



Abwasserentsorgung Stadt Rahden

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

Ertüchtigung der Kläranlage Rahden zur Elimination von Spurenstoffen

November 2016

gefördert durch:

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



Impressum

Auftraggeber: Abwasserentsorgung - Stadt Rahden
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	Allgemeines	7
3.2	EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	8
3.3	Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	10
3.4	Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen	11
3.5	Umsetzung des Bewirtschaftungsplanes der Weser (2016 – 2012)	13
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung	15
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination	17
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	17
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	21
5.3	Oxidation mit Ozon (O ₃)	23
5.3.1	Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung	25
5.4	Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe	26
5.5	Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren	28
5.6	Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	29
5.6.1	Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination	30
5.7	Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination	34
6	Kläranlage Rahden	40
6.1	Kurzbeschreibung Kläranlage	40
6.2	Situation Gewässer	49
7	Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse	53
8	Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Rahden zur Spurenstoffelimination	57
8.1	Vorhandene Erweiterungsfläche	58
8.2	Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen	59
8.3	Variante 1. 1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe	60



Inhaltsverzeichnis

8.3.1	Verfahrensbeschreibung	60
8.3.2	Vordimensionierung	65
8.3.3	Diskussion Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung	65
8.4	Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	66
8.4.1	Verfahrensbeschreibung	66
8.4.2	Vordimensionierung	70
8.4.3	Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	70
8.5	Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter	71
8.5.1	Verfahrensbeschreibung	71
8.5.2	Vordimensionierung	75
8.5.3	Diskussion Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)	76
8.6	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe	77
8.6.1	Verfahrensbeschreibung	77
8.6.2	Vordimensionierung	79
8.6.3	Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)	80
8.7	Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter	81
8.7.1	Verfahrensbeschreibung	81
8.7.2	Vordimensionierung	86
8.7.3	Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Dyna-Sand Filtration	87
9	Wirtschaftlichkeitsvergleich	88
9.1	Investitionskosten	88
9.2	Betriebskosten	90
9.3	Jahreskosten	95
9.4	Sensitivitätsanalyse	101
10	Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination	106
11	Zusammenfassung und Empfehlung	111
12	Literatur	113
13	Anhang	119



Inhaltsverzeichnis

13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	119
13.2	Abwassertechnische Berechnungen	121
13.3	Kostenannahme	132
13.4	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	177



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]	18
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	19
Bild 5:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]	20
Bild 6:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	21
Bild 7:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)	22
Bild 8:	Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration	23
Bild 9:	Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration	23
Bild 10:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage	24
Bild 11:	Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	26
Bild 12:	Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	27
Bild 13:	Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	27
Bild 14:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]	29
Bild 15:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]	30
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	36
Bild 17:	Schematischer Lageplan Kläranlage Rahden [Schumacher, 1996]	41
Bild 18:	Lageplan Kläranlage Rahden, verbindende Rohrleitungen [Dinnendahl, 1993]	41
Bild 19:	Belebungsbecken, innen liegende Nachklärung (links, rechts)	42
Bild 20:	Schlamm Speicher 3 (links), Schlamm Speicher 1, 2 (rechts)	42
Bild 21:	Speicherbecken, Dosierstation (links), Ablaufschacht Kläranlage (rechts)	42
Bild 22:	Zufluss Kläranlage Rahden – Trocken-, Regenwetter (01.2013 - 10.2015)	43
Bild 23:	Zufluss Kläranlage Rahden – Trockenwetter (01.2013 - 10.2015)	44



Abbildungsverzeichnis

Bild 24:	Histogramm - Summenhäufigkeit - Zufluss Schmutzwasser Kläranlage Rahden – Trockenwetter (01.2013 – 10.2015)	44
Bild 25:	P _{ges} -Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2013 – 10.2015)	45
Bild 26:	Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_WES_1000 Große Aue [MKULNV NRW, 2015]	49
Bild 27:	Lage Kläranlage Rahden am Gewässer „Kleine Aue“	50
Bild 28:	Gewässerzustand Kleine Aue (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]	52
Bild 29:	Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung	55
Bild 30:	Luftbild KA Rahden, potentielle Erweiterungsflächen (Quelle: ELWAS-WEB)	58
Bild 31:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1	60
Bild 32:	Lageplan KA Rahden West - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung	61
Bild 33:	Lageplan KA Rahden - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna- Sand Filtration Ablauf Nachklärung	62
Bild 34:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	64
Bild 35:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2 (DS Filtration)	67
Bild 36:	Lageplan KA Rahden - Variante 1.2 – PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	69
Bild 37:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1	72
Bild 38:	Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Nordic Water)	73
Bild 39:	Dyna-Sand Carbon Filtration KA Rietberg (Bauphase) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)	73
Bild 40:	Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)	74
Bild 41:	Lageplan KA Rahden - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	75
Bild 42:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2	77
Bild 43:	Lageplan KA Rahden - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe	78
Bild 44:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1	81
Bild 45:	Lageplan KA Rahden - Variante 3.2 – Ozonung mit nachgeschalteter Dyna- Sand Filtration	82
Bild 46:	Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)	83
Bild 47:	Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)	84
Bild 48:	Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)	85
Bild 49:	Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)	89



Abbildungsverzeichnis

Bild 50:	Jährliche Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	93
Bild 51:	Jährliche Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammensorgungskosten (brutto)	94
Bild 52:	Jahreskosten – ohne Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	97
Bild 53:	Jahreskosten – mit Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	99
Bild 54:	Jahreskosten – mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	100
Bild 55:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, mit Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)	103
Bild 56:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, mit Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)	104



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [BAFU., 2012]	15
Tabelle 2: Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren bezüglich der Elimination ausgewählter Spurenstoffe [Bolle et al., 2011]	28
Tabelle 3: Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	37
Tabelle 4: Planungsdaten Kläranlage Rahden (ELWAS-WEB, Entwurf [Dinnendahl, 1993])	43
Tabelle 5: Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Rahden (2013 – 2015)	46
Tabelle 6: Auslegung – Spurenstoffelimination	48
Tabelle 7: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Rahden (09.12 – 10.12.2015, 07.05.2012 – 10.05.2012) und im Gewässer (Kleine Aue) (01.10.2015)	54
Tabelle 8: Spurenstoffkonzentrationen KA Rahden im Vergleich anderen Kläranlagen	56
Tabelle 9: Bemessungswassermengen - Spurenstoff-Behandlungsstufe (Mittel 2013-2015)	59
Tabelle 10: Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)	65
Tabelle 11: Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe	70
Tabelle 12: Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	75
Tabelle 13: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe	79
Tabelle 14: Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter	86
Tabelle 15: Zusammenstellung Investitionskosten	88
Tabelle 16: Zusammenstellung Betriebskosten mit und ohne Schlamm Entsorgungskosten	92
Tabelle 17: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)	96
Tabelle 18: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70 %, mit und ohne Schlamm Entsorgungskosten)	98
Tabelle 19: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter	101
Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto)	102
Tabelle 21: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	107



1. Veranlassung

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 [Ozonia, 2010]. 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 eingestuften anthropogenen Spurenstoffen, 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 Weser 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 Rahden hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt, um die Erweiterung der bestehenden Kläranlage Rahden zur Spurenstoffelimination zu untersuchen.

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

Mit der Ausarbeitung von möglichen Maßnahmen zur Aus- und Umrüstung der Kläranlage Rahden 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 oder einem Festbett Adsorber
- Ozonung in Verbindung mit einer Dyna-Sand Filtration

Teil der Untersuchung waren Abwasseruntersuchungen zu Spurenstoffen, Bemessung /Dimensionierung 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 Kläranlagenerneuerungen 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

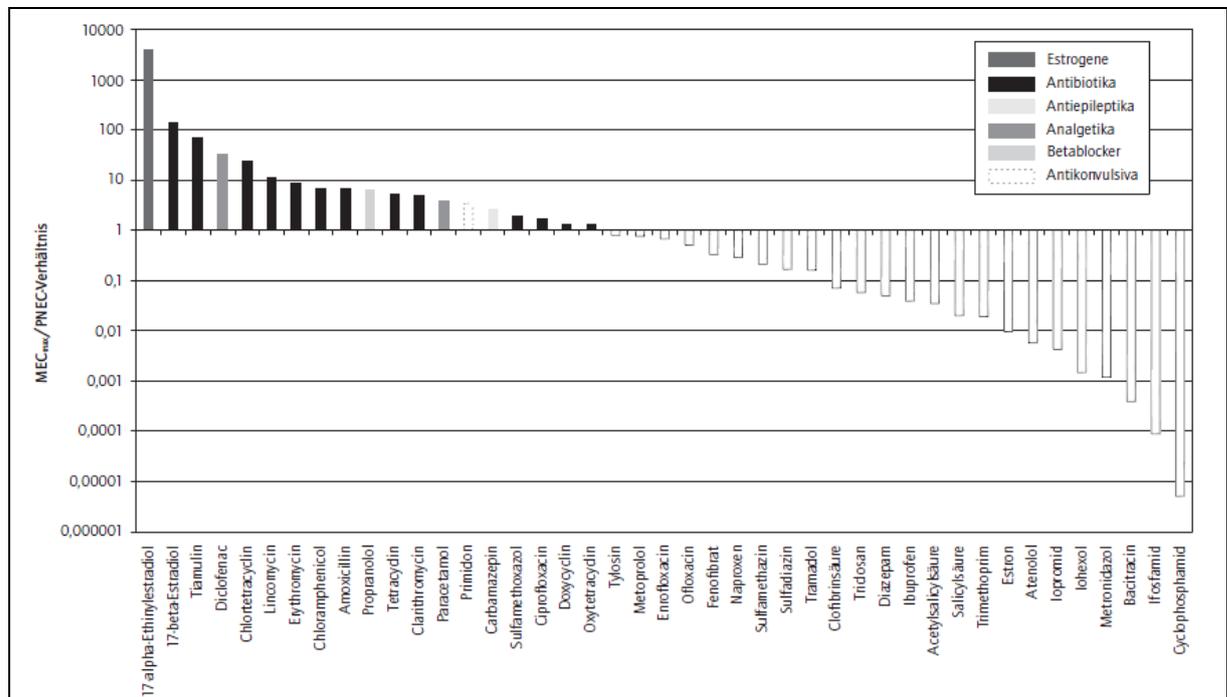


Bild 1: MEC/PNEC-Verhältnis für Arzneistoffe in deutschen Oberflächengewässern [Bergmann, 2011]

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

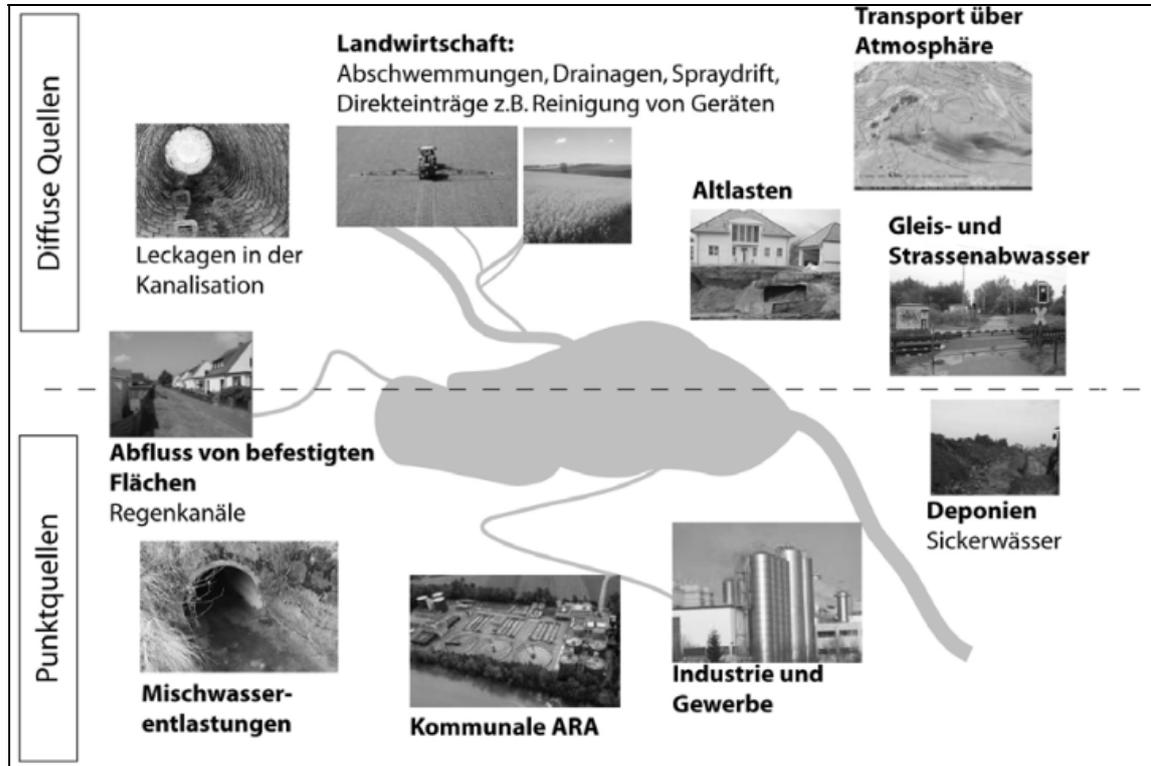


Bild 2: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [Götz et al., 2010]



3 Rechtliche Belange und Grenzwerte

3.1 Allgemeines

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 zusammen zu fassen [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,



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

dass 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 (link einfügen) 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.

3.2 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 α -Ethinylöstradiol und 17 β -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-4-methylphenol (Kosmetika) und 2-Ethylhexy-4-methoxycinnamat (Sonnencremes) aufgeführt.



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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]

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].

3.3 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].



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

Die EU-Richtlinie 2013/39/EU hat für weitere prioritäre Stoffe Umweltqualitätsnormen für insgesamt 45 prioritäre Stoffe festgelegt, die in die Neufassung der OGWV vom 20.06.2016 (Anlage 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 1 WHG abweichen

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

3.4 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 Bewirtschaftungsplan 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



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

MUNLV (2009). Besondere Bedeutung hat der Anhang D4 mit den Bewertungsgrundlagen für die in Oberflächengewässern untersuchten Parameter.

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:

http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4

Der Konzentrationswert für synthetische organische Schadstoffe von < 0,1 µg/l pro Einzelstoff wird in Nordrhein-Westfalen generell als allgemeiner Versorgungswert (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 Arzneimitteleintrag 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.



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

Durch Anreizsysteme wird die Umsetzung von Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen auf Basis von freiwilligen Maßnahmen gefördert. Bei festgestellten Belastungsschwerpunkten (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“.

3.5 Umsetzung des Bewirtschaftungsplanes der Weser (2016 – 2012)

Die Umsetzung von Bewirtschaftungsplänen wird von der Bezirksregierung Detmold wie folgt bewertet, begründet und durchgeführt [Sürder, 2016; ergänzt]:

Im Rahmen der Aufstellung der Bewirtschaftungsplanung NRW nach §§ 82, 83 WHG, der Gewässeraufsicht nach § 100 WHG, § 116 LWG sowie im Rahmen der Neuerteilung von Erlaubnissen zur Einleitung von Stoffen in das Gewässer (§§ 9 Abs. 1 Nr. 4, 10 ff WHG) hat nunmehr die Bewirtschaftungsbehörde verschiedene Prüfschritte durchgeführt.

Diese haben im Einzugsgebiet der Weser und ihrer Nebengewässer dazu geführt, dass der seit Dezember 2015 behördenverbindlich geltende Bewirtschaftungsplan NRW 2016-2021 für



3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

den Bereich der Weser bei mehreren Kläranlagen grundsätzlich den Bau einer 4. Reinigungsstufe vorsieht.

Die Ergebnisse des Monitorings nach § 9 OGewV zeigen, dass der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial im Einzugsgebiet der Weser nicht erreicht werden. Es werden Mikroschadstoffe nachgewiesen, die in der Anlage 5 der OGewV zwar nicht geregelt sind, für die aber die Anlage D4 des Monitoringleitfadens NRW Umwelt Konzentrationswerte enthält, bei deren Überschreitung die aquatische Biozönose möglicherweise geschädigt wird.

Für bestimmte Mikroschadstoffe liegen Studien vor, die eine Schädigung bestimmter trophischer Ebenen (Bakterien, Algen und höhere Pflanzen, Makrozoobenthos oder Fische) exemplarisch belegen. Ein Stoffflussmodell zeigt, dass die vorgefundenen Mikroschadstoffe ganz überwiegend über die Kläranlagen aus dem kommunalen Abwasser in die Gewässer gelangen und dort verbreitet wirksame Konzentrationen unterschiedlicher Stoffe aus dieser Gruppe auftreten. Die betreffenden Konzentrationswerte sind gemäß den Ergebnissen des Monitorings überschritten.

Die zuständige Bewirtschaftungsbehörde kann im Rahmen des ihr zustehenden Ermessens in einer Erlaubnis gemäß § 13, Abs. 2 Nr. 2 Buchstabe a) WHG Regelungen - z. B. den Bau der 4. Reinigungsstufe- als Nebenbestimmung anordnen.



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 zeigt [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
Carbamezepin	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 ^{a)}	< 60 ^{b)}	96 ± 7	87 ± 20	30
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel	2480 ± 2232 ^{a)}	< 200 – > 4000	23 ± 20	0 ± 0	2
Iopromid	Röntgenkontrastmittel	5860 ± 2852 ^{a)}	< 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 ^{a)}	118 ± 48 ^{a)}	36 ± 17	39 ± 38	29
Bisphenol A	Industriechemikalie	1470 ± 1540 ^{a)}	290 ± 270	73 ± 27	73 ± 19	6
Ethinylestradiol	Kontrazeptivum	k.D.	2 ± 2	k.D.	89 ± 9	4
Nonylphenol	Industriechemikalie	2640 ± 2960 ^{a)}	640 ± 540	67 ± 26	67 ± 12	5
Mittelwert				47	50	

^{a)} Mittelwert ARA Regensburg und ARA Lausanne; ^{b)} ARA Regensburg; Literaturwerte aus: Batt et al. 2007, Bernhard et al. 2006, Carballa 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 verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Ablauf der Kläranlagen zu finden sind, da sie einem Abbau in der kommunalen Kläranlage nicht zugänglich sind.



4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

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 / granulierte 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-Adsorbentien, 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

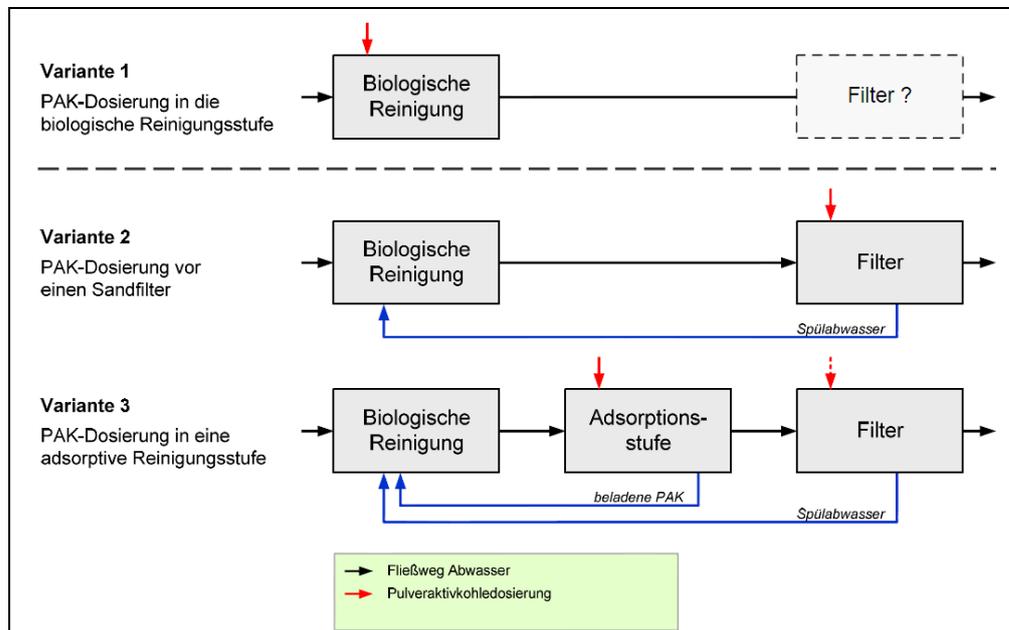


Bild 3: Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung Quellen [Benstörm et al., 2015]

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 Belebungsanlage lediglich durch eine Dosiereinrichtung und eine Lagerstätte für die Pulveraktivkohle zu erweitern ist. Ggf. ist zusätzlich eine Filtration nachzuschalten.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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 Überschussschle auf Schlammwässerung
- Ökonomisch realisierbare PAK-Dosierung von 10 bis 20 mg/l

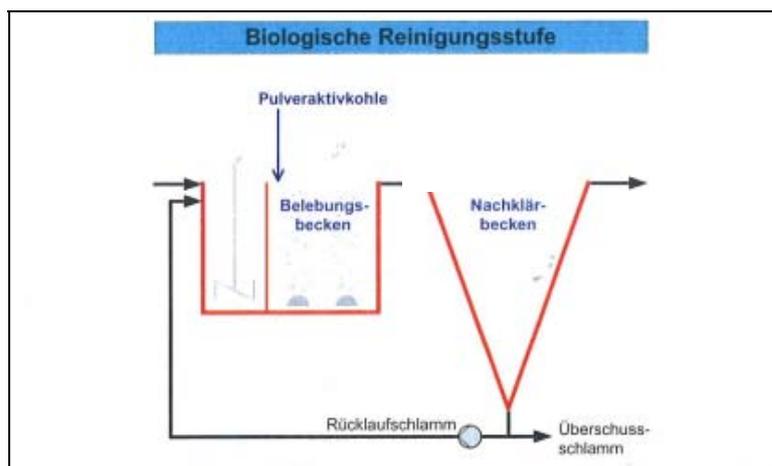


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

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 PAK wird mit dem Spülwasser 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.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

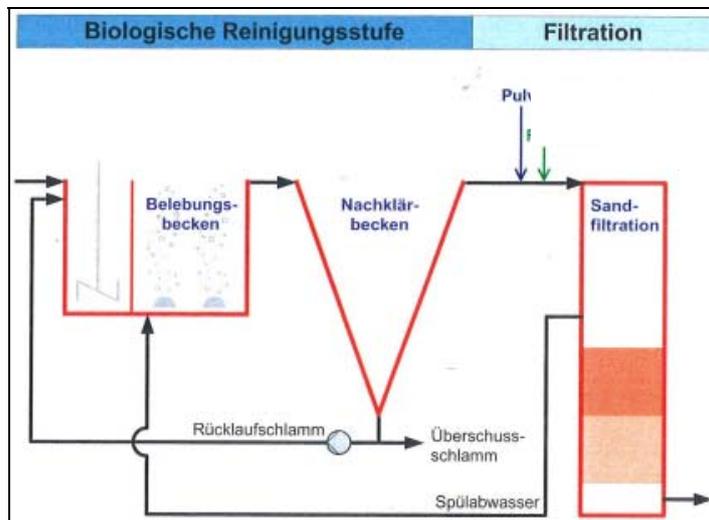


Bild 5: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]

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 zu dosiert. 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 Überschussschle.

