844 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>9.844 €/a</b>

Anhang

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				27.479 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				162.378 €/a
	Summe Energiebedarf				34.827 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>234.528 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				44.560 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>279.088 €</b>

**Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,6 t/a	1,0 Füllung/a	1100 €/t	135.298 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>135.298 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-27.081 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,6 t/a	0,80 Füllung/a	1300 €/t	122.998 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>122.998 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-39.380 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,14 €/kWh	12.506 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,14 €/kWh	12.506 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,14 €/kWh	256 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,14 €/kWh	221 €/a
	Kompressorstation	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>28.575 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-6.252 €/a</b>

Anhang

**Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,6 t/a	1,0 Füllung/a	1600 €/t	196.797 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>196.797 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>34.418 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,6 t/a	1,5 Füllung/a	1300 €/t	228.425 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>228.425 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>66.046 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,28 €/kWh	25.012 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	89.329 kWh/a		0,28 €/kWh	25.012 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,28 €/kWh	511 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,28 €/kWh	442 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>53.777 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>18.950 €/a</b>

Anhang

**Kläranlage Geseke**

**Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren**

**Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Ozonreaktor: Schacht Abl. Leitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	700 €	3.500 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Dyna-Sandreaktor: Ozonreaktor - Zwischenpumpwerk-DS-Reaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Zulauf RW Dyna-Sand-Reaktor: Abl.leitung - DS-Filter , DN 600	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS -Ablauf KA, DN 600	10	m	700 €	7.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>52.000 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung (Umbau)	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
1.2.4	Ozonreaktor	<b>180</b>	m <sup>3</sup>	550 €	99.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	<b>447</b>	m <sup>3</sup>	450 €	201.150 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>329.150 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	1	psch.	35.000 €	<b>35.000 €</b>
1.3.2	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	40.000 €	<b>40.000 €</b>
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>75.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente Silo, Kühler	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Sauerstofftank - Miettank (in O2-Lieferung enthalten)	1	psch.	0 €	0 €
1.4.3	Fundament Fertigcontainer	2	psch.	7.000 €	14.000 €
1.4.4	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.6	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	200	m <sup>2</sup>	100 €	20.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>81.000 €</b>

Anhang

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>537.150 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		37.601 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>574.751 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Ozonerzeugeranlage</b>				
2.1.1	Ozongenerator				
2.1.2	Ozoneintragssystem - Diffusorensysteme, autom. Gasverteilung				
2.1.3	Stickstoffdotierung, Kompressor				
2.1.4	Restozonvernichter				
2.1.5	Kühlwasser Versorgung.				
2.1.6	Verbindende Rohrleitungen				
2.1.7	Transport, Inbetriebnahme				
	<b>Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage</b>	<b>1</b>	<b>psch.</b>	<b>440.000 €</b>	<b>440.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 10 Stk.	1	psch.	230.000 €	230.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	8.000 €	8.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>253.000 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>55.000 €</b>

<b>2.4</b>	<b>Dosieranlagen</b>				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €

Anhang

<b>2.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>7.500 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>835.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	Ozon-, Sauerstoff-Umgebungsmessung				in 2.1 enthalten
3.1.3	C(O3) - Messung Abgas				in 2.1 enthalten
3.1.4	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.5	Lokale SPS				in 2.1 enthalten
3.1.6	MID DN 400	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
3.1.7	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.8	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>90.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>90.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>574.751 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>835.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>90.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.500.751 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				300.150 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.800.901 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				342.171 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.143.072 €</b>

Anhang

**Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassereremenge	2.977.634 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.510.082 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				574.751 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				835.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				90.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.500.751 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.748 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				25.065 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.810 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>32.623 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel (Nachfällung)	6,777 t/a		130 €/t	881 €/a
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	Sauerstoff	301.694 kgO2/a		200 €/t	60.339 €/a
	Ozon	30.169 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>62.820 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.510.082 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	62.752 kWh/a		0,185€/kWh	11.609 €/a
	<b>Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.977.634 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,185€/kWh	13.772 €/a

Anhang

	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	<b>Ozonng</b>				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	<b>32 kW</b>			
	Lastfaktor (Teillast)		<b>0,95</b>		
	Energiebedarf Ozonung	266.304 kWh/a		0,185€/kWh	49.266 €/a
	spez. Energiebedarf	11 kWh/kgO3			
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,185€/kWh	1.850 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>78.725 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>0 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>11.250 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				32.623 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				62.820 €/a
	Summe Energiebedarf				78.725 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>185.418 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				35.229 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>220.647 €</b>

Anhang

**Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	301.694 kgO <sub>2</sub> /a		150 €/t	45.254 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>45.254 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-15.085 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (8 mgO <sub>3</sub> /l)	201.129 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	40.226 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>40.226 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-20.113 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	62.752 kWh/a		0,14 €/kWh	8.785 €/a
	Energiebedarf Ozonung	266.304 kWh/a		0,14 €/kWh	37.283 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,14 €/kWh	10.422 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>59.576 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-19.149 €/a</b>

**Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>1</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	301.694 kgO <sub>2</sub> /a		300 €/t	90.508 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>90.508 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>30.169 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (16 mgO <sub>3</sub> /l)	402.259 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	80.452 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>80.452 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>20.113 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	62.752 kWh/a		0,28 €/kWh	17.571 €/a
	Energiebedarf Ozonung	266.304 kWh/a		0,28 €/kWh	74.565 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	74.441 kWh/a		0,28 €/kWh	20.843 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,28 €/kWh	3.373 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>119.152 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>40.426 €/a</b>

### **13.4 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination**

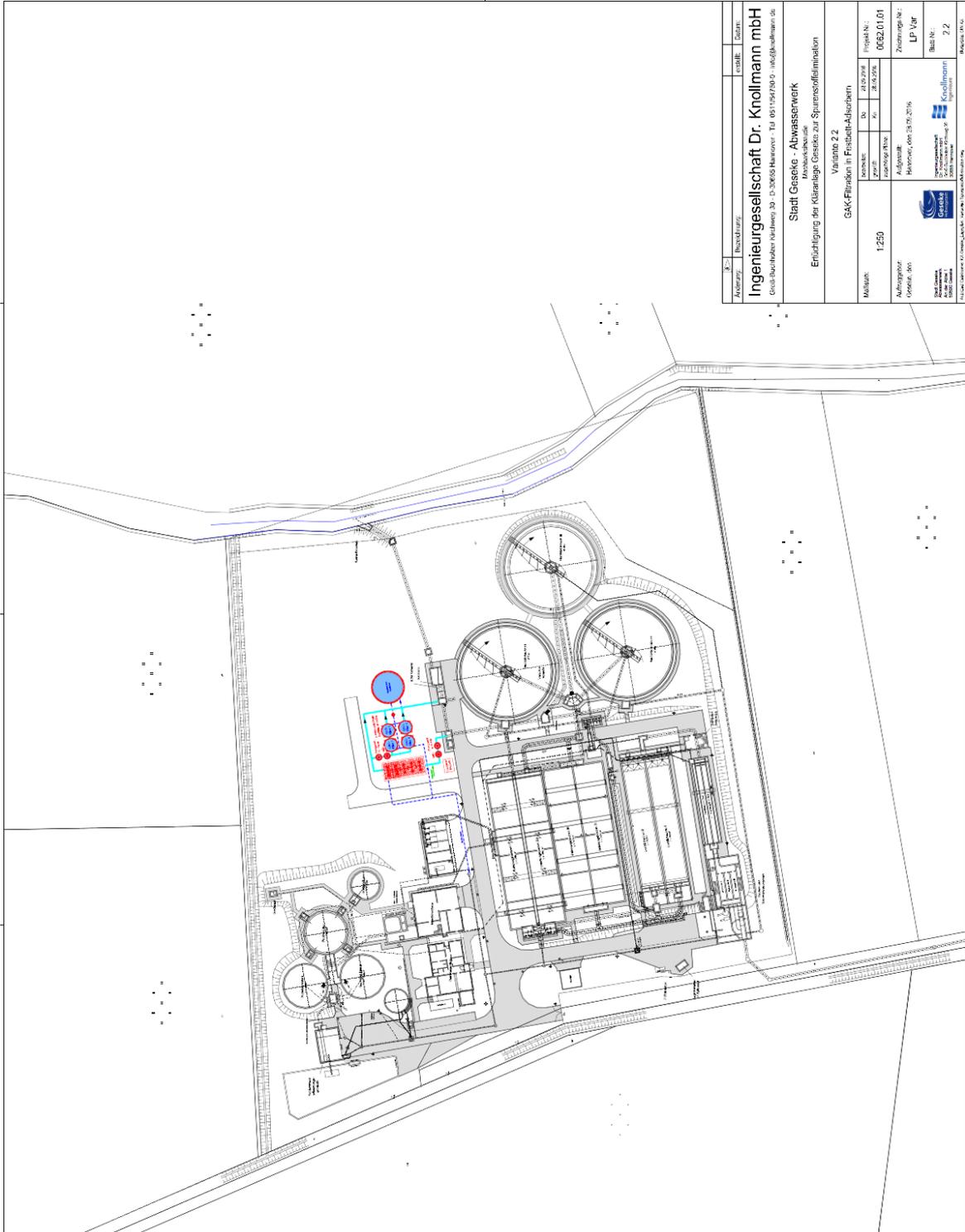
- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter





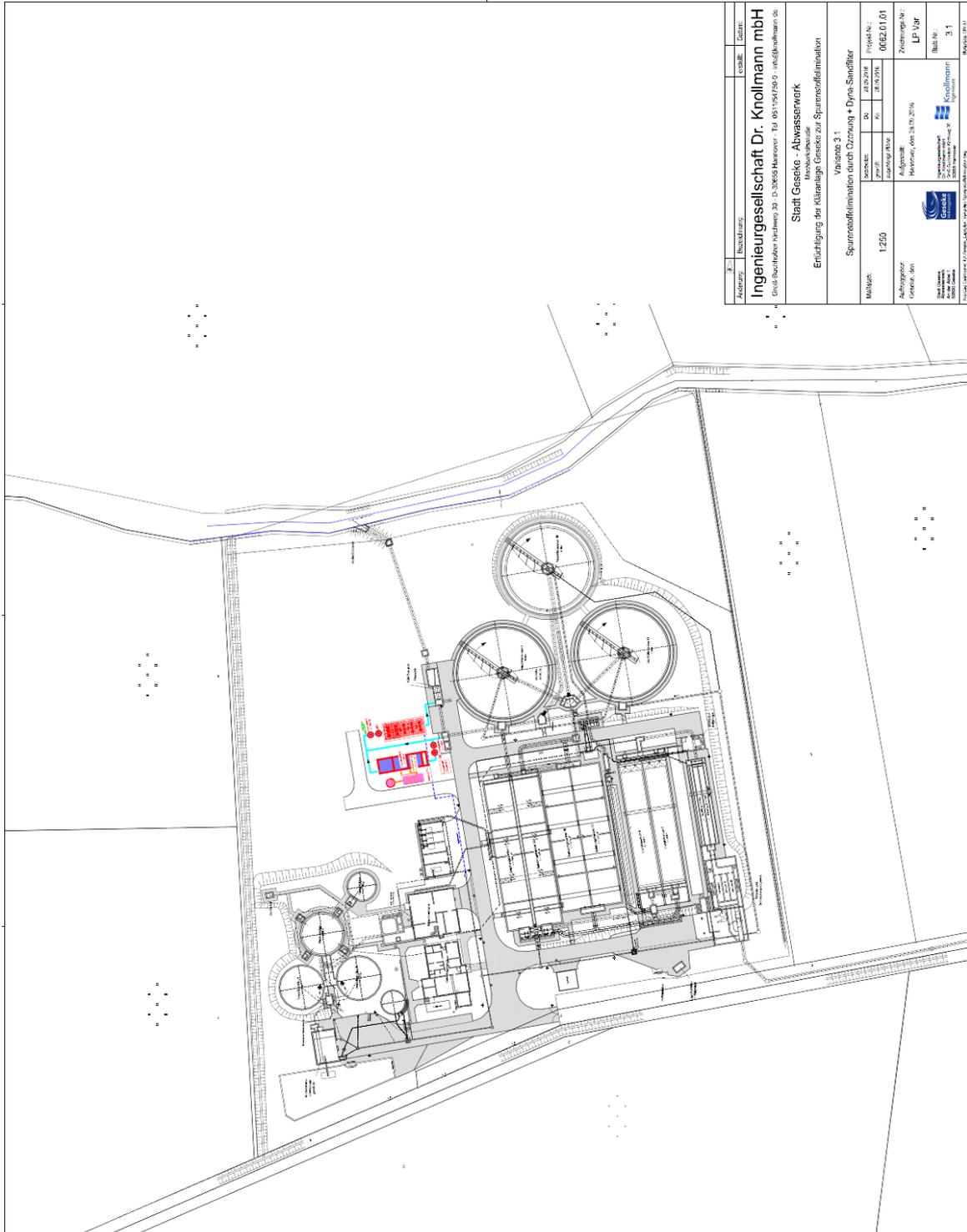


Planunterlagen



Arbeits- zeichnung	Bestandteil	Stand:
<b>Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH</b> Geschäftsbüro Kühlen 33 037660 Heister - Tel 0517-947010 - info@knollmann.de		
Stadt Geseke - Abwasserwerk Mehrschichtanlage Erdbehebung der Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination		
Variante 2.2 GAK-Filtration in Freisetzt-Adsorbieren		
Maßstab:	DN:	Projekt-Nr.:
1:250	200/200	0022.01.01
Auftraggeber:	Zustell-Nr.:	Zustellungsdkt.:
Geseke den	26.06.2016	LP V04
Blatt-Nr.:	Blatt-Nr.:	
2/2	2/2	

Planunterlagen



Projekt-Nr.	Bestandteil	Vertrag	Zeichn.
<b>Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH</b> Groß-Bauhofstr. 20 · D-38658 Heimerzen · Tel. 051-954799-0 · info@knollmann.de			
<b>Stadt Geseke - Abwasserwerk</b> Erweiterung der Kläranlage Geseke zur Spurenstoffelimination			
Variante 3.1 Spurenstoffelimination durch Ozonung + Dyno-Sandfilter			
Maßstab:	Blatt-Nr.:	Projekt-Nr.:	
1:250	11	0062.01.01	
Zeichnungs-Nr.:	Blatt-Nr.:	Projekt-Nr.:	
LP-Vor	3.1	0062.01.01	
Auftraggeber: Stadt Geseke Hellweg, 38.70.2016			