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).

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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.

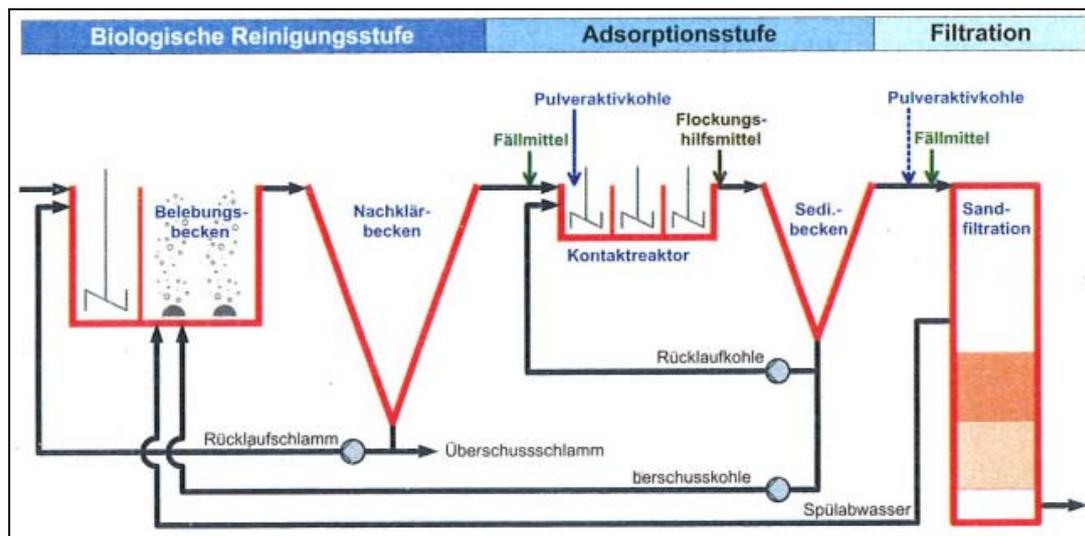


Bild 6: Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

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

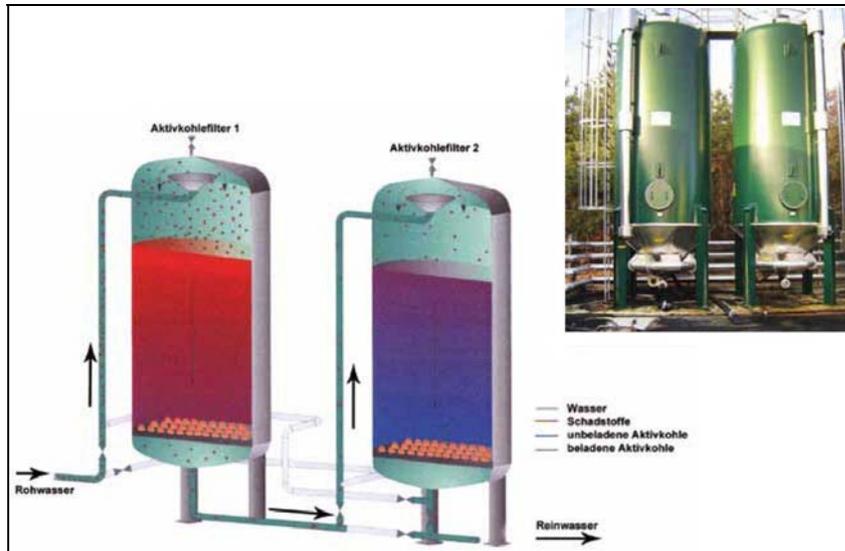


Bild 7: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

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

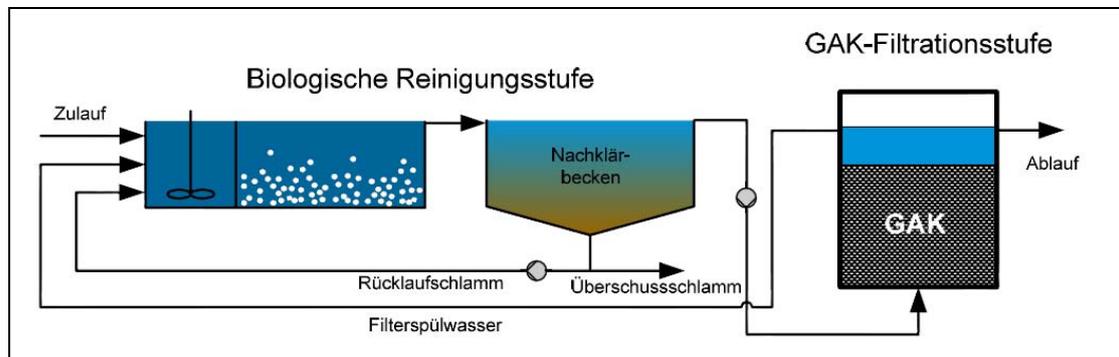


Bild 8: Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration

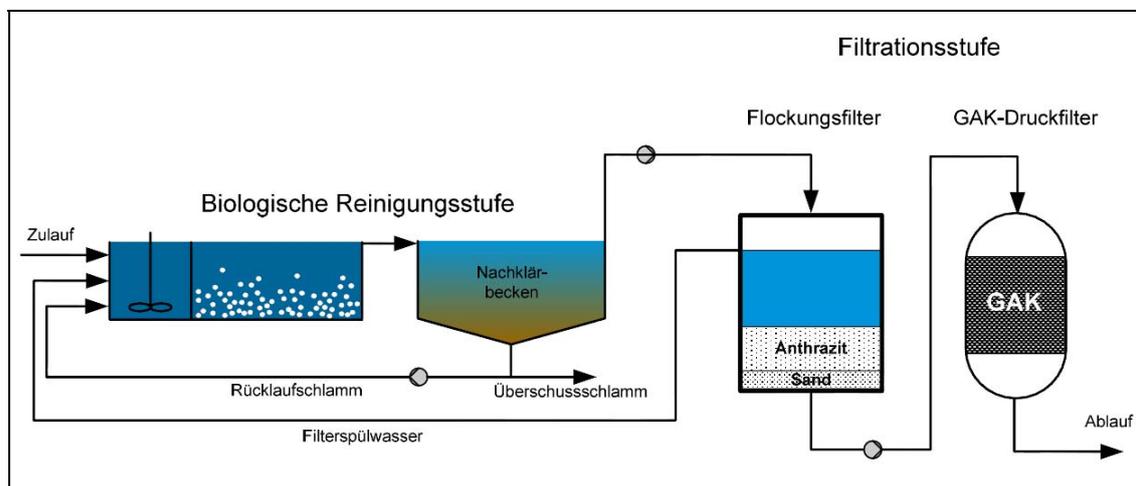


Bild 9: Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungfiltration

5.3 Oxidation mit Ozon (O₃)

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. Einen umfassenden Überblick über die Verfahrenstechnischen Randbedingungen ist dem Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalem Abwasser“ zu entnehmen [Hiller et al., 2011].

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind:

- Abtötung pathogener Keime (Desinfektion) zur Sicherung des Gewässers (z. B. in Hinsicht auf die Badegewässerrichtlinie)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

- oxidative Elimination/Transformation von nicht oder nur schlecht abbaubaren organischen Spurenstoffen (insbesondere Medikamentenrückstände).

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. Der Aufbau einer Ozonanlage zeigt beispielhaft Bild 10.

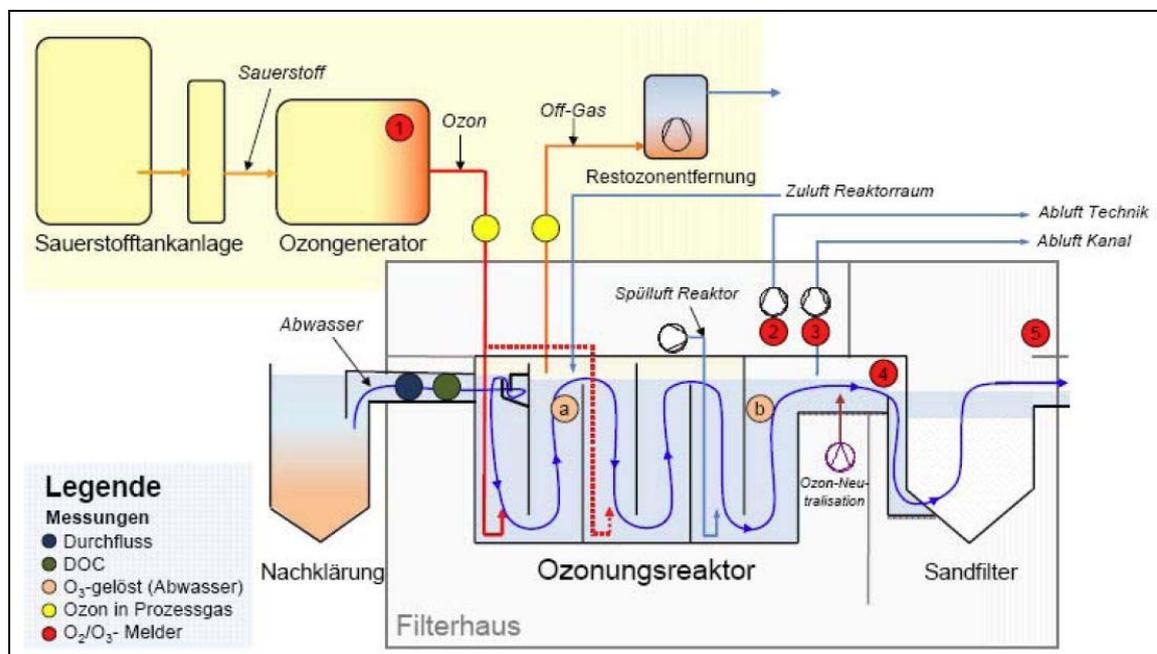


Bild 10: Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage

Der Grad der Eliminationsleistung hängt maßgeblich von der zugeführten Ozonmenge ab. Bei Zugabemengen von 0,3 – 0,5 mg O₃/mg DOC ist die Eliminationsleistung > 50% und bei 0,6 – 0,8 mg O₃/mg DOC > 80% für die meisten Spurenstoffe [Hiller, 2011].

Die Reinigungsleistung ist spurenstoffabhängig. In der Kläranlage Duisburg-Vierlinden wurden bei Dosierungen von 2 mg O₃/l bereits hohe Eliminationsraten und eine fast vollständige Entfernung bei 5 mg O₃/l für Carbamazepin und Diclofenac erzielt. Andere Stoffe wie Amidotrizoesäure und Tris (2-chlorisopropyl) Phosphat wurden praktisch nicht eliminiert [Maus et al., 2014].



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

In geringem Umfang findet bei der Ozonung zur Mikroschadstoffelimination eine Hygienisierung (Entkeimung) des Abwassers statt. Zu entsprechenden Behandlungsstufen besteht ein DWA-Merkblatt DWA-M 205 „Desinfektion von biologisch gereinigtem Abwasser“.

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

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 zu ermitteln sind.

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].

Bekanntere 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) zeigte die Bildung von max. 30 ng/l NDMA. In der nachfolgenden Sandfiltration konnte ein Abbau um 50 – 80 % festgestellt werden.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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.

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 werden wie Dyna-Sand Filter und automatische Schwerkraftfilter.

Zur Abscheidung von Pulveraktivkohle 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 Barn-
trup installiert [Gantner, 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 einem Sandwäscher gereinigt.

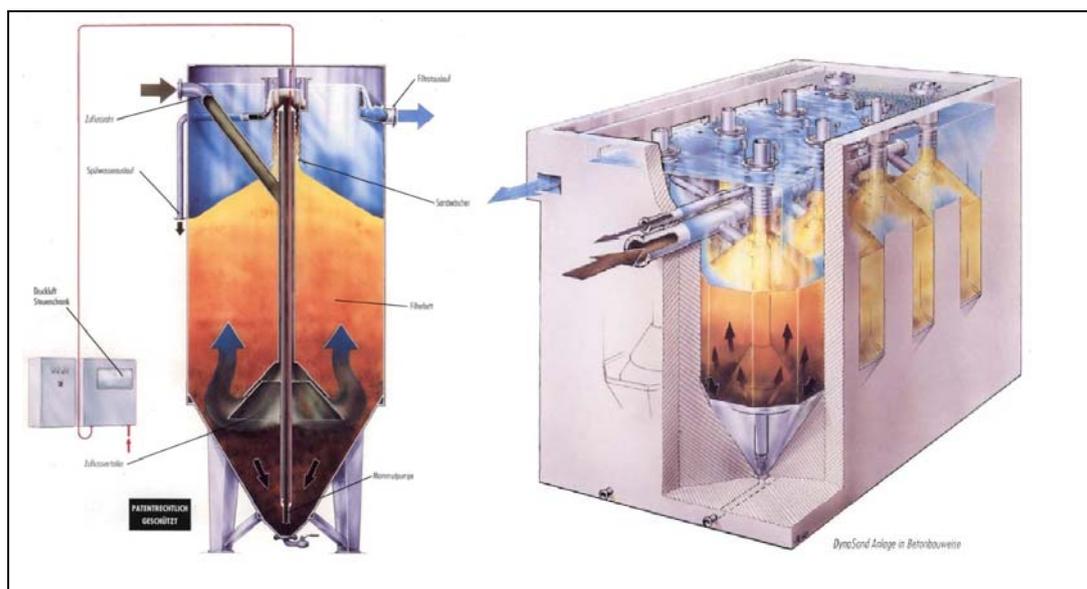


Bild 11: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

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 oder 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.

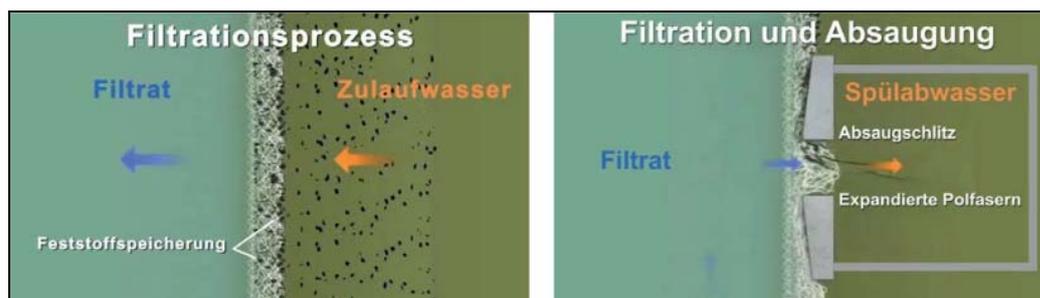


Bild 12: Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

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).

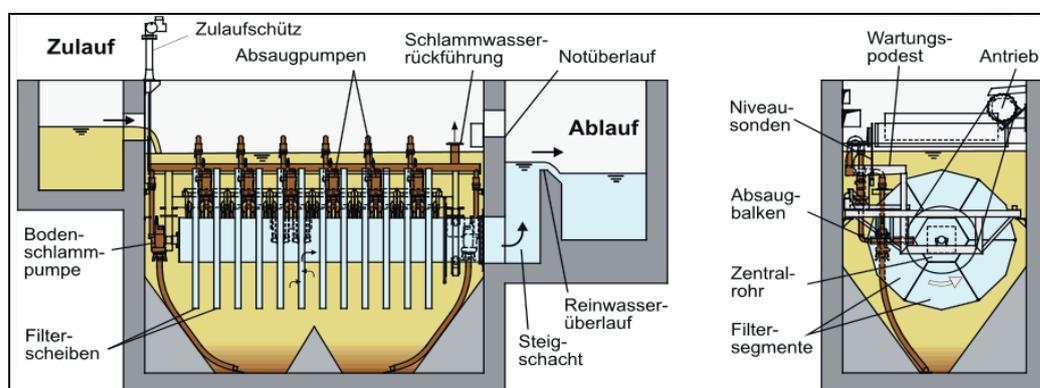


Bild 13: Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

5.5 Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren

Die Wirksamkeit der verschiedenen Verfahren zur Spurenstoffelimination wurde u.a. von Bolle et al. (2011) untersucht. Eine grobe Verfahrensbewertung zeigt Tabelle 2. Die Eliminationsleistung wird wie folgt beurteilt:

Kategorie: - schlechte Eliminationsleistung: < 10 %

Kategorie: 0 mäßige Eliminationsleistung: 10 % - 50 %

Kategorie: + gute Eliminationsleistung: 50 % - 90 %

Kategorie: ++ sehr gute Eliminationsleistung > 90 %

Tabelle 2: Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren bezüglich der Elimination ausgewählter Spurenstoffe [Bolle et al., 2011]

Spurenstoffe \ Verfahren		Ozonung	GAK-Filtration	PAK-Zugabe in ein Kontaktbecken	PAK-Zugabe in einen Flockungsraum	NF / RO	UV / H ₂ O ₂	O ₃ / H ₂ O ₂	O ₃ / UV
Pharmaka	Carbamazepin	++	+ bis ++	+ bis ++	0 bis +	++	+ bis ++	++	++
	Diclofenac	++	++	+ bis ++	0 bis +	++	++	++	++
	Metoprolol	+ bis ++	k. A.	++	k. A.	k. A.	+ bis ++	0 bis +	k. A.
	Sulfamethoxazol	++	0	0 bis +	- bis 0	++	+ bis ++	+ bis ++	++
	Amidotrizoesäure/Diatrizoat	0 bis +	- bis +	0 bis +	-	++	k. A.	0	0
Synth.-Moschusverbindungen	AHTN (Tonalid)	+ bis ++	k. A.	++	k. A.	++	k. A.	k. A.	k. A.
	HHCB (Galaxolid)	++	k. A.	++	k. A.	++	k. A.	k. A.	k. A.
Industriehemikalien	Benzotriazol	+	k. A.	+ bis ++	0 bis +	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
	Bisphenol A	0 bis ++	0	++	Ablaufwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze	+ bis ++	++	k. A.	k. A.
	Perfluorierte Tenside	-	+ bis ++	+	k. A.	+ bis ++	+ bis ++	k. A.	- bis 0
	TCPP	0	+	+ bis ++	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	0
	EDTA	0 bis +	-	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	+

Unter den Arzneimitteln werden Carbamazepin und Diclofenac in der Regel mit 90% eliminiert. Für den Betablocker Metoprolol wurden gute bis sehr gute Eliminationen für Ozonung sowie für Adsorption an PAK u.a. gefunden. Das Antibiotikum Sulfamethoxazol wird bei oxidativen Verfahren u.a. gut entfernt, bei adsorptiven Verfahren jedoch nur mäßig bis gut entfernt. Das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure erweist sich als das am schwersten zu eliminierende Arzneimittel [Bolle, 2011]. Grundsätzlich wird bei Verfahren mit GAK und PAK von ähnlichen Eliminationsleistungen auszugehen sein. Die Ergebnisse der Tabelle 2 beruhen auf Literaturliteraturauswertungen. Unter Umständen sind Abweichungen bei Eliminationsleistungen auch auf systematische Unterschiede in den diversen Untersuchungen zurückzuführen.



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

5.6 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, 9.2019].

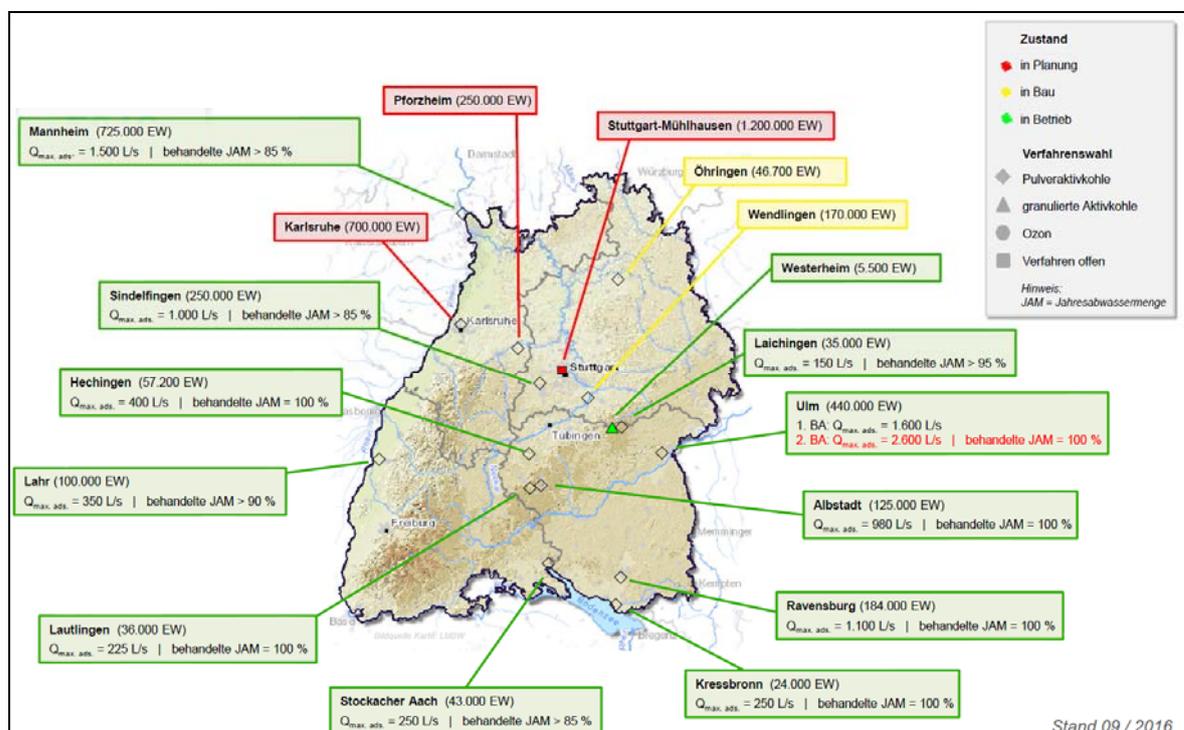


Bild 14: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]

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



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

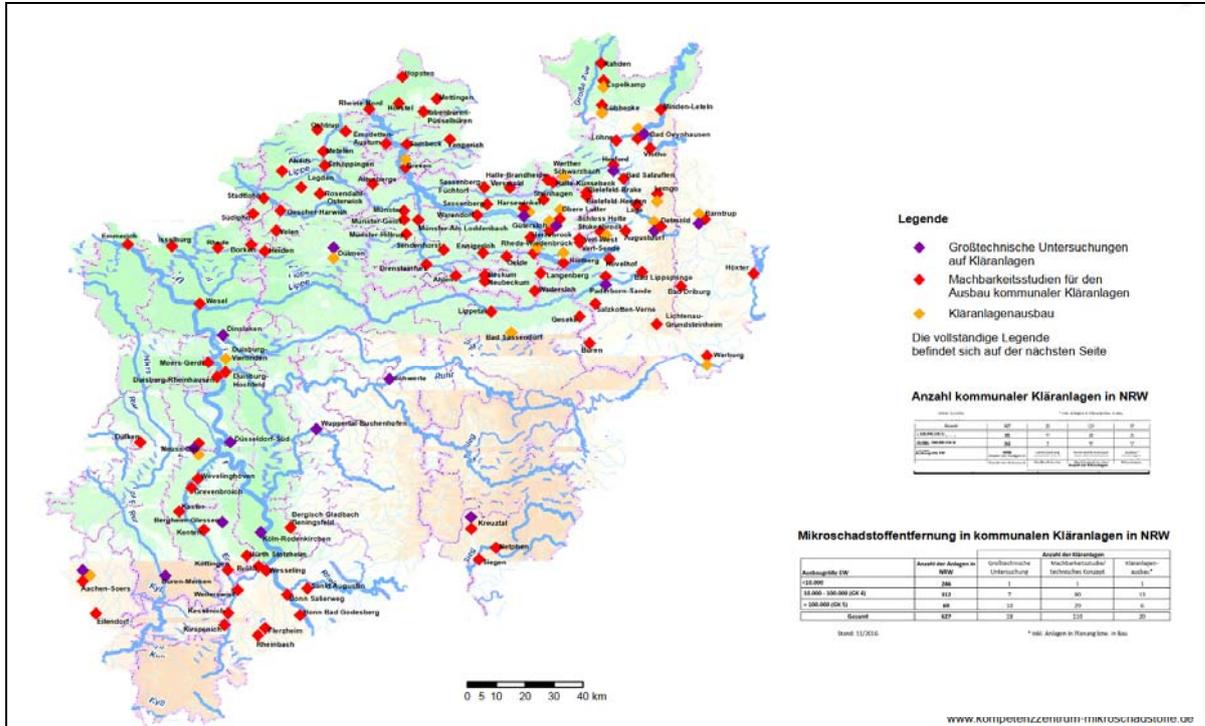


Bild 15: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]

5.6.1 Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination

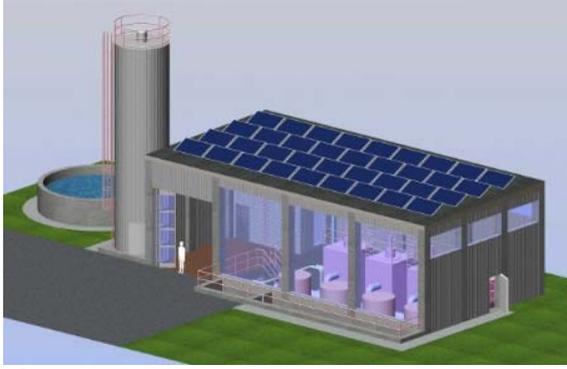
Nachfolgend werden großtechnisch umgesetzten Anlagen zur Spurenstoffelimination mit GAK-, PAK- und Ozon-Einsatz beispielhaft vorgestellt und Kläranlagen mit entsprechender Behandlungsstufe auszugsweise aufgelistet.

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

Kläranlage Bartrup (Stadt Bartrup)

(Foto Versuchsanl., Ausbaukonzept: Ingenieurbüro Danjes GmbH, Detmold)

Grunddaten	Technik	Kosten
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	Fuzzy-Filter mit PAK	ca.3,2 Mio. Euro netto
Bau 2015 / 2016		

Mikroschadstoffelimination auf Basis von granulierter Aktivkohle (GAK)

Kläranlage	Verfahren	Einwohner Ausbau (angeschlossen)	Art /Stand
Rietberg	GAD - Dyna-Sand Carbon Filtration	46.500 E / 60.000 E	Großtechnik / in Betrieb
Gütersloh Putzhagen	GAK - Filtration (Teilnutzung Flo.fil)	150.000 E / (80.000 E)	Großtechnik / in Betrieb
Bad Oeynhausen	GAK - Filtration (Teilnutzung Flo.fil)	46.000 E / (78.000 E)	Großtechnik / in Bau
Bielefeld Obere Lutter	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) $Q_{TW, max} = 468 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_a = 1,5 \text{ Mio. m}^3/\text{h}$ 2-straßige Auslegung Kontaktzeit: 0,33 – 1h Betrieb seit 2014	Dyna-Sand Carbon Filtration, (Umbau Dyna-Sand Filtration zu Betrieb mit GAK)	ca.0,7 Mio. Euro netto

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

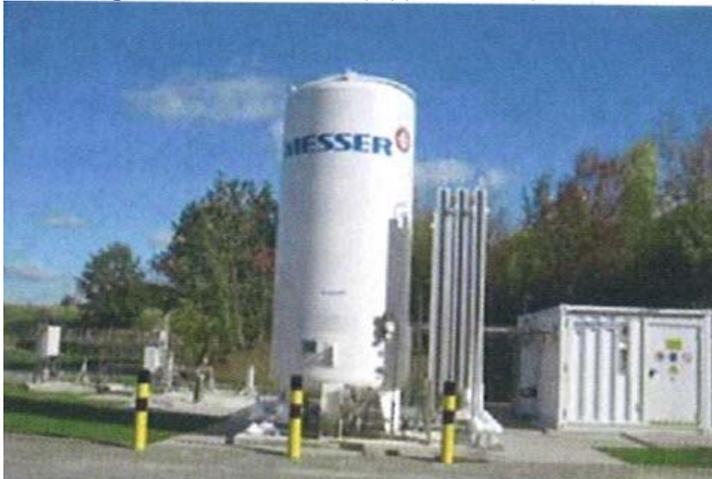
Kläranlage Düsburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Düsburg)



(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 m^3 $V_{\text{ges.}} = 200 \text{ m}^3$ Beckenvolumen biol. Nachbehandlung Betrieb seit 8.2011	Ozonung: Ozoneintrag beider Straßen über Injektoren (Umrüstung der bisherigen Diffusorstraße auf Injektorbetrieb), DOC-Steuerung der Ozondosierung	Invest: 1,547 Mio. Euro Betrieb: 92.817 €/a spez. Beh.kosten: 0,21 €/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 mengenproportional, 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		

5.7 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 gebildet, zur Erarbeitung von Auslegungsempfehlungen für den Bau von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.

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 ($Q/\text{NMQ} > 1/3$), 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

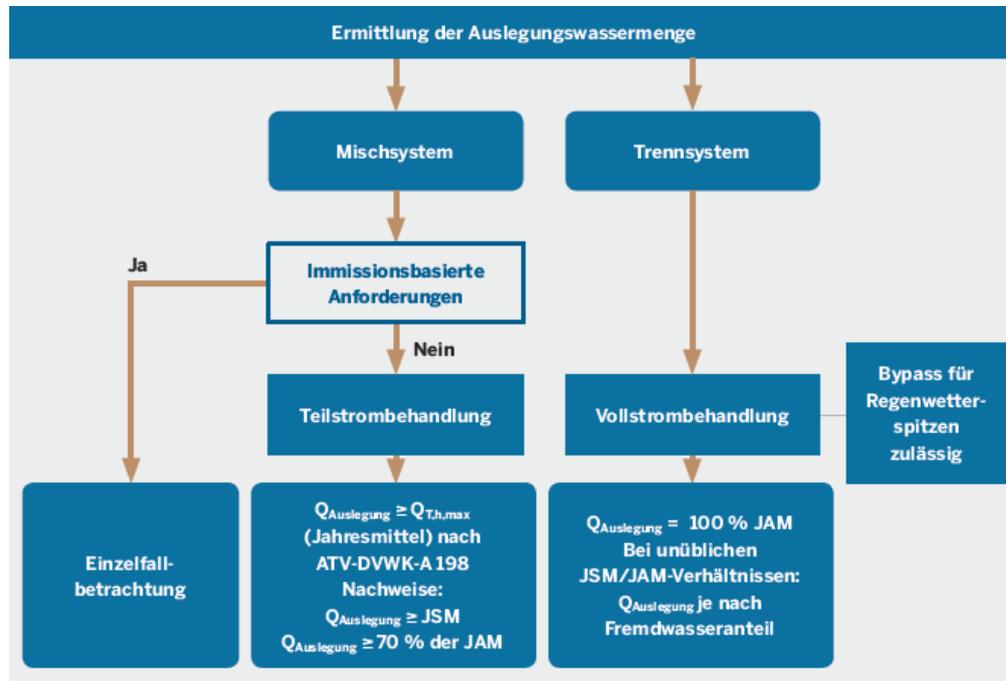


Bild 16: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

Bei Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf den Mischwasserabfluss statt auf den maximalen Trockenwetterabfluss und Annahmen 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-Vierlinden 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 3) 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)
- Klärschlammabfuhrwege (Verbrennung, landwirtschaftlich)
- Verbesserung Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges})
- Mitarbeiterqualität, bzw. Ausbildungsstand
- Monetäre Bewertung – Jahres-, Kapital-, Betriebskosten.
- Einbindung in bestehende Kläranlage

Verfahren sind 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, Säulenversuche, 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 3 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 Anlage zur gezielten Entfernung der Mikroschadstoffe.

Tabelle 3: Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

Stoff	Entfernbarkeit mittels Ozon	Entfernbarkeit 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: $z_{spez} = 0,6 - 0,8 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [Bajenbruch et al., 2014].
Maximale Ozonmenge zur Elimination der meisten Spurenstoffe gemäß schweizerischem Bundesamt für Umwelt $z_{spez} = 0,7 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [10]
Empfohlener Auslegungsbereich: $z_{spez} = 0,6 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$,
im Mittel: $z_{spez} = 0,75 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$
Die angegebenen Ozonkonzentrationen setzen eine stabile Nitrifikation voraus und geringe Feststoffablaufwerte der Nachklärung.
- Festlegung der applizierten Ozonkonzentration:
 $C_{O_3} = z_{spez} \times C_{DOC}$
- Ermittlung der benötigten Produktionskapazität:
 $B_{O_3,max} = Q_{Bem} \times C_{O_3}$
Bemessungswassermenge Q_{Bem} entspricht dem Spitzenabfluss bei Trockenwetter ($Q_{T,h,max}$ oder $Q_{T,2h,max}$)
- Ozonerzeugung über flüssigen Sauerstoff (LOX), komprimierte Luft, Sauerstoff aus PSA-Anlage. LOX-Anlagen wandeln ca. 10 M.% in 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
- Steuerung proportional zur Zulaufmenge. Zusätzlich ggf. SAK-, UV-Vis-Sonden, DOC-Messung, O_3 -Konzentration im Off-Gas oder in der gelösten Phase
- O_3 ggf. O_2 -Messungen in Betriebsräumen (Arbeitssicherheit)



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

- 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, Schönungsteiche 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. nach Vorversuchen)

Auslegung GAK-Filter:

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



6 Kläranlage Rahden

6.1 Kurzbeschreibung Kläranlage

Die Kläranlage Rahden wurde Mitte der neunziger Jahre neu errichtet und 1995 in Betrieb genommen. Der Ausbau erfolgte auf eine Ausbaugröße von 21.000 Einwohnerwerte (EW). Derzeit sind rd. 18.100 EW angeschlossen Mittelwert 2012 – 2014 (ELWAS-WEB). Die Betriebsführung erfolgt auf Basis eines Betreibermodells durch die Schumacher Kläranlagen GmbH (SKA) aus Wolfenbüttel.

Die Kläranlage liegt am Diekweg östlich der Stadt Rahden. Angeschlossen sind die Kernstadt sowie die Stadtteile Kleinendorf, Varl, Sielhorst, Preußisch Ströhen, Wehe und Tonnenheide.

Die Entwässerung erfolgt überwiegend im Trennsystem (42 km Schmutzwasserkanal, 32 km Regenwasserkanal) und zu etwa einem Drittel im Mischsystem (24 km Mischwasserkanal). Der Zufluss zur Kläranlage wird über ein vorgelagertes Regenüberlaufbecken vergleichmäßig bzw. gemindert.

Folgende Verfahrensstufen sind auf der Kläranlage vorhanden:

- Zulaufpumpwerk, max. 164 l/s, MID Zulaufmessung
- Rechenanlage, Feinrechen (6 mm Spaltweite), Rechengutpresse, Containeranlage, Sandklassierer
- Belüfteter Sandfang, Fettfang
- Bio-P-Becken als Rundbecken (700 m³)
- Verteilerbauwerk
- Belebungsbecken, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (7.800 m³) mit innen liegender Nachklärung, intermittierende Belüftung, Gebläsestation, simultane, aerobe Schlammstabilisierung
- Simultane P-Fällung
- Nachklärung, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (3.468 m³), Räumbrücke, Bodenräumschild, Tauchmotorpumpen zur Rücklaufschlammförderung,
- MID Ablauf, Einleitung in Gewässer: Schmiergraben
- Schlammstapelbecken (3 Becken: 4.300 m³, 600 m³, 600 m³),

Ein schematischer Lageplan der Kläranlage sowie der Lageplan mit verbindenden Rohrleitungen sind in Bild 17 und Bild 18 dargestellt.

6. Kläranlage Rahden

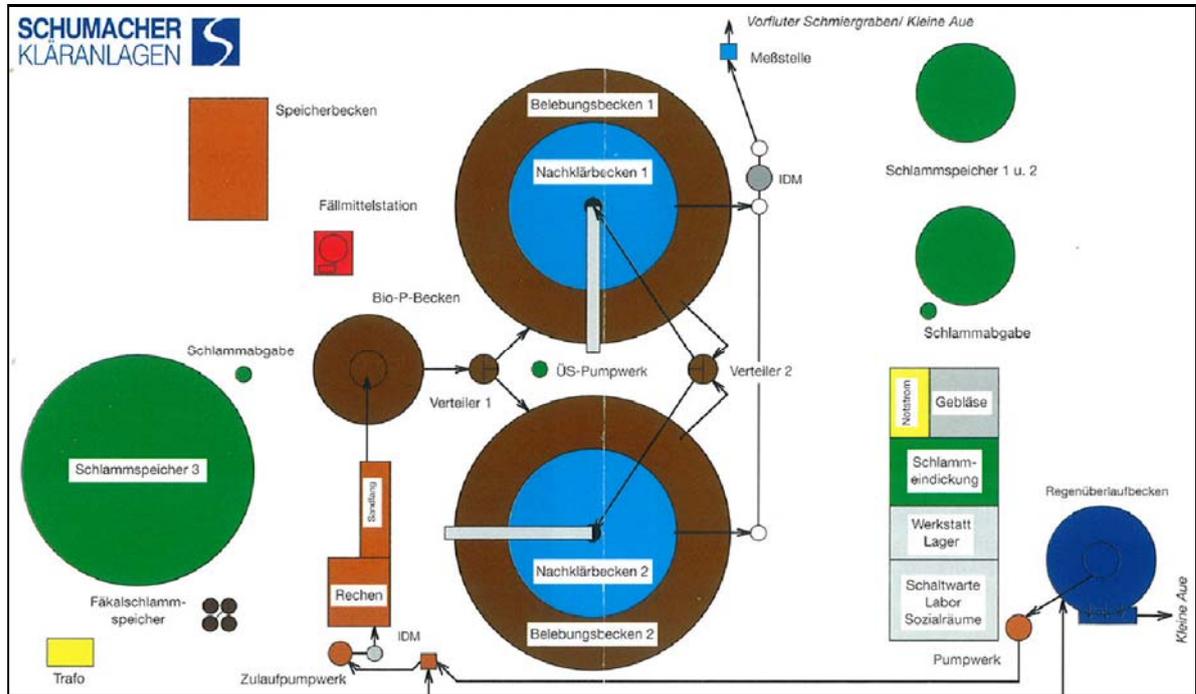


Bild 17: Schematischer Lageplan Kläranlage Rahden [Schumacher, 1996]

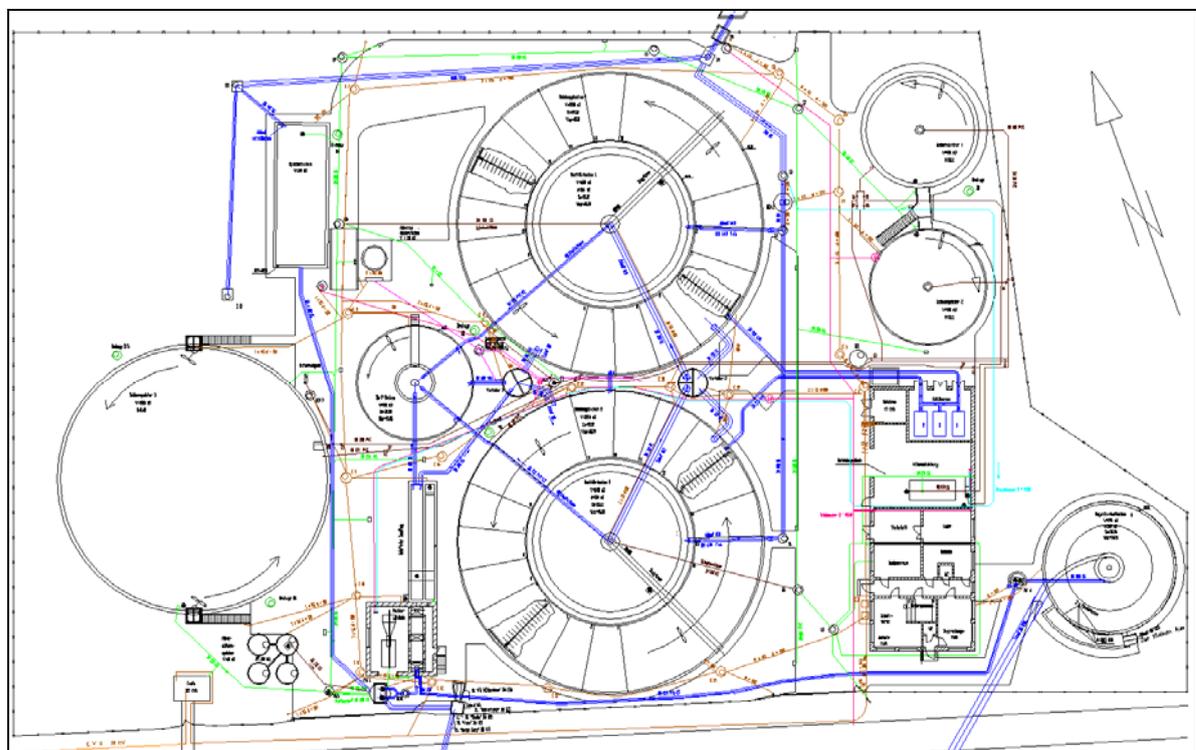


Bild 18: Lageplan Kläranlage Rahden, verbindende Rohrleitungen [Dinnendahl, 1993]

6. Kläranlage Rahden

Nachfolgende Bilder der Kläranlage Rahden zeigen Anlagenteile, den Ablaufschacht vor Einleitung in den Schmiergraben bzw. die Kleine Aue.



Bild 19: Belebungsbecken, innen liegende Nachklärung (links, rechts)



Bild 20: Schlammspeicher 3 (links), Schlammspeicher 1, 2 (rechts)



Bild 21: Speicherbecken, Dosierstation (links), Ablaufschacht Kläranlage (rechts)

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Rahden werden in Tabelle 4 zusammengefasst (Daten aus ELWAS WEB bzw. dem Entwurf [Dinnendahl, 1993]).



6. Kläranlage Rahden

Tabelle 4: Planungsdaten Kläranlage Rahden (ELWAS-WEB, Entwurf [Dinnendahl, 1993])

Zufluss	Auslegung Entwurf
Trockenwetterzufluss Q_T	3.750 m ³ /d
max. Trockenwetterzufluss	251 m ³ /h
Fremdwasserzufluss Q_F	1.500 m ³ /h
Regenwetterzufluss Mischwasser $Q_{M,max}$	591 m ³ /h

Die nachfolgenden Bilder zeigen den Zufluss zur Kläranlage bei Trocken- und Regenwetter.

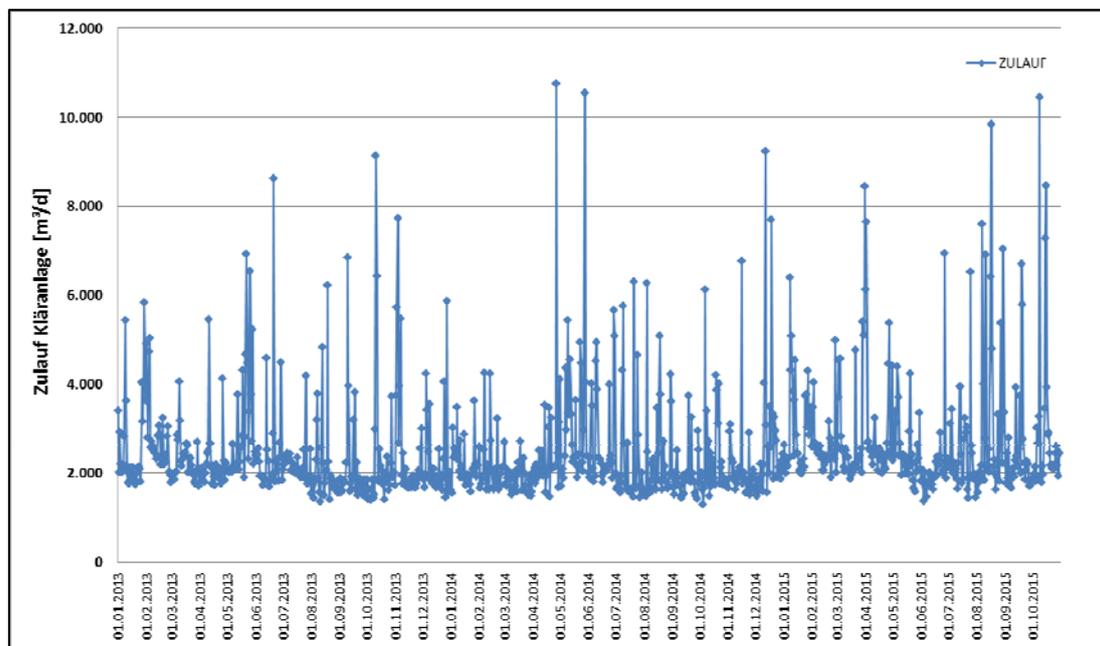


Bild 22: Zufluss Kläranlage Rahden – Trocken-, Regenwetter (01.2013 - 10.2015)



6. Kläranlage Rahden

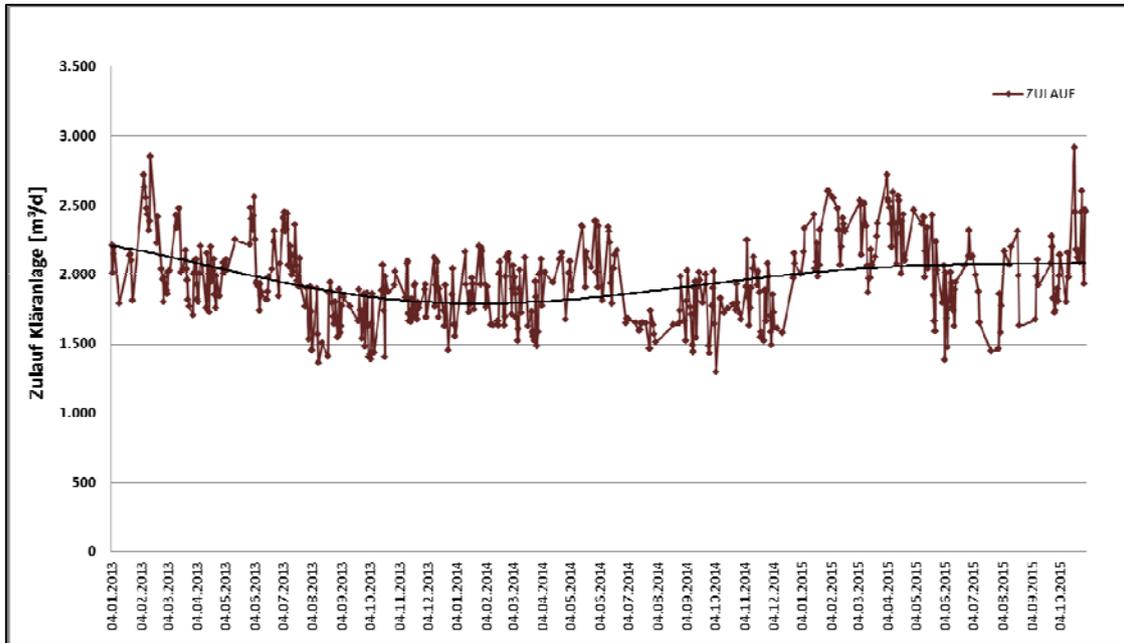


Bild 23: Zufluss Kläranlage Rahden – Trockenwetter (01.2013 - 10.2015)

Die Summenhäufigkeit der Abwasservolumenströme bei Trockenwetter im Zufluss der Kläranlage zeigt Bild 24. Für das 50% Perzentil beträgt der Abwasservolumenstrom rd. 1.950 m³/d, für das 85% Perzentil rd. 2.350 m³/d (Betrachtungszeitraum 01.2013 – 10.2015).

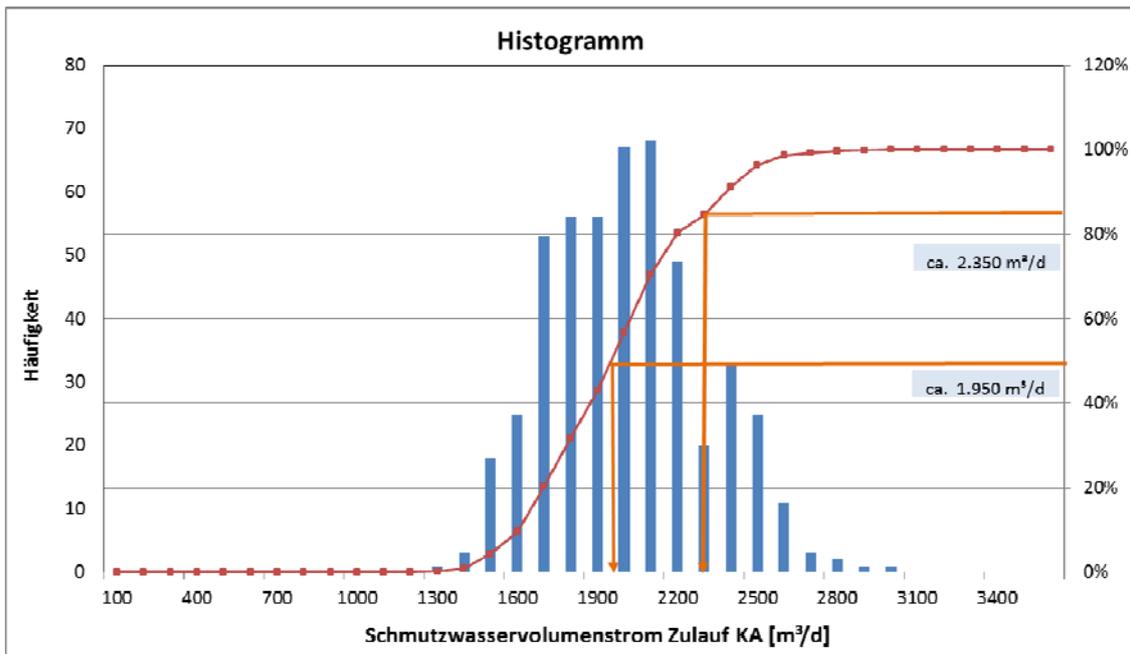


Bild 24: Histogramm - Summenhäufigkeit - Zufluss Schmutzwasser Kläranlage Rahden – Trockenwetter (01.2013 – 10.2015)



6. Kläranlage Rahden

Die Gesamt-Phosphor-Konzentration im Ablauf der Kläranlage zeigt Bild 25 beispielhaft für die Jahre 2013 - 2015. Im Mittel beträgt die P_{ges} - Ablaufkonzentration ca. 0,51 mg/l.

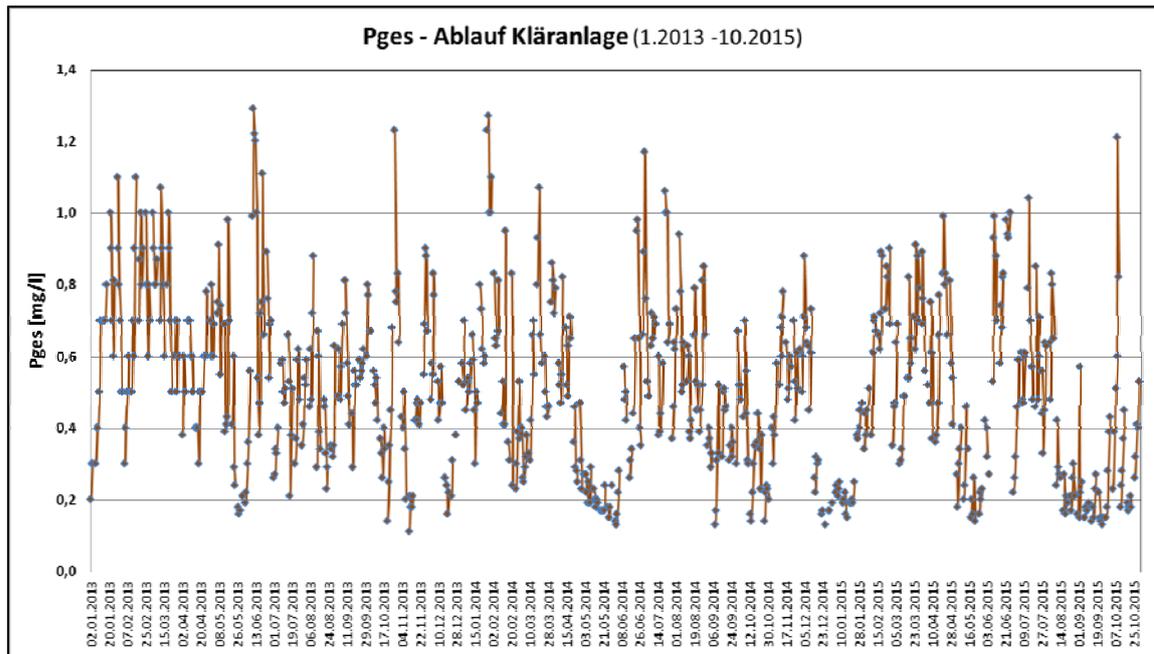


Bild 25: P_{ges} -Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2013 – 10.2015)

Aktuelle Betriebsdaten zum Abwasseranfall sind Tabelle 5 zu entnehmen. Die Ermittlung des Trockenwetterabflusses, bzw. der Jahresschmutzwassermenge erfolgte auf Basis des ATV-DVWK Arbeitsblattes A 198 und der entsprechenden Verwaltungsvorschrift des MURL NRW (Rd.Erl. v. 4.3.1991). Als Regenwettertage wurden Tage mit einem Niederschlag > 0,3 mm angenommen sowie der Folgetag (Regennachlauf).



6. Kläranlage Rahden

Tabelle 5: Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Rahden (2013 – 2015)

Zulauf	Jahr	Abwassermenge				Quelle / Bemerkung
Jahresschmutzwassermenge (JSM)	2013	683.864 m³/a	1.874 m³/d	78 m³/h	22 l/s	Betriebsdaten
	2014	646.953 m³/a	1.772 m³/d	74 m³/h	21 l/s	Betriebsdaten
	2015	768.311 m³/a	2.105 m³/d	88 m³/h	24 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	699.709 m³/a	1.917 m³/d	80 m³/h	22 l/s	Mittelwert
Jahresabwassermenge (JAM)	2013	868.574 m³/a	2.380 m³/d	99 m³/h	28 l/s	Betriebsdaten
	2014	858.355 m³/a	2.352 m³/d	98 m³/h	27 l/s	Betriebsdaten
	2015	1.030.558 m³/a	2.823 m³/d	118 m³/h	33 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	919.162 m³/a	2.518 m³/d	105 m³/h	29 l/s	Mittelwert
Jahresfrischwassermenge	2013	481.747 m³/a	1.320 m³/d	55 m³/h	15 l/s	Betriebsdaten
	2014	476.509 m³/a	1.306 m³/d	54 m³/h	15 l/s	Betriebsdaten
	2015	472.173 m³/a	1.294 m³/d	54 m³/h	15 l/s	Betriebsdaten
	2013-2015	476.810 m³/a	1.306 m³/d	54 m³/h	15 l/s	Mittelwert
Jahresfremdwassermenge	2013	202.117 m³/a	554 m³/d		Fremdw.anteil	29,6%
	2014	170.444 m³/a	467 m³/d		Fremdw.anteil	26,3%
	2015	296.138 m³/a	811 m³/d		Fremdw.anteil	38,5%
	2013-2015	222.900 m³/a	611 m³/d		Fremdw.anteil	31,9%

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

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

$$Q_{F,a} = 699.709 \text{ m}^3/\text{a} - 476.810 \text{ m}^3/\text{a} = 222.899 \text{ m}^3/\text{a} \text{ bzw. rd. } \mathbf{611 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Der mittlere Fremdwasseranteil (FWA) bzw. Fremdwasserzuschlag (FWZ) im Zeitraum 2013 bis 2015 beträgt rd. 32% bzw. rd. 47%.

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

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

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

$$\text{Schmutzwassererzfluss } Q_{S,\max}: 1.306 \text{ m}^3/\text{d} / 14 \text{ h/d} = 93,3 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{93 \text{ m}^3/\text{h}}$$



6. Kläranlage Rahden

Die an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerte betragen gemäß ELWAS-WEB:

2012: 17.420 EW davon 11.830 E, 5.590 EGW

2013: 16.850 EW davon 11.450 E, 5.400 EGW

2014: 20.100 EW davon 11.510 E, 8.590 EGW

Im Mittel ergeben sich 18.123 EW angeschlossene Einwohnerwerte.

In Bezug auf die Ausbaugröße von 21.000 EW ergibt sich ein möglicher Zuwachs der Jahresfrischwassermenge von rd. **15 %** (Verhältnis 18.123 EW zu 21.000 EW).

Die Fremdwassermenge wird als konstant angenommen.

Daraus ergibt sich ein Schmutzwasserbemessungszufluss

$Q_{S,max, Bem.}$ von: $93 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,15 = 106,9 \text{ m}^3/\text{h}$ rd. **107 m³/h**

Fremdwasserzufluss Q_F : $611 \text{ m}^3/\text{d} / 24 \text{ h/d} = 25,4 \text{ m}^3/\text{h}$ rd. **26 m³/h**

Maximaler Trockenwetterzufluss:

$Q_{T,max}$: $107 \text{ m}^3/\text{h} + 26 \text{ m}^3/\text{h} = 133 \text{ m}^3/\text{h}$, **3.192 m³/d** bzw. 36,9 l/s rd. **37 l/s**

Der maximale Trockenwetterzulauf gemäß Entwurf der Kläranlage [Dinnendahl, 1993] beträgt 251 m³/h. Der zu Grunde liegende Tagesabwasseranfall beträgt: 3.750 m³/d und liegt damit deutlich über aktuellen Datenauswertungen.

Verwendet wird der ermittelte max. Trockenwetterzufluss einschließlich einer Ausbaureserve (15 %) von $Q_{T,max}$: **133 m³/h**.

Mittlerer Trockenwetterzufluss: $Q_{T,mittel}$: **1.917 m³/d**, rd. **80 m³/h** bzw. rd. **22 l/s**

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

Minimaler Trockenwetterzufluss: $Q_{F,aM} + Q_{S,d,aM} \times 20\% = 26 \text{ m}^3/\text{h} + (54 \text{ m}^3/\text{h} \times 20\%)$

Minimaler Trockenwetterzufluss: 36,8 m³/h rd. **37 m³/h** bzw. rd. **10 l/s**

Die Auslegung von Anlagenteilen für den Mischwasserzufluss bei Regenwetter wird auf die gemäß Einleitungserlaubnis festgelegt maximale Mischwassermenge von 164 l/s bzw. 592 m³/h festgelegt.



6. Kläranlage Rahden

Die Auslegungsgrößen werden in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 6: Auslegung – Spurenstoffelimination

KA Rahden	Bemessung Spurenstoffelimination			Bemerkung
Trockenwetterzufluss (mittel), $Q_{T,mittel}$	1.917 m ³ /d	80 m ³ /h	22 l/s	JSM 2013-2015
Trockenwetterzufluss (max.) $Q_{T,max}$	3192 m ³ /d	133 m³/h	37 l/s	Steigerung $Q_{T,max}$. in Summe: 15%
Trockenwetterzufluss (min.) $Q_{T,min}$		37 m ³ /h	10 l/s	
Regenwetterzufluss (max.)		592 m³/h	164 l/s	KA Einl.erl.
Fremdwasserzufluss	611 m ³ /d	26 m ³ /h	7 l/s	konstanter FW- Anteil rd. 32%
Frischwasser/Schmutzwasser	1.306 m ³ /d	54 m ³ /h	15 l/s	

Sonstige Angaben:

Gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis sind folgende Einleitungsmengen zulässig:

Regenwetter: 164 l/s entsprechend 592 m³/h

Die jährlich zu entsorgende Klärschlammmenge beträgt im Mittel rd. 5.200 m³ (mit 4% TS).

Bei Entwässerung auf 25% TS ist i.M. eine Klärschlammmenge von 832 t/a zu entsorgen (Nachrüstung masch. KS-Entwässerung erforderlich).



6. Kläranlage Rahden

6.2 Situation Gewässer

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Schmiergraben und nach rd. 100 m in die Kleine Aue. Die Kleine Aue hat von der Mündung bis zur Quelle eine Länge von rd. 20 Kilometern. Die Kleine Aue ist ein Nebenfluss der Großen Aue, die zum Gewässersystem der Weser gehört.

Das Gewässersystem zeigt Bild 26, die Lage der Kläranlage an der Kleinen Aue Bild 27.

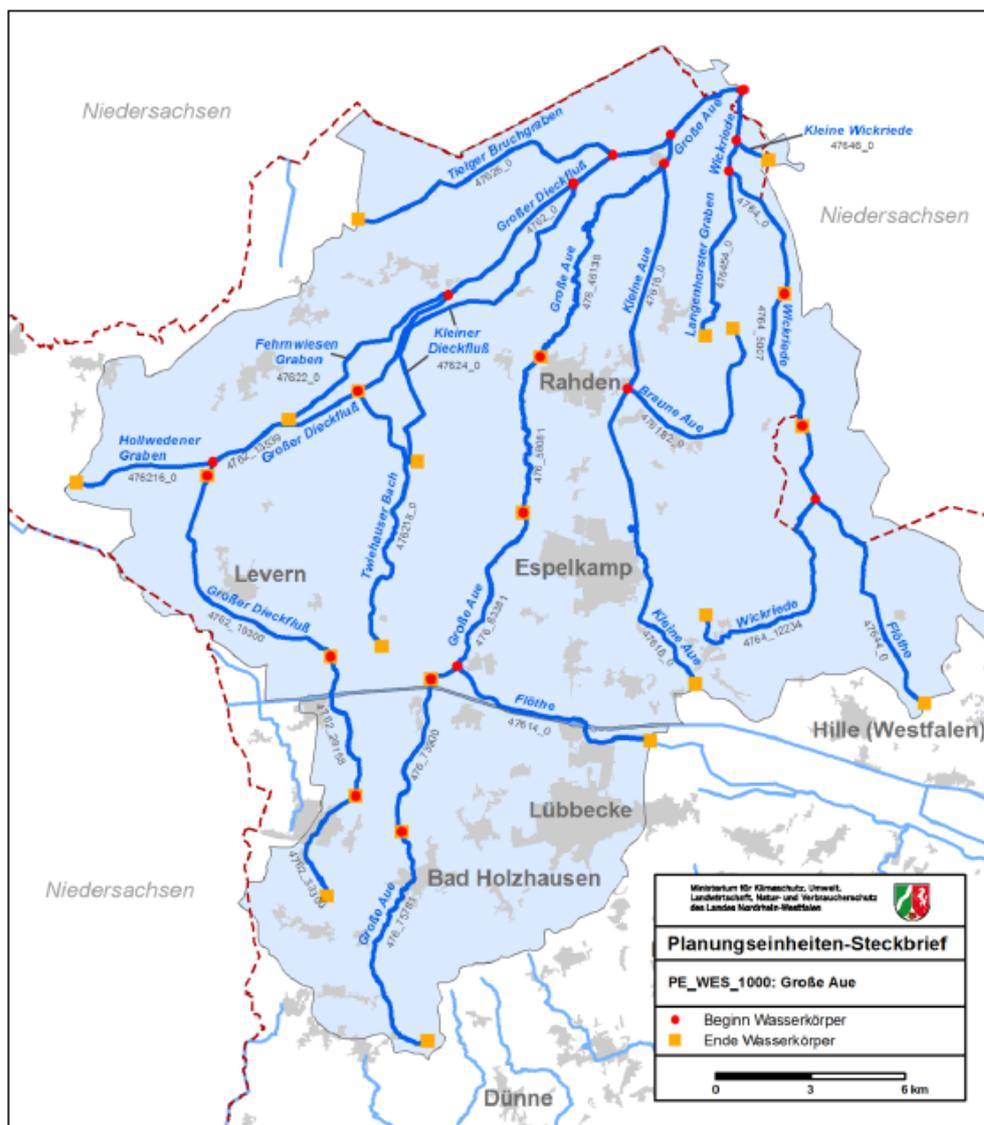


Bild 26: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_WES_1000 Große Aue [MKULNV NRW, 2015]

6. Kläranlage Rahden

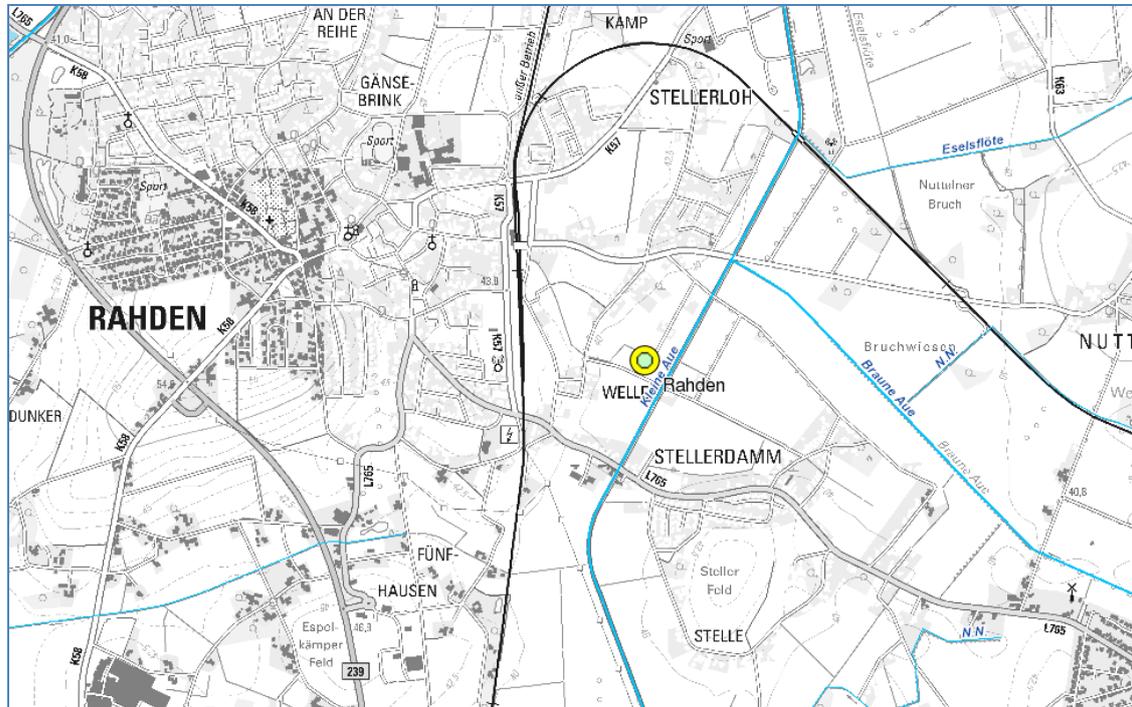


Bild 27: Lage Kläranlage Rahden am Gewässer „Kleine Aue“

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold an der Kleinen Aue (GEWKZ 47618) ergaben ein MNQ von 0,033 m³/s (2012). Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von 1.917 m³/d bzw. 0,022 m³/s (2013-2015) ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von 1 zu 1,5 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 67 % (im Jahr 2012 ermittelte die BR Detmold einen Abwasseranteil am MNQ von 85,4 %). Der Abwasseranteil am MQ von 0,164 m³/s beträgt ca. 13 %.

Ein Abwasseranteil von 67% führt überschlägig zu Einzelstoffkonzentrationen von 0,67 µg/l bei NMQ-Abfluss im Gewässer, wenn das Abwasser an der Einleitungsstelle einen Einzelkonzentrationswert von 1 µg/l aufweist.

Eine hohe Abwasser-Gewässerabflussrelation sowie die Nutzung von Gewässern in die Kläranlagen einleiten zur Trinkwassergewinnung (Uferfiltration, Grundwasseranreicherung) sind mögliche Faktoren, die zu Auflagen der wasserrechtlichen Aufsichtsbehörden für die Errichtung von Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination führen können.

Abwasseranteile von über 33% am Gewässerabfluss bei MNQ gelten als hoch. Derzeit bestehen hierzu jedoch keine verbindlichen gewässerrechtlichen Vorgaben in Nordrhein-Westfalen.



6. Kläranlage Rahden

Ein weiterer Faktor ist der ökologische Gewässerzustand.

Kleine Aue:

Der ökologische Zustand der Kleinen Aue ist im 2. und 3. Monitoringzyklus von der Mündung in die Große Aue bei Pr. Ströhen bis östlich von Isenstedt als „schlecht“ bewertet. Insbesondere die allgemeine Degradation von Makrozoobenthos (MZB), MZB und Makrophyten (PHYLIB) werden als „schlecht“ eingestuft. Das ökologische Potenzial wird durchgehend als „schlecht“ bewertet, ebenso wie der chemische Zustand.

Es wurde unter den allgemeinen chemischen und physikalischen Parametern (ACP) für organische Kohlestoffe (TOC) Konzentrationen festgestellt die Orientierungswerte überschreiten.

Unter den nicht gesetzlich verbindlich geregelten Metallen wurde ein erhöhter Wert von Kobalt festgestellt. Eine Erklärung zur Ursache bzw. Herkunft der erhöht festgestellten Metallkonzentration fehlt.

Unter den gesetzlich nicht verbindlich geregelten Spurenstoffen wurde u.a. für Diclofenac, Gabapentin, Iopamidol, Metformin, Sotalol, Carbamazepin u.a. Konzentrationen gemessen, die über den Orientierungswerten der OGewV liegen.

Die Wasserkörpertabelle mit der ökologischen Zustandsbewertung der Kleinen Aue zeigt Bild 28 [MKULNV NRW, 2015].

Als Folge des erhobenen Gewässerzustandes der Kleinen Aue sieht der Bewirtschaftungsplan Weser / Weser NRW (2016- 2021) für die Kläranlage Rahden einen technischen Ausbau der 4. Reinigungsstufe in Abhängigkeit vom Ergebnis der Machbarkeitsstufe vor [MKULNV NRW, 2015].



6. Kläranlage Rahden

Planungseinheit	PE_WES_1000	
Wasserkörper-ID	47618_0 ¹	
Gewässername	Kleine Aue	
Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung in die Große Aue bei Pr. Ströhen bis östlich von Isenstedt	
LAWA-Fließgewässertyp	14	
Trinkwassergewinnung	nein	
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB	
HMWB-Fallgruppe	LuH-TLB	
Monitoringzyklus	2	3
Ökologischer Zustand	schlecht	schlecht
MZB Saprobie	mäßig	mäßig
MZB Allgemeine Degradation	schlecht	schlecht
MZB Versauerung		nicht rel.
MZB Gesamt	schlecht	schlecht
Fische	unbefr.	unbefr.
Makrophyten (PHYLIB)	mäßig	schlecht
Makrophyten (NRW)	unbefr.	unbefr.
Phytobenthos (Diatomeen)	mäßig	unbefr.
Phytobenthos o. Diatomeen		
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.
Ökologisches Potenzial	schlecht	schlecht
MZB Allgemeine Degradation	schlecht	schlecht
MZB Gesamt	schlecht	schlecht
Fische	unbefr.	unbefr.
Metalle (Anl. 5 OGewV)	gut	gut
PBSM (Anl. 5 OGewV)	gut	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)		
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.	nicht eing.
Gewässerstruktur		
Metalle n. ges. verb. (OW)	nicht eing.	eing. gut
PBSM n. ges. verb. (OW)	eing. s. gut	nicht eing.
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	nicht eing.	nicht eing.
Chemischer Zustand ¹	nicht gut	nicht gut
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	nicht gut	gut
Metalle (Anl. 7 OGewV ²)	gut	gut
PBSM (Anl. 7 OGewV)	nicht gut	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)		
Nitrat (Anl. 7 OGewV)	gut	

Planungseinheit	PE_WES_1000
Wasserkörper-ID	47618_0 ¹
Gewässername	Kleine Aue
Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung in die Große Aue bei Pr. Ströhen bis östlich von Isenstedt
ACP Gesamt (OW)	Organischer Kohlenstoff.gesamt (TOC); pH-Wert
Stoffgruppen des ökologischen	
Metalle (Anl. 5 OGewV)	
PBSM (Anl. 5 OGewV)	
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)	
Gesetzlich nicht verbindlich	
Metalle n. ges. verb. (OW)	Kobalt
PBSM n. ges. verb. (OW)	Metazachlorsulfonsäure; Metolachlor-CA; Metolachlor-SA
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin; 4-Acetamidoantipyrin; 4-Aminoantipyrin; 4-Formylaminoantipyrin; Amido-trizoosaeure; Bezafibrat; Candesartan; Desfenlafaxin Hydrochlorid; Diclofenac; Gabapentin; Iopamidol; Metformin; Primidon; Sotalol; Tramadol; Valsartan; Carbamazepin
Stoffgruppen des chemischen	
Metalle (Anl. 7 OGewV) ¹	
PBSM (Anl. 7 OGewV)	Diuron
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)	

Bild 28: Gewässerzustand Kleine Aue (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 23 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe (siehe Anhang). Unter anderem wurde analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a..

Es wurde im Zeitraum 09.12.2015 bis 10.12.2015 eine 48-Stunden Mischprobe im Ablauf der Kläranlage zeitproportional entnommen (Ablauf Nachklärung). Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vorher trat kein Niederschlag auf. In der Vergangenheit (07.05.2012 - 10.05.2012) wurde bereits eine 72h-Mischprobe im Ablauf der Nachklärung entnommen und mit einem reduzierten Parametersatz untersucht. Zur Abschätzung der bestehenden Spurenstoffbelastung im Vorfluter wurde am 10.12.2015 jeweils eine qualifizierte Stichprobe oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle des Schmierbaches in die Kleine Aue entnommen und analysiert. Die Beprobung und Analytik erfolgte durch OWL Umweltanalytik, Leopoldshöhe.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle 7 zeigt die festgestellten Konzentrationen der Spurenstoffe sowie Prozentangaben zum Auftreten der Stoffe im Ober- und Unterlauf der Einleitungsstelle im Verhältnis zu den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage.

Zusätzlich werden den gemessenen Konzentrationen die Umweltqualitätsnormen und Orientierungswerte gemäß Anlage 5 und 7 der OGewV (D4-Liste) gegenübergestellt.



7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 7: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Rahden (09.12 – 10.12.2015, 07.05.2012 – 10.05.2012) und im Gewässer (Kleine Aue) (01.10.2015)

Spurenstoffe:			Spurenstoff-Messwerte							D4-Liste OW / PV	OGewV UQN
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA	Ablauf KA	Oberlauf Ein.stelle	Diff. OL/ Ablauf KA	Unterlauf Ein.stelle	Diff. Ober- /Unterlauf	Diff. UL/ Ablauf KA	LAWA/PNEC, UFO Plan, EU Draft u.a.	Jahresmittel J-MW/Max.
			10.05.12								
Antiepileptikum	Carbamazepin	µ g/l	1,70	0,68	0,19	28%	0,37	195%	54%	0,5 J-MW	
Antibiotika	Clarithromycin	µ g/l	0,28	< 0,2	0,08		0,096	123%	höher	0,02 J-MW	
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,20	0,45	0,15	33%	0,20	133%	44%	0,15 J-MW	
Schmerzmittel	Diclofenac	µ g/l	1,90	2,00	0,70	35%	0,89	127%	45%	0,1 J-MW	
	Naproxen	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Phenazon	µ g/l		< 0,05			0,05		höher	1,1 J-MW	
Betablocker	Metoprolol	µ g/l	2,30	2,50	1,00	40%	1,20	120%	48%	7,3 J-MW	
	Sotalol	µ g/l	1,10	0,55	0,11	20%	0,21	191%	38%	0,1 J-MW	
	Atenolol	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Bisoprolol	µ g/l		0,29			0,19			66%	0,1 J-MW
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	µ g/l	1,50	4,30			0,56		13%	0,1 J-MW	
	Iopamidol	µ g/l	9,10	34,00			6,10		18%	0,1 J-MW	
	Iopromid	µ g/l	0,23	< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Iomeprol	µ g/l	0,15	< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
Psychopharmaka	Oxacepam	µ g/l		0,21			0,098		47%	0,1 J-MW	
Lipidsenker	Bezafibrat	µ g/l		< 0,05			0,18			0,1 J-MW	
Komplexbildner (Geschirrspülmittel)	Benzotriazol	µ g/l	2,40	3,50	1,10	31%	1,40	127%	40%	10 J-MW	
Hormon	17-alpha Ethinylestradiol	µ g/l		< 0,001			< 0,001			0,000035 (Ethinylestradiol)	
	17-beta-Estradiol	µ g/l		< 0,001			< 0,001				
	Estron	µ g/l		< 5			< 5			0,0004 (für Estron)	
Herbizid	Terbutryn	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,065 J-MW	0,065 J-MW 0,34 Max.
	Isoproturon	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,3 J-MW	0,3 J-MW 1,0 Max.
	Diuron	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,2 J-MW	0,2 J-MW 1,8 Max.
Süßstoff	Acesulfam	µ g/l	42,00							k.A.	k.A.
	Sucralose	µ g/l	2,00							k.A.	k.A.
	Bromid	mg/l		< 0,05						k.A.	k.A.

Die Beprobung der Kläranlagenabläufe am 10.05.2012 und 10.12.2015 zeigt relativ ähnliche Konzentrationen an Mikroschadstoffen. Deutliche Überschreitungen der Grenzwerte gemäß D4-Liste zeigen sich für Carbamazepin, Diclofenac, Benzotriazol u.a.. Auffällig ist eine sehr hohe Konzentration für das Röntgenkontrastmittel Iopamidol von 34 µg/l (10.12.2015), die auch im Gewässer noch mit 6,1 µg/l zu einer Grenzwertüberschreitung führte.

Das Antiepileptikum Carbamazepin konnte im Ablauf der KA Rahden festgestellt werden sowie in einer um rd. 72% geringeren Konzentration im Oberlauf der Einleitungsstelle der Kläranlage. Im Unterlauf der Einleitungsstelle konnte noch eine rd. 50% geringere Konzentration festgestellt werden.

Weitere Spurenstoffbelastungen konnten im Gewässer unterhalb der Einleitungsstelle für das Schmerzmittel Diclofenac, das Antibiotikum Sulfamethoxazol, die Betablocker Metoprolol, Sotalol und Bisoprolol, den Komplexbildner Benzotriazol und das Psychopharmaka Oxacepam in Höhe von 38% - 66% der Ablaufkonzentration der KA Rahden festgestellt werden.



7. Screening zu Spurenstoffen

Die relativ hohen Spurenstoff Konzentrationen im Gewässer sind u.a. auf den in Abschnitt 6.2 erläuterten hohen Abwasseranteil am Gewässerabfluss zurückzuführen. Die Spurenstoff-Konzentrationen im Gewässer liegen u.a. für Sulfamethoxazol, Sotalol, Bisoprolol und Bezafibrat über den Orientierungswerten der D4-Liste der OGewV.

Die z.T. deutlich über dem Vorsorgewert für Gewässer liegenden Konzentrationen resultieren auch aus Spurenstoffbelastungen im Oberlauf der Kleinen Aue. Bereits im Oberlauf konnten z.B. für Sotalol und Metoprolol 20% bzw. 40 % der durch die Kläranlage Rahden eingeleiteten Konzentrationen festgestellt werden.

Für die untersuchten Hormone und Herbizide konnten keine Spurenstoffe nachgewiesen werden.

Für Clarithromycin und Phenazon wurden Spurenstoffe im Gewässer unterhalb der Einleitungsstelle gefunden, jedoch nicht im Kläranlagenablauf. Hier wirkt sich offenbar die unterschiedliche Probenahmeart (48h-Mischprobe / qualifizierte Stichprobe) aus.

In Bild 29 werden die im Ablauf der Nachklärung festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt (Anzahl Probenahme: 2).

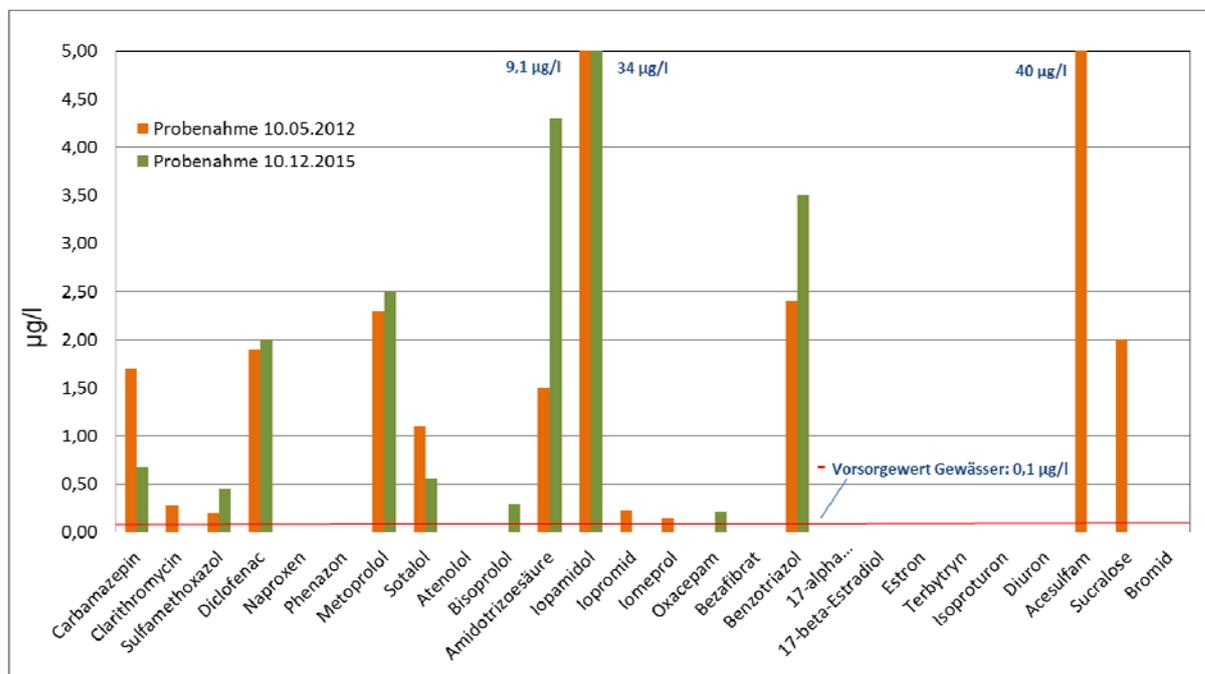


Bild 29: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung



7. Screening zu Spurenstoffen

Ein Vergleich ausgewählter Spurenstoffparameter mit den Konzentrationen anderer Kläranlage zeigt Tabelle 8.

Tabelle 8: Spurenstoffkonzentrationen KA Rahden im Vergleich anderen Kläranlagen

Spurenstoffe:		Kläranlage Rahden	Kläranlage Vermold	Kläranlage Verl-West	Kläranlage Verl Sende	Kläranlage Rietberg	KA Neuss / KA Sassendorf	
Gruppe	Wirkstoffe	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	
Antiepileptikum	Carbamazepin	μ g/l	0,68	0,48	0,93	1,30	1,1 - 2,8	1,4 / 1,3
Antibiotika	Clarithromycin	μ g/l	< 0,2	0,32	0,30	0,56	< 0,5 - 0,19	0,7 / 0,71
	Sulfamethoxazol	μ g/l	0,45	0,17	0,19	0,33	0,5 - 1,1	0,7 / 0,71
Schmerzmittel	Diclofenac	μ g/l	2,00	1,70	3,40	4,40	1,8 - 3,7	1,1 / 4,9
	Naproxen	μ g/l	< 0,05	0,26	0,27	0,17	0,06 - 0,19	k.A.
	Phenazon	μ g/l	< 0,05	< 0,2	0,09	0,09	< 0,05 - 0,09	k.A.
Betablocker	Metoprolol	μ g/l	2,50	2,70	3,70	3,70	1,6 - 3,5	k.A.
	Sotalol	μ g/l	0,55	0,18	0,47	0,32	0,56 - 0,75	k.A.
	Atenolol	μ g/l	< 0,05	0,28	0,13	0,38	0,13 - 0,27	k.A.
	Bisoprolol	μ g/l	0,29	0,37	0,41	0,54	k.A.	k.A.
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	μ g/l	4,30	0,30	< 0,05	3,40	< 0,05 - 2,9	10,4 / 0,45
	Iopamidol	μ g/l	34,00	1,60	< 0,05	< 0,1	< 0,05 - 2,8	1,3 / 1,5
	Iopromid	μ g/l	< 0,05	1,20	< 0,1	< 0,1	< 0,05 - 0,77	k.A.
Psychopharmaka	Oxacepam	μ g/l	0,21	< 0,05	0,15	0,15	k.A.	k.A.
Lipidsenker	Bezafibrat	μ g/l	< 0,05	0,13	0,12	0,16	k.A.	k.A.
Komplexbildner	Benzotriazol	μ g/l	3,50	6,30	4,10	7,60	3,6 - 7,2	k.A.
Hormon	17-alpha Ethinylestradiol	μ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	17-beta-Estradiol	μ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Estron	μ g/l	< 5	-	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Herbizid	Terbutryn	μ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Isoproturon	μ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Diuron	μ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Bromid	mg/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Der Vergleich der festgestellten Spurenstoffkonzentrationen mit Messwerten anderer Kläranlagen zeigt eine relativ große Übereinstimmung der Konzentrationshöhe.

Auffällig im Ablauf der Kläranlage Rahden ist die im Vergleich sehr hohe Konzentrationen für das Röntgenkontrastmittel Iopamidol.

Im Einzugsbereich der Kläranlage sind eine Reihe von indirekt einleitenden Betrieben ansässig, u.a. aus dem Bereich Landwirtschaft, Maschinenbau sowie das Krankenhaus Lübbecke-Rahden. Eine Zuordnung bestimmter Spurenstoffe zu bestimmten Betrieben und insbesondere dem Krankenhaus ist mit den vorhandenen Daten nicht vorzunehmen.



8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Rahden zur Spurenstoffelimination

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

Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf die z. T. nachgeschalteten Filterstufen.

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAK)

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

2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAK)

- GAK in Dyna-Sand Carbon Filter
- GAK in Festbett – Adsorberstufe

3. Oxidative Verfahren

- Ozonung + Sandfilter (Dyna-Sand Filter)

Die Verfahren werden im Hinblick auf:

Eliminationsleistung, Wirtschaftlichkeit, Raumbedarf, vorhandene Anlagentechnik, Klärschlammmentsorgung sowie betriebliche Aspekte untersucht.

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 - Spurenstoffelimination

8.1 Vorhandene Erweiterungsfläche

Die unterschiedlichen Varianten zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfordern unterschiedlich große Flächen. Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt östlich der Kläranlage und beträgt über 1.200 m².

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



Bild 30: Luftbild KA Rahden, potentielle Erweiterungsflächen (Quelle: ELWAS-WEB)


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Die Dimensionierung der Reinigungsstufe erfolgt unter Ansatz von Literaturempfehlungen (s. Kap. 5.7). Im Wesentlichen werden die Empfehlung der Arbeitsgruppe Mikroschadstoffe innerhalb des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe zu Grunde gelegt [KOMS, 2016].

Die Auslegung der Varianten zur Spurenstoffelimination erfolgt für die aus den Jahren 2013 bis 2015 ermittelte Bemessungswassermenge zum maximalen Trockenwetterzufluss. Die Verfahrensvarianten mit PAK Dosierung in die Belebung sind mit einer Filterstufe zur Vermeidung von Kohleabtrieb aus der Nachklärung auszurüsten. Die Filterstufe wird für den maximalen Mischwasserzufluss ausgelegt (Leistung Zulaufpumpwerk). Die Bemessungswassermengen werden in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Bemessungswassermengen - Spurenstoff-Behandlungsstufe (Mittel 2013-2015)

Abwasservolumenstrom	Zulaufmenge
Trockenwetterzufluss - Mittel $Q_{T,mittel}$	80 m ³ /h, 22 l/s
Trockenwetterzufluss - Maximum $Q_{T,max.}$	133 m ³ /h, 37 l/s
Trockenwetterzufluss - Minimum $Q_{T,min}$	37 m ³ /h, 10 l/s
Jahresschmutzwassermenge (JSM) $Q_{S,a}$	0,700 Mio. m ³ /a
Jahresabwassermenge (JAM) $Q_{MW,a}$	0,919 Mio. m ³ /a
Mischwasserzufluss $Q_{M,Bemessung}$	592 m ³ /h, 164 l/s

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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
- Zuführende, ableitende Rohrleitungen, Schachtbauwerke

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination in Variante 1.1 mit einer nachgeschalteten Dyna-Sand Filtration wird schematisch in Bild 31 gezeigt.

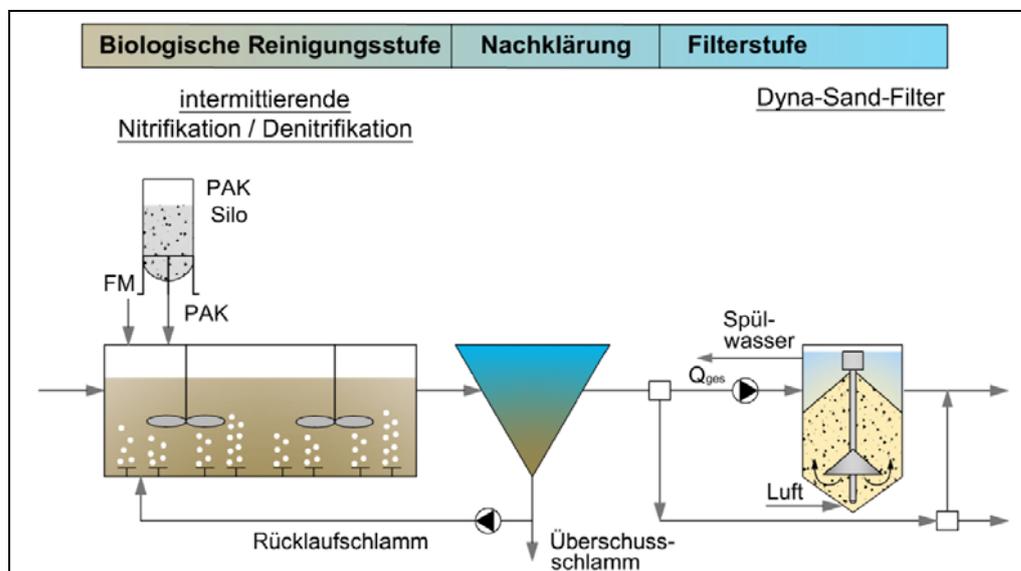


Bild 31: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

Die räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks erfolgt im westlich des Belebungsbeckens 1. Es sind jedoch aufgrund des geringen Platzbedarfes auch alternative Standorte möglich.

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Die Dosierung der PAK erfolgt proportional zum Abwasserzufluss. Es wird der maximale Trockenwetterzufluss von 133 m³/h als Bemessungswert angesetzt.

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen.

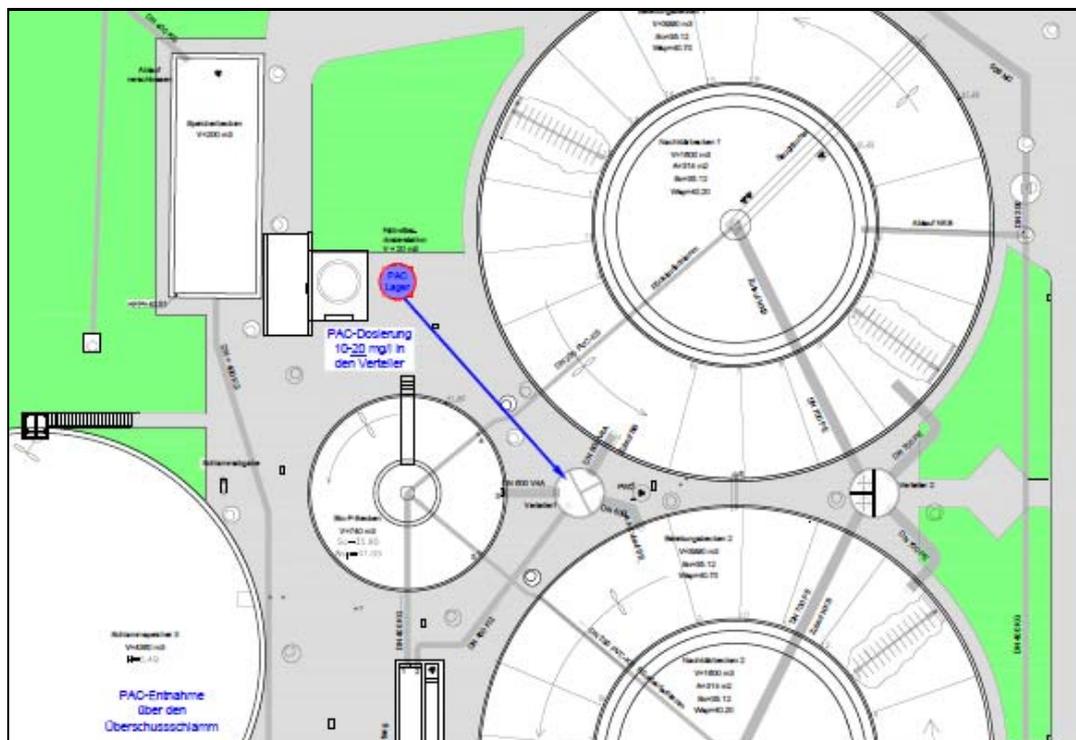


Bild 32: Lageplan KA Rahden West - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Das Verfahrensprinzip wird in Abschnitt 8.5.1 erläutert. Als Filtermedium wird Sand eingesetzt.

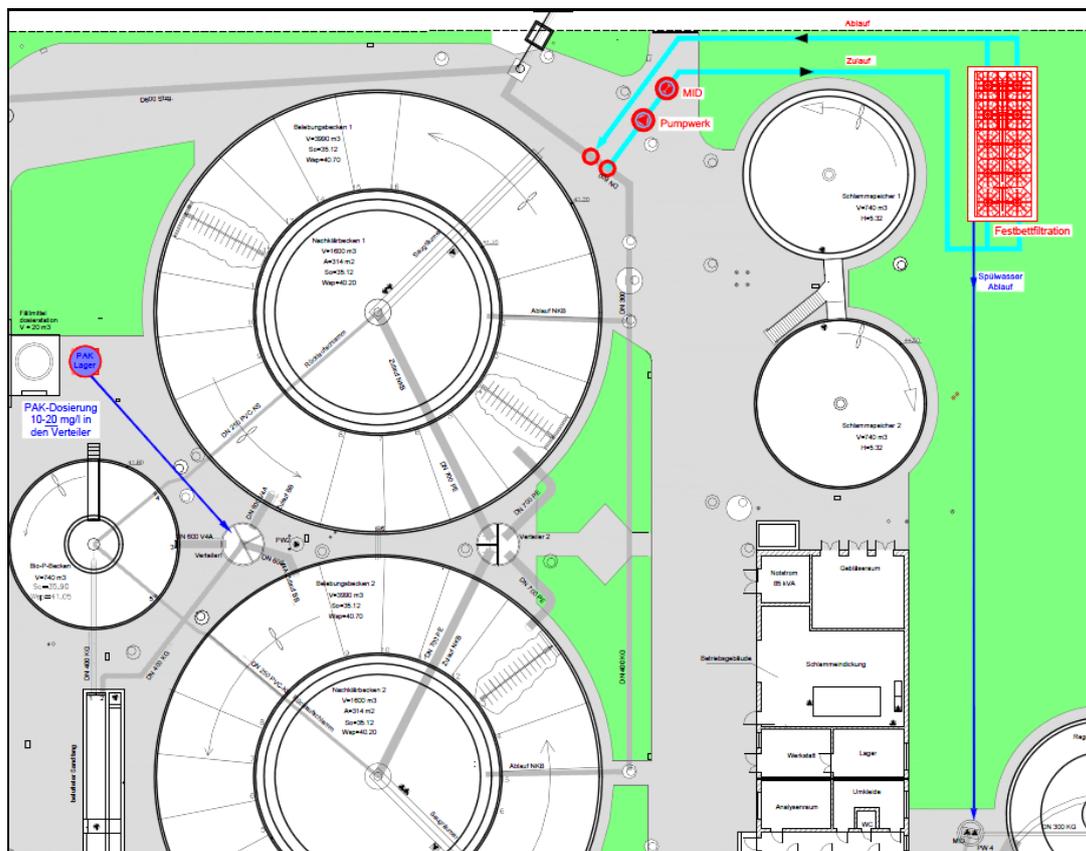


Bild 33: Lageplan KA Rahden - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.1)

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt (2 Filterkammern). Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt für die mittlere Regenwetterwassermenge $Q_m = 592 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Zuführung erfolgt von einem Schachtbauwerk in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

- Beschickungspumpwerk
- Dyna-Sand Filtration, maschinelle Einrichtung, Betonbau
- Kompressorstation, Einhausung
- Elektro-, MSR Technik

Die Dyna-Sand Filtration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 10 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 D (Nordic Water). Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabyrinthen
- 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 einem separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 38)

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 Vollstrom der Kläranlage ausgelegt.

Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.1b)

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt für die mittlere Regenwetterwassermenge $Q_m = 590 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

- Polstoff-Scheibentuchfilter (2x9 Segmente / 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 9/45-B 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.

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s Bild 34)

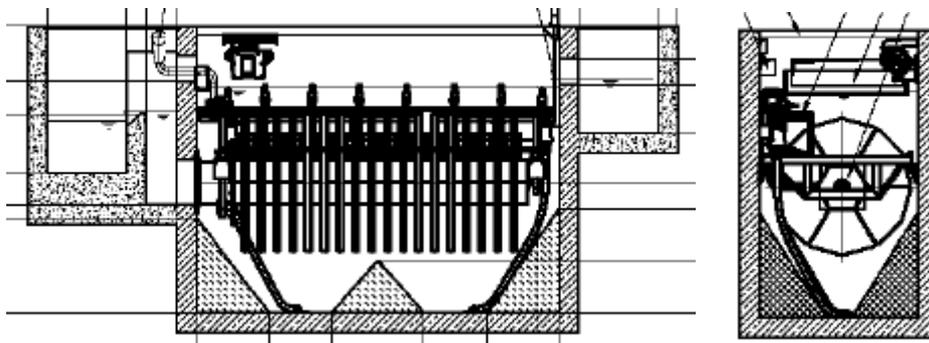


Bild 34: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung)
(Quelle: Fa. Mecana)


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

8.3.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 10: Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge – PAK Dosierung	133 m ³ /h
Bemessungswassermenge – DS-Filtration / Tuchfiltration	592 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (PAK-Dosierung /Filtration)	0,700 Mio. m ³ /a / 0,919 Mio. m ³ /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	20 mg/l
Monatlicher PAK Verbrauch (Vollstrom) (mittel)	1.561 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	18.736 kg/a
PAK Silo gewählt	80 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8.3.3 Diskussion Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung

Die Installation und Integration einer PAK Dosierung ist mit relativ geringem baulichem Aufwand verbunden. Im Wesentlichen ist ein PAK-Silo sowie eine PAK-Ansetzeinheit sowie die Dosiereinrichtung erforderlich. Der Platzbedarf ist insgesamt gering. Der wesentliche Aufwand ist der Bau einer Filterstufe zur Vollstrombehandlung des Kläranlagenablaufes.

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
- Mittlerer Anteil an Maschinenteknik sowie MSR-Technik, keine anspruchsvolle Wartung
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, Verbrennung erforderlich



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

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.

Die adsorptive Reinigungsstufe wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den Varianten 2 und 3 die maximale Trockenwetterwassermenge von 133 m³/h. Die Zuführung erfolgt von einem Schachtbauwerk in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 1.2 wird schematisch in Bild 35 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

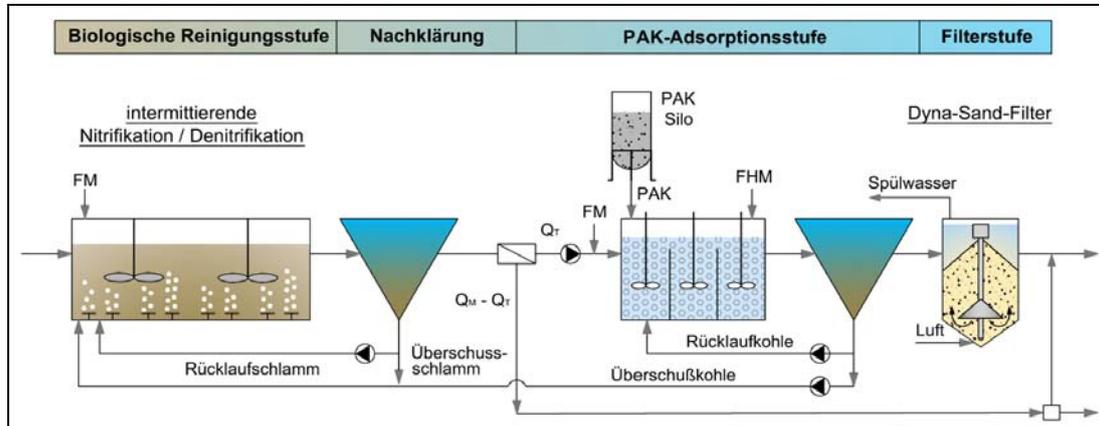


Bild 35: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2 (DS Filtration)

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

Ein 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 Ablauf zu oder optional einem nachgeschalteten Filter.

Aus dem Absetzbecken wird die abgesetzte Kohle in das Kontaktbecken gefördert. Die Rücklaufkohle wird in den Zulauf des Kontaktbeckens zugeführt. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70%. Die Überschussschle wird einem separaten Speicher z.B. dem Schlammspeicher 1 zugeführt oder in den Zulauf zur Belebung gefördert.

Das Kontaktbecken wird u. a. zur optionalen 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 optional Flockungshilfsmittel (Polymere) zur besseren Abtrennung des feinen Kohlestaubes in den Ablauf des Kontaktreaktors. Die Kammern des Kontaktbeckens werden kontinuierlich durchmischt.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Technische Ausrüstung: Rührwerke in den drei Kammern des Kontaktreaktors, Räumbrücke Absetzbecken, Dosierpumpen, -leitungen Fällmittel- und Flockungshilfsmittel. Angenommen wird, dass vorhandene Anlagen zur Lagerung der FHM und FM genutzt werden können und nur Leitungen, Dosierpumpen und eine entsprechende EMSR Technik nachzurüsten sind.

Sollte eine von der P-Elimination unabhängige Auswahl des Fällmittels erfolgen ist eine separate Fällmittel und Flockungshilfsmittel Lager- und Dosierstation vorzusehen. Hiervon wird zunächst nicht ausgegangen.

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Adsorptionsstufe aus dem Ablauf 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 zuführenden Leitungen. Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Messtechnik zur volumenproportionale PAK Zugabe: vorhandenes MID im Zulauf der KA.

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen. Eine separate Behandlung des PAK Überschussschlammes wird hier zunächst nicht betrachtet.

Die Adsorptionsstufe ist östlich der Schlammspeicher 1 und 2 angeordnet.

Um den Austrag von PAK-Feinstoffen aus der Nachklärung zu vermeiden, ist eine Sandfiltration oder Tuchfiltration nachzuschalten.

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.2)

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

Eingesetzt wird: Typ 4 Stück, DS 5000 D (Nordic Water) (oder baugleiche Filter).

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

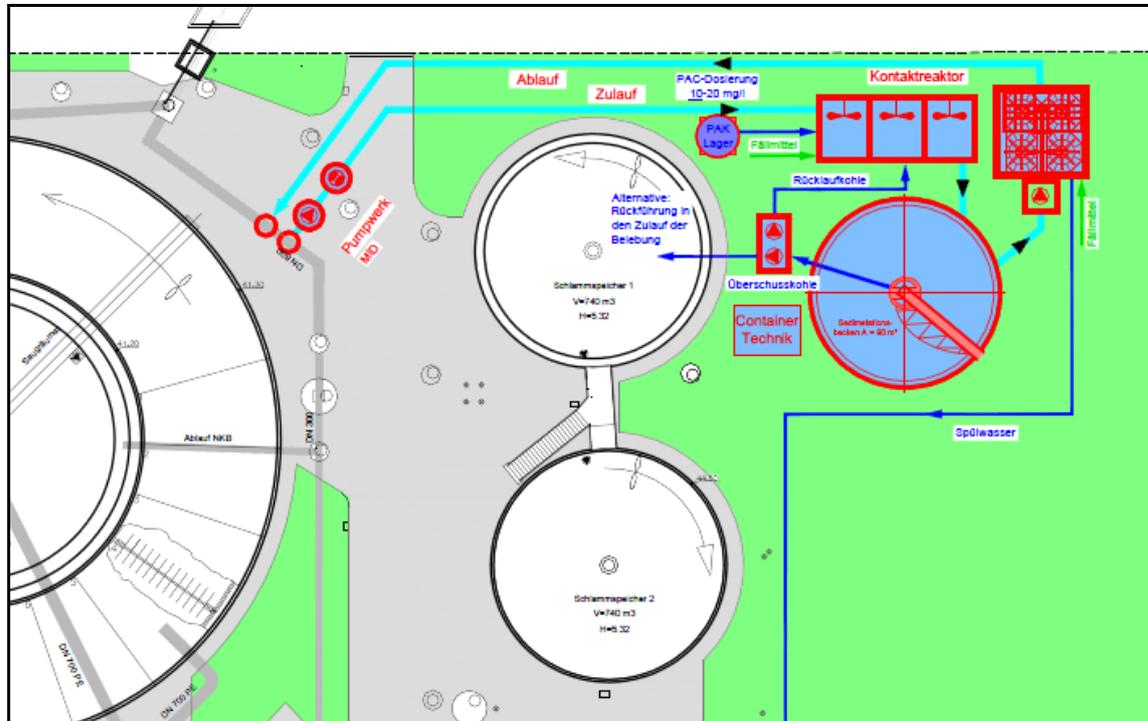


Bild 36: Lageplan KA Rahden - Variante 1.2 – PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe

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 Sedimentationsbecken entspricht der Variante mit Dyna-Sand Filter.

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

Aufgrund der geringeren Bemessungswassermenge besteht der Polstoff-Scheibentuchfilter aus 4 Filterscheiben mit je 6 Filterelementen. Verwendet wird beispielhaft Typ: SF 4/20-B A4 (Mecana). Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 34).



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

8.4.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 11: Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge	133 m ³ /h,
Jährliche Behandlungsmenge	0,700 Mio. m ³ /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	10 mg/l (5 – 15 mg/l)
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	595 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	7.142 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 ³
Volumen Kontaktbecken gewählt	75 m ³
Volumen Absetzbecken gewählt	320 m ³
Oberfläche Absetzbecken gewählt	92 m ²

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8.4.3 Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe

Die Installation und Integration einer adsorptiven Reinigungsstufe ist mit relativ hohem baulichem Aufwand verbunden. Zudem ist der Flächenbedarf verhältnismäßig groß.

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



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

- Mittlerer Energiebedarf
- Konzentrationsabhängige Regelung der Dosierung (z.B. CSB, DOC im Zu- und Ablauf) möglich, in Abhängigkeit von Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziel möglich. Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Geringer Anteil an Maschinenteknik, dennoch aufwändige, anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich (sofern nicht separate Abtrennung und Lagerung), eine Verbrennung erforderlich

Grundsätzlich ist auch eine separate Schlammbehandlung für die Pulveraktivkohle möglich. Hierzu ist jedoch ein zusätzliches Speicher- und Absetzbecken erforderlich (u.U. Bestandsbecken). Hierbei würde 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.

8.5 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[®] Filtration mit granulierter Aktivkohle (GAK) und Betrieb als Dyna-Sand Carbon Filtration untersucht.

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die zwei Beckenabschnitte erlauben bei Filtermaterialwechsel einen Weiterbetrieb mit einem Beckenabschnitt.

Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 133 m³/h. Die Zuführung erfolgt von einem Schachtbauwerk in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.1 wird schematisch in Bild 37 gezeigt:

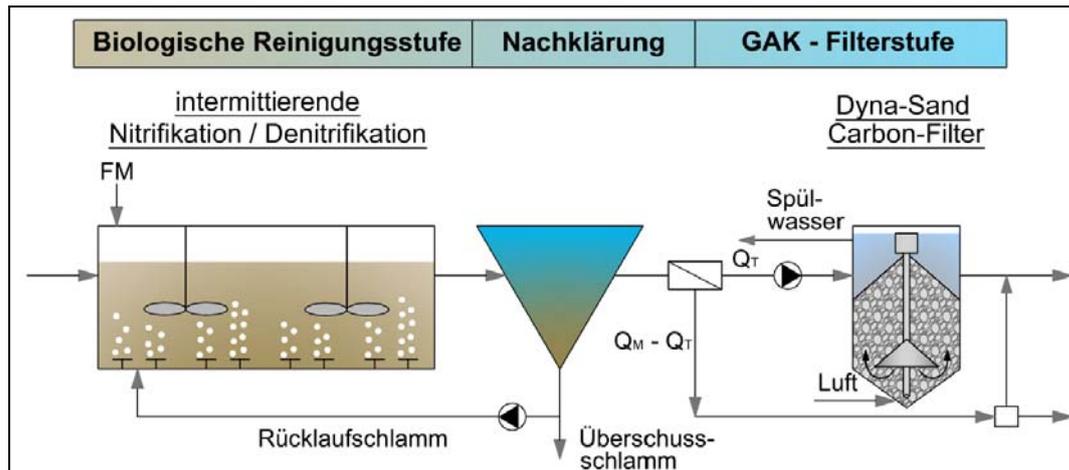


Bild 37: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

Die Dyna-Sand Carbon Filtration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 6 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 D. Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabyrinthen
- 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 ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 38)

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

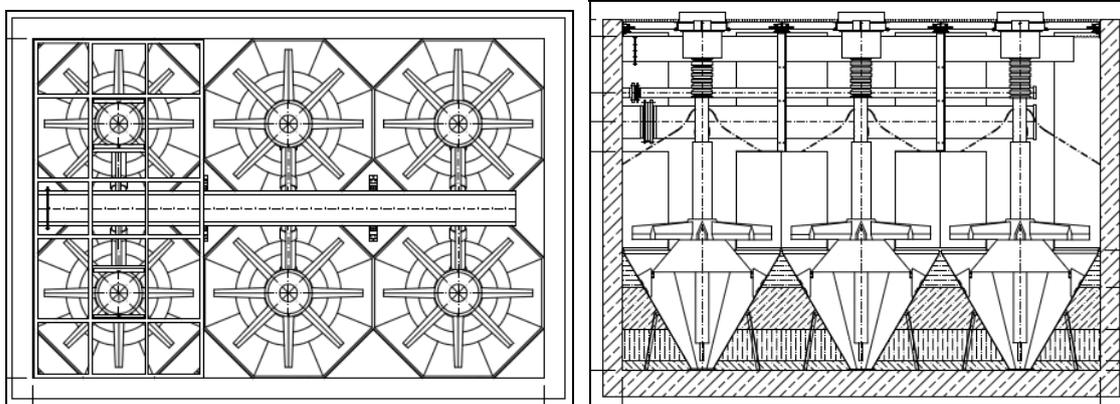


Bild 38: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung)
(Quelle: Fa. Nordic Water)

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), Steuerschrank. Die Füllung erfolgt mit granulierter Aktivkohle.

Ein Beispiel für eine Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) zeigt Bild 39.

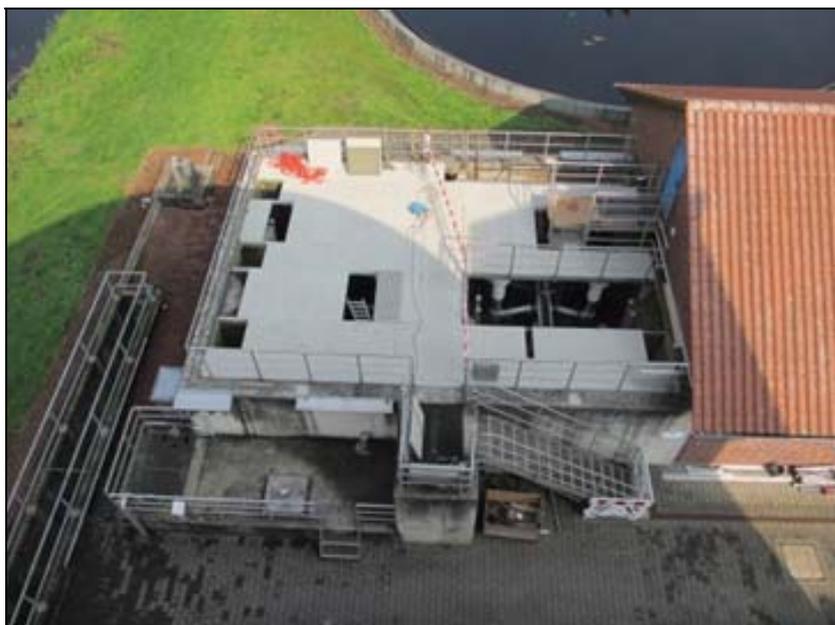


Bild 39: Dyna-Sand Carbon Filtration KA Rietberg (Bauphase) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Die Beschickung der Filtration kann volumenproportional erfolgen. Eine frachtabhängige Steuerung ist durch eine SAK-Messung oder TOC-Messung zu realisieren. Die Standzeit der Aktivkohlefilter 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 40).

Die Unterbringung erfolgt in einem an die Filtration angelehnten separaten Bauteil.



Bild 40: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

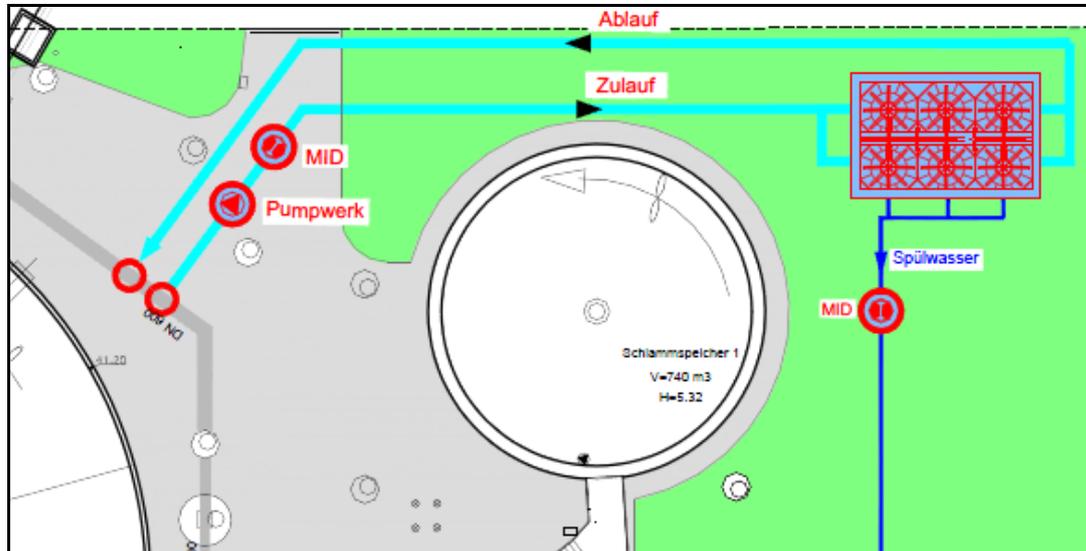


Bild 41: Lageplan KA Rahden - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

8.5.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 12: Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge / mittlere TW-Wassermenge	133 m ³ /h / 80 m ³ /h
Jährliche Behandlungsmenge	0,700 Mio. m ³ /a
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D	6
Filterfläche je Einbauteil	5 m ²
Filterfläche gesamt	30 m ²
Mittlere / maximale Oberflächenbelastung	4 m/h / 3 m/h
Druckluftbedarf	6 Nm ³ /h
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	6,5 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	39 t
Mittlere / minimale Aufenthaltszeit	0,98 h / 0,59 h
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)	378 m ³ (7 m x 9 m x 6 m)

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Die Installation und Integration einer Dyna-Sand Carbon Filtration ist mit mittlerem baulichem Aufwand verbunden. Erweiterungsfläche ist im östlichen Grundstücksbereich der KA Rahden vorhanden.

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

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Verfahren saisonal einsetzbar, 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
- Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Mittlerer Anteil an Maschinentchnik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich

Betriebserfahrungen 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 - Spurenstoffelimination

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 1-straßig ausgelegt mit einem Reservefilter für die Rückspülphase. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 133 m³/h. Die Zuführung erfolgt von einem Schachtbauwerk in der der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Festbettadsorber
- Filtratwasserspeicher
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.2 wird schematisch in Bild 42 gezeigt.

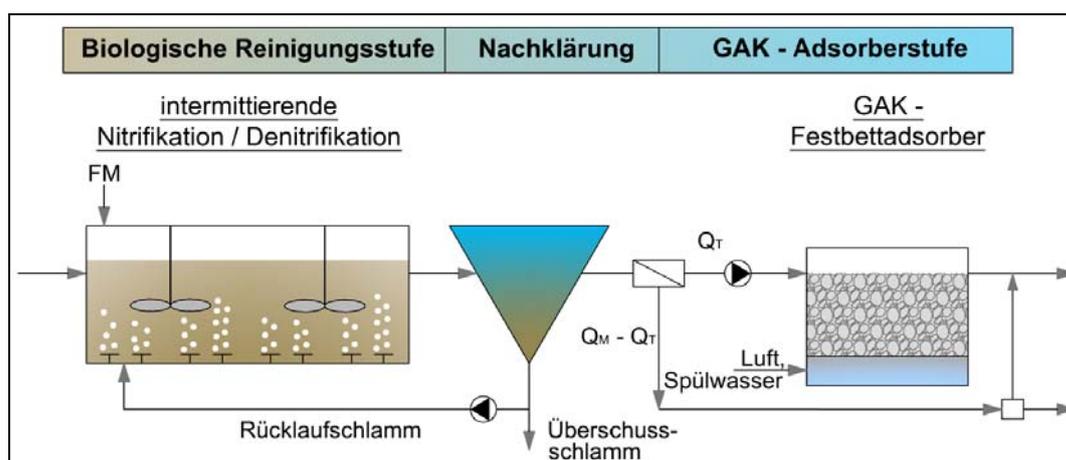


Bild 42: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Errichtung von drei rückspülbaren GAK-Aktivkohle-Adsorbern, einschließlich Zulaufpumpwerk sowie zu- und abführende Leitungen. Zum Spülen der Aktivkohle-Adsorber werden redundant ausgelegte Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse vorgesehen.

Die Rückspülung erfolgt aus dem Spülwasserspeicher. Verwendet wird das Ablaufwasser.

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Spülwassers zur Filtration.

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.

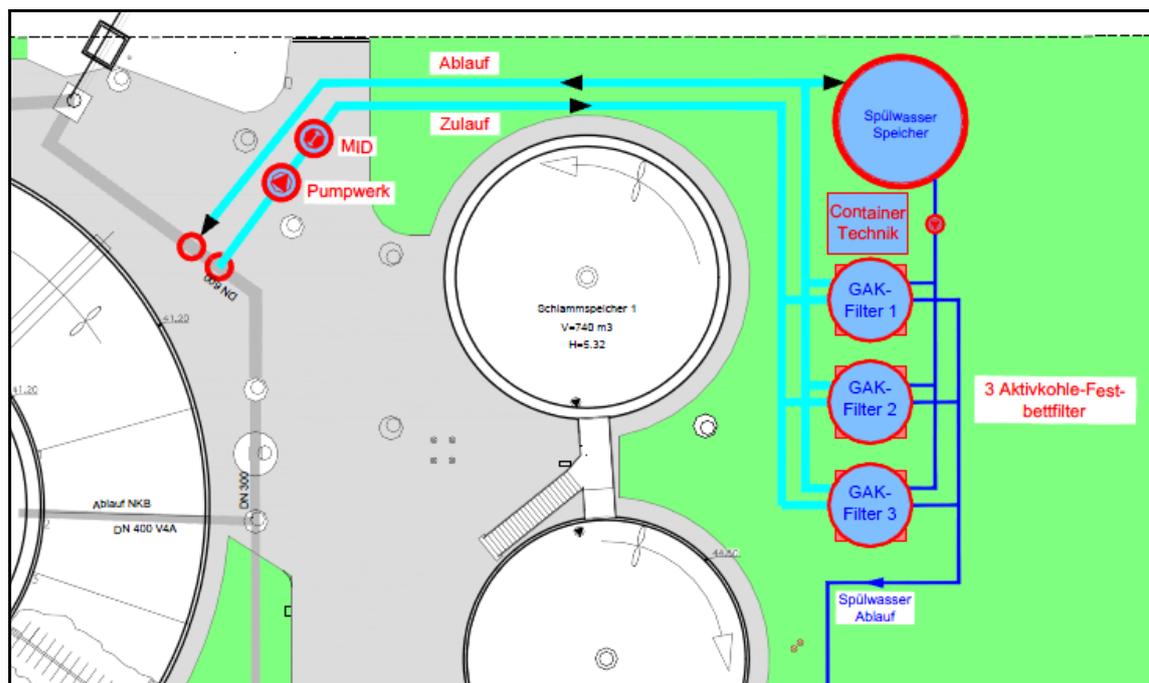


Bild 43: Lageplan KA Rahden - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

8.6.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 13: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge / mittlere TW-Wassermenge	133 m ³ /h / 80 m ³ /h
Jährliche Behandlungsmenge	0,700 Mio. m ³ /a
Anzahl GAK Filter (ohne Reserve)	3
Filterfläche gesamt	27 m ²
Mittlere Oberflächenbelastung	10 m/h
Volumen gesamt Filterbett	106 m ³
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	17,6 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	rd. 53 t
Mittlere Aufenthaltszeit	0,9 h

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

8.6.3 Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)

Die Installation und Integration einer Festbett Adsorberstufe ist mit relativ geringem baulichem Aufwand verbunden. Der Flächenbedarf ist relativ gering. Erweiterungsfläche ist im östlichen Grundstücksbereich der KA Rahden vorhanden.

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

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Verfahren saisonal einsetzbar - 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
- Mittlerer Anteil an Maschinenteknik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik (als Ozonverfahren oder separate PAK-Adsorberstufe)
- Kaum erhöhte Schlammengen
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Redundanz im Falle von Spülvorgängen bedingt den Bau eines weiteren Filters.

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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 betrachtet. In der Ozonung wird der Ablauf der Nachklärung behandelt.

Die Ozonung wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 133 m³/h.

Es werden folgende Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerke
- Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Ozondosierung
- Restozonvernichter
- Dyna-Sand Filter einschl. maschinelle Einrichtung, Betonbau, Kompressorstation,
- Einhausung (Technik), Elektro-, MSR-Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.1 wird schematisch in Bild 44 gezeigt.

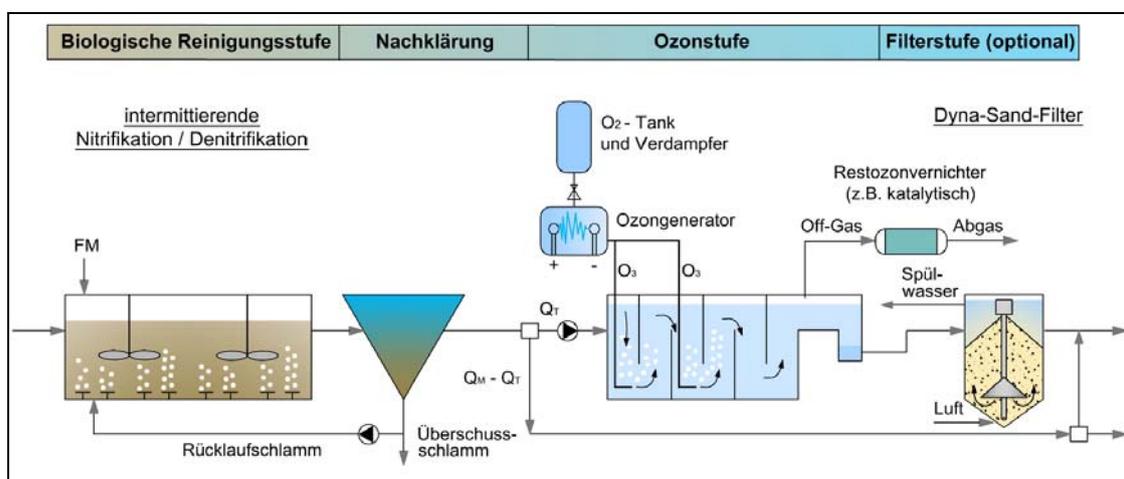


Bild 44: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

In der Nachbehandlungsstufe mit Dyna-Sand Filtration werden durch biologische Aktivität im Filter mögliche negative Auswirkungen einer Ozonierung ausgeglichen. Die ökotoxikologische Auswirkung wird in der Folge als gleichwertig zu Verfahren mit Aktivkohleadsorption angesehen.

Die Konstruktion der Dyna-Sand Filtration ist analog zur Variante 1.1.

Die Ozon-Behandlungsstufe wird im östlichen Betriebsgelände angeordnet. Die Einbindung erfolgt an ein Schachtbauwerk in der Ablaufleitung der Nachklärung. Abwasser wird der Ozonstufe bis zur Bemessungswassermenge über ein Zulaufpumpwerk zugeführt.

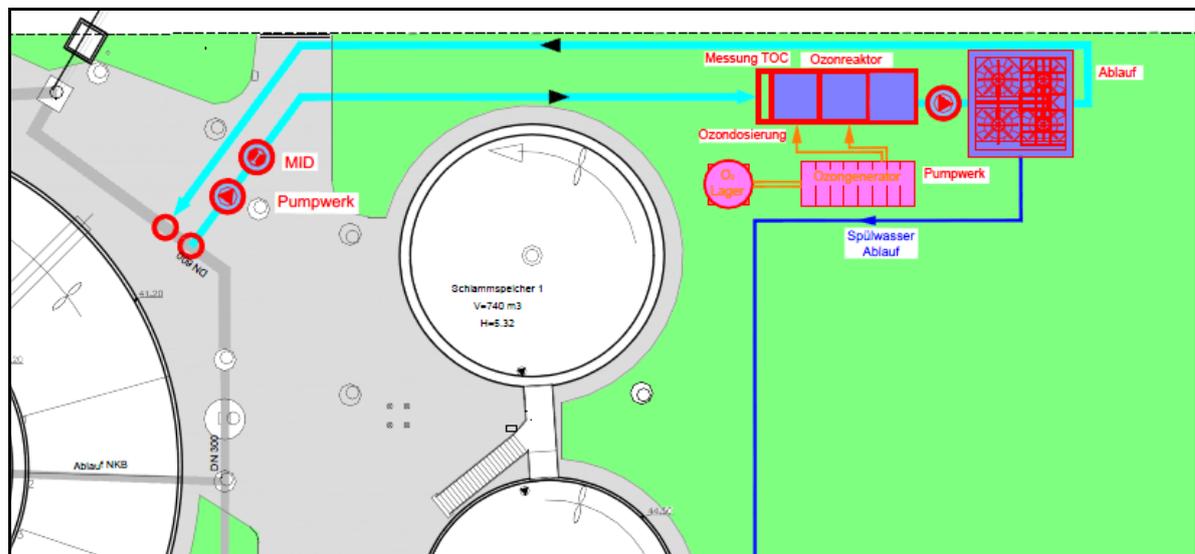


Bild 45: Lageplan KA Rahden - Variante 3.2 – Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration

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 [25].

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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.

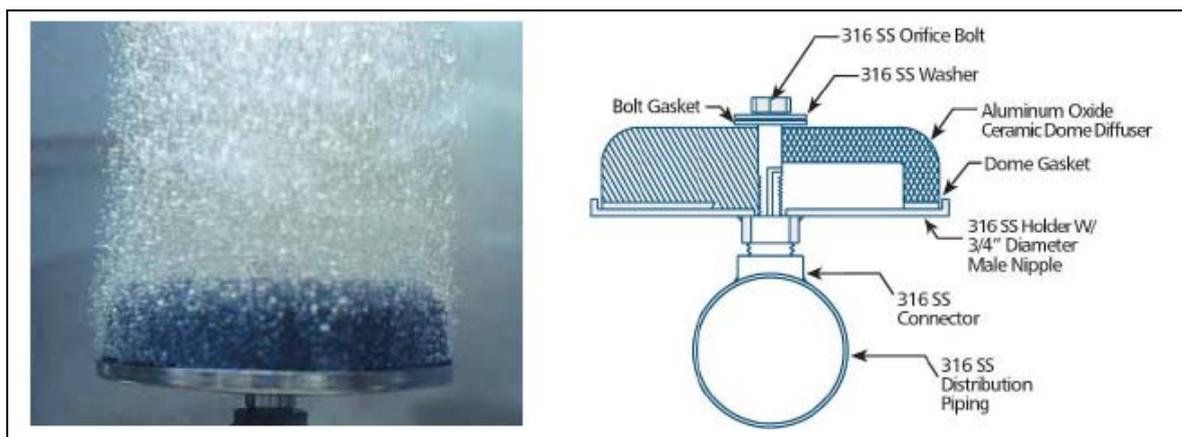


Bild 46: Beispiel Dombdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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 47 gezeigt.

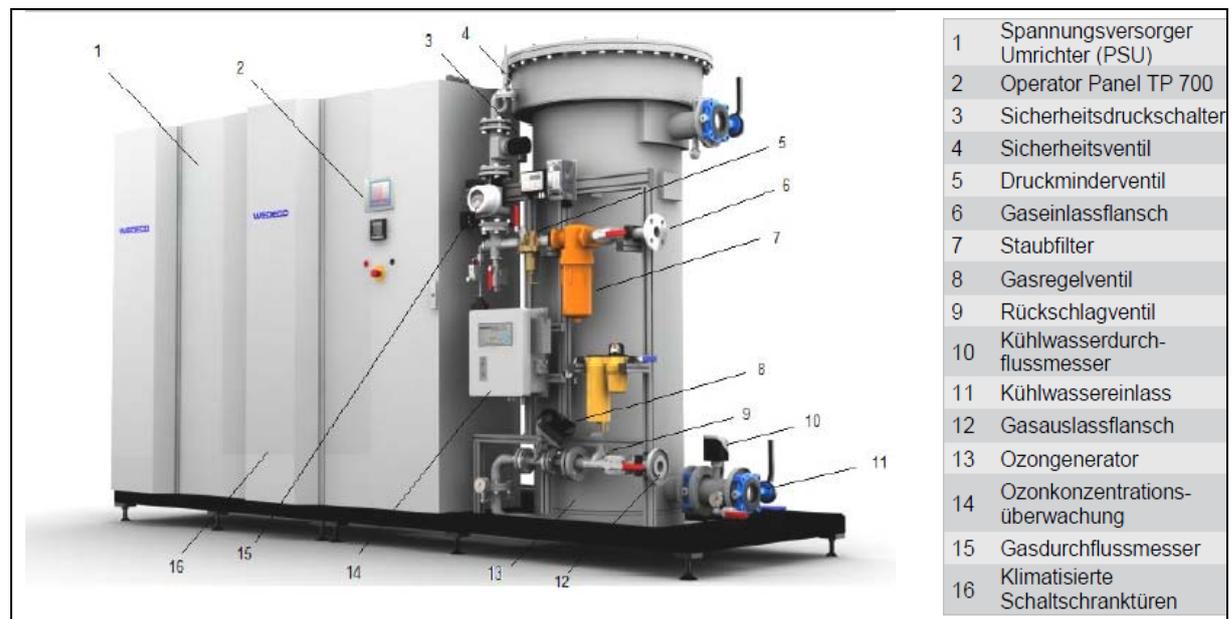


Bild 47: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

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. Ozonmessung auf Basis einer UV-Absorptionsmessung erfolgt im Produktgas und im Abgasstrom.

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination



Bild 48: 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 zur Ozonerzeugung eine zusätzliche 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.

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Vorgesehen sind 4 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 D. (Nordic Water) (oder bauähnlich). Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Beschreibung der Filtration analog – Variante 1.1. Zur Beschickung ist ein weiteres Zulaufpumpwerk vorzusehen. Der Ablauf der Spurenstoff-Behandlungsstufe wird dem Ablauf der Kläranlage zugeleitet.

8.7.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 14 die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 14: Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter

Auslegungsparameter	
Ozonung	
Bemessungswassermenge	133 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge	0,700 Mio. m ³ /a
TOC /DOC Konzentration Ablauf Kläranlage	11,1 mg/l / 9,0 mg/l
Auslegung maximale Ozonmenge	0,75 mgO ₃ /mg DOC
Dosierung Ozon	2 – 12 mg/l, Ansatz Verbrauch: 10 mg/l
Sauerstoffbedarf	10 mgO ₂ /mgO ₃
Leistung Ozongenerator	1,7 kgO ₃ /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor / Bereich Ausgasung	20 min / 10 min
Ozonreaktor gewählt	60 m ³
Ausgasungsbereich gewählt	30 m ³
Volumen Ozonreaktor gesamt	90 m ³
Dyna-Sand Filter	
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D	4
Filterfläche je Einbauteil, Filterfläche gesamt	5 m ² / 20 m ²
Oberflächenbelastung	6,7 m/h
Spülwassermenge	6 m ³ /h
Filtersand (Körnung: 1 – 2 mm)	16 t/Filter
Gesamtmenge Filtersand	64 t
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)	195 m ³ (6,5 m x 5 m x 6 m)

Maßgeblich für die Ozondosierung ist der TOC bzw. DOC Gehalt im Abwasserstrom.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Hier werden zunächst Messergebnisse im Ablauf der Nachklärung vom 26.11.2016 herangezogen: TOC: 11,1 mg/l, DOC: 9,0 mg/l.

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

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 sowie der Dyna-Sand Filtration verbunden. Die Ozonung selbst wird bereits vorinstalliert geliefert und ist als Containeranlage (Maschinen-, EMSR-Technik) aufzustellen und anzuschließen. Der Platzbedarf ist relativ gering. Die Anlage ist im östlichen Betriebsgelände zu errichten.

Mit der Ozonung sind folgende verfahrenstechnische 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)
- Verfahren saisonal einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Höher 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
- Hoher Anteil an Maschinenteknik sowie MSR-Technik, anspruchsvolle Wartung
- Zusätzliche Entkeimung bzw. Hygienisierung des Kläranlagenablaufes
- Keine erhöhten Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiterhin möglich
- Die Bromidkonzentration wurde nicht erfasst, kritische Werte sind nicht bekannt. Vor einer möglichen Realisierung der Anlage sind entsprechend Analysen vorzunehmen.
- Durch die Dyna-Sand Filtration als weitere Behandlungsstufe entstehen höher Betriebskosten, u.a. durch eine weitere Hebung des Abwasserstroms, Wartung und Instandhaltung.

Eine Aufstellung der Investitions- und Betriebskosten ist der Anlage zu entnehmen.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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 15 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 15: Zusammenstellung Investitionskosten

	Variante 1 - PAK				Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten	540.564 €	364.335 €	680.895 €	625.180 €	470.265 €	516.168 €	501.028 €
Maschinentechnik Kosten	635.500 €	728.500 €	805.250 €	777.750 €	268.000 €	387.500 €	693.500 €
EMSR-Technik Kosten	60.500 €	60.500 €	107.500 €	107.500 €	110.000 €	122.500 €	102.500 €
Summe Investkosten (netto)	1.236.564 €	1.153.335 €	1.593.645 €	1.510.430 €	848.265 €	1.026.168 €	1.297.028 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	247.313 €	230.667 €	318.729 €	302.086 €	169.653 €	205.234 €	259.406 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	1.483.877 €	1.384.002 €	1.912.374 €	1.812.516 €	1.017.918 €	1.231.402 €	1.556.434 €
Mehrwertsteuer 19%	281.937 €	262.960 €	363.351 €	344.378 €	193.404 €	233.966 €	295.722 €
Summe Investkosten (brutto)	1.765.813 €	1.646.962 €	2.275.725 €	2.156.894 €	1.211.322 €	1.465.368 €	1.852.156 €
Prozente	146%	136%	188%	178%	100%	121%	153%

Die Variante 2.1 (DSC-Filter) weist mit rd. 1.21 Mio. Euro (brutto) die geringsten Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 21% über diesen Varianten liegen mit rd. 1,46 Mio. Euro die



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Varianten 2.2 GAK in Adsorptions-Filter. Die Varianten 1.2 und 1.2b weisen mit Mehrkosten von 88% bzw. 78 % im Vergleich zu Variante 2.1 die höchsten Investitionskosten auf.

Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 1,211 Mio. Euro und 2,277 Mio. Euro brutto erheblich.

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

Bild 49 zeigt die ermittelten Investitionskosten (brutto) unterteilt nach Bau-, Maschinen- und EMSR Technik.

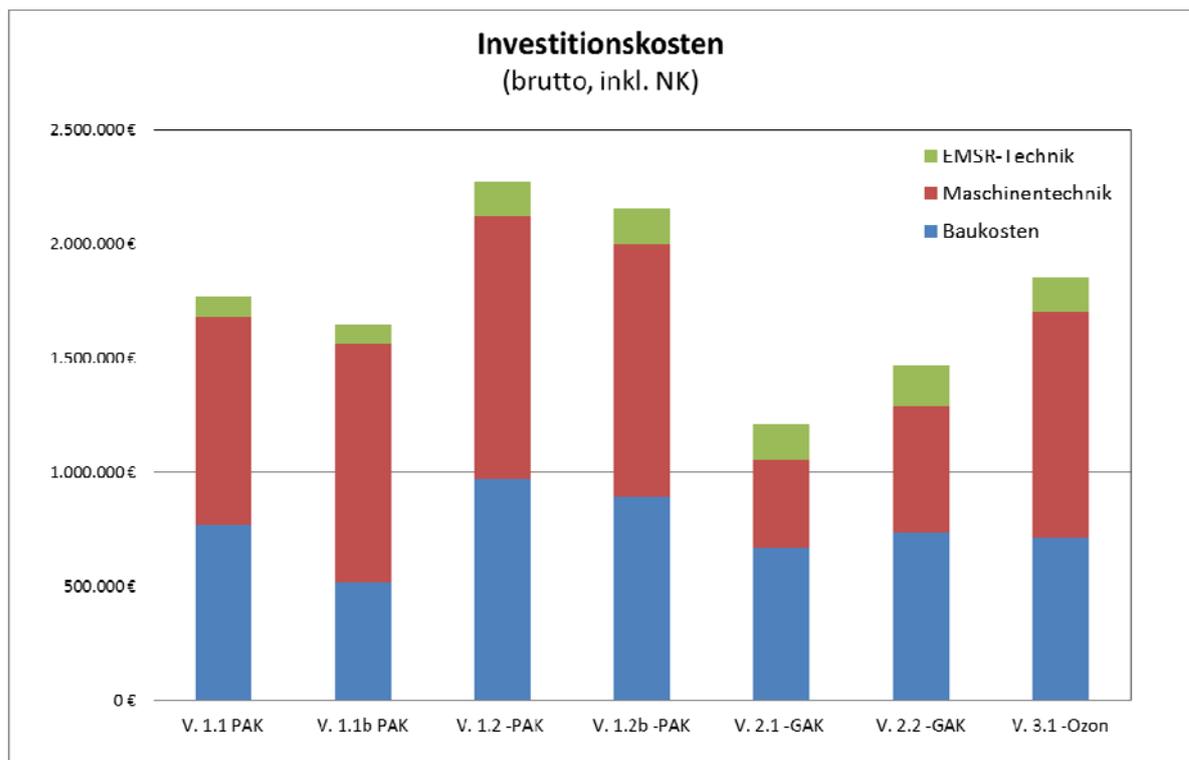


Bild 49: Investitionskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)

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



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 Klärschlamm Entsorgung, können je nach Marktlage abweichen.

Die Betriebskosten sind unterteilt in Wartung und Instandhaltung, Verbrauchsstoffe, Energiebedarf, Schlamm Entsorgung 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:	0,16 €/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:	65.000,-- €/a
Sauerstoff:	0,20 €/kg O ₂

Die spezifischen Kosten für Sauerstoff beinhalten auch die Tankmiete.

Schlamm Entsorgung wird als Differenz landwirtschaftliche Schlammverwertung / Verbrennung angesetzt. Derzeitige Kosten für die Entsorgung / Verwertung in der Landwirtschaft: 21,20 €/m³ bei 5.200 m³/a mit 4% TS.

Da es bei Einsatz von Pulveraktivkohle und gemeinsamer Abtrennung der Kohle zusammen mit dem Primär- und Überschussschlamm nicht mehr möglich ist den entwässerten Schlamm in der Landwirtschaft zu entsorgen, ist der gesamte Schlamm der Verbrennung zuzuführen.

Hierzu ist der Nassschlamm zu entwässern. Geht man von einem üblichen Feststoffgehalt von 25% aus beträgt der Schlammanfall 832 m³/a.

Die Mehrkosten für die Verbrennung des Schlammes sind im Rahmen des Kostenvergleiches anzusetzen. Als Preisspanne der Entsorgungskosten von mechanisch entwässertem Schlamm (20 – 45 %TS) benennen Schumacher et al. ([30] zitiert in [31]) 33,-- bis 45,-- €/t_{FS} für (überregionale)



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

landwirtschaftliche Entsorgung und 80,-- bis 120,-- €/t_{FS} für Monoverbrennung bzw. 75,-- bis 100,-- €/t_{FS} für Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken an.

Als Mehrkosten werden angesetzt: 45,-- €/t_{FS} (entwässerter Schlamm).

Ein besonderer Aspekt im Zusammenhang mit der Klärschlammentsorgung 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 steht damit ggf. schon ab 2017 vor dem Aus.

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).

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Bei Varianten mit GAK Filtration (Varianten 2.1, 2,2) wurde zunächst eine Standzeit der Filtration von rd. 13,5 bzw. 18,5 Monate angesetzt. Es sind 0,9 bzw. 0,65 Befüllungen mit Aktivkohle pro Jahr erforderlich. Dies entspricht für beide Varianten rd. 10.000 durchgesetzten Bettvolumina (BV) bis zur Erschöpfung der Adsorptionskapazität der Aktivkohle.

Auswirkungen abweichender Standzeiten auf die Betriebskosten werden in Abschnitt 9.4 untersucht.

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

Es ergeben sich die in Tabelle 16 aufgeführten jährlichen Betriebskosten der einzelnen Varianten zu Spurenstoffelimination.

Tabelle 16: Zusammenstellung Betriebskosten mit und ohne Schlammmentsorgungskosten

	Variante 1 - PAK				Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	25.681 €	26.708 €	33.116 €	31.734 €	14.943 €	19.237 €	27.865 €
Verbrauchsstoffe	29.175 €	31.267 €	11.940 €	13.033 €	45.483 €	44.640 €	14.656 €
Energiebedarf	10.182 €	7.009 €	10.683 €	9.049 €	6.711 €	7.809 €	31.130 €
Schlammmentsorgung	38.267 €	38.267 €	38.385 €	38.385 €	0 €	0 €	0 €
Personalkosten	16.250 €	16.250 €	16.250 €	16.250 €	10.156 €	12.188 €	16.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	119.555 €	119.501 €	110.374 €	108.451 €	77.293 €	83.874 €	89.901 €
Mehrwertsteuer 19%	22.715 €	22.705 €	20.971 €	20.606 €	14.686 €	15.936 €	17.081 €
Summe Betriebskosten (brutto)	142.270 €	142.206 €	131.345 €	129.057 €	91.979 €	99.810 €	106.982 €
Prozente	155%	155%	143%	140%	100%	109%	116%
Summe Betriebskosten ohne Schlammmentsorgung (brutto)	96.733 €	96.668 €	85.667 €	83.379 €	91.979 €	99.810 €	106.982 €
Prozente	116%	116%	103%	100%	110%	120%	128%

Die Betriebskosten variieren von rd. 92.000 €/a der Varianten 2.1 bis rd. 142.000,-- € bei Variante 1.1 (brutto). Die kostengünstigsten Varianten mit GAK Filtration liegen mit einem Abstand von rd. 9 % in ähnlicher Größenordnung. Nächst günstigste Variante ist 3.1 mit Ozonierung mit rd. 16% höheren Betriebskosten..



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

Bild 50 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 dieser für die Wirtschaftlichkeit besonders sensitiven Kosten wird in Abschnitt 9.4 im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

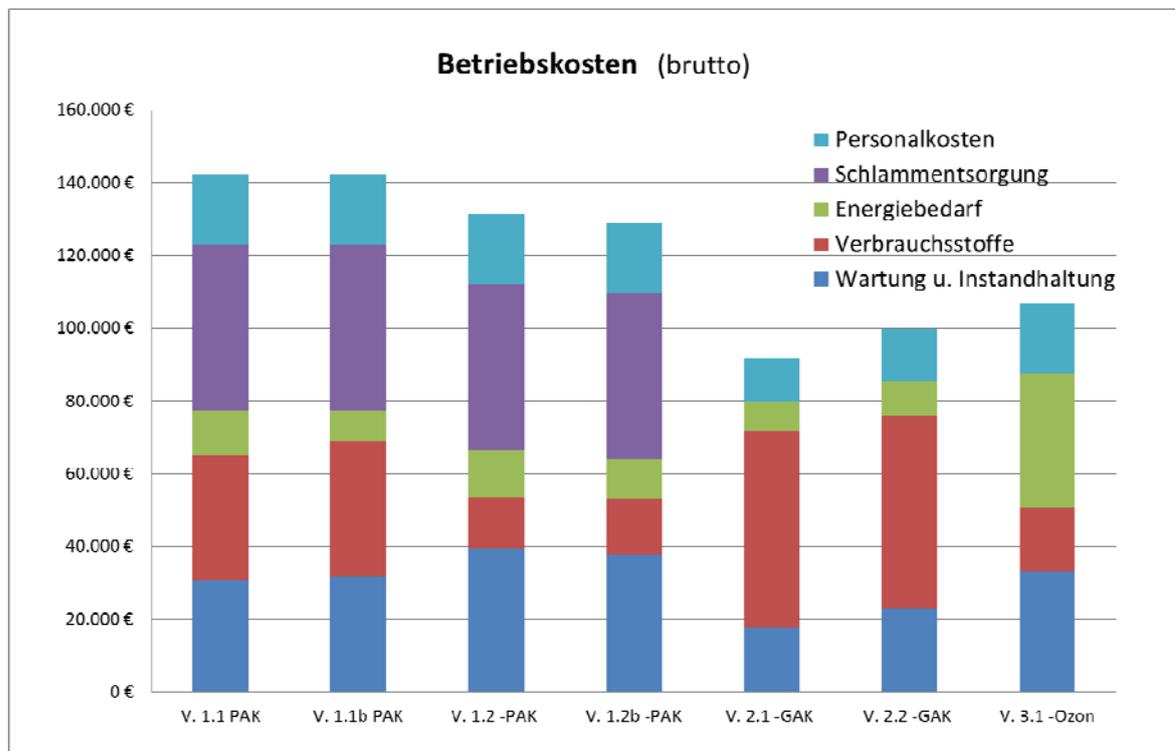


Bild 50: Jährliche Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Vernachlässigt man die Schlammbehandlungskosten sind die Varianten 1.2 und 1.2b PAK in Adsorptionsstufe und nachgeschaltete Dyna-Sand Filtration bzw. Scheibentuchfilter die Verfahren mit den geringsten Betriebskosten.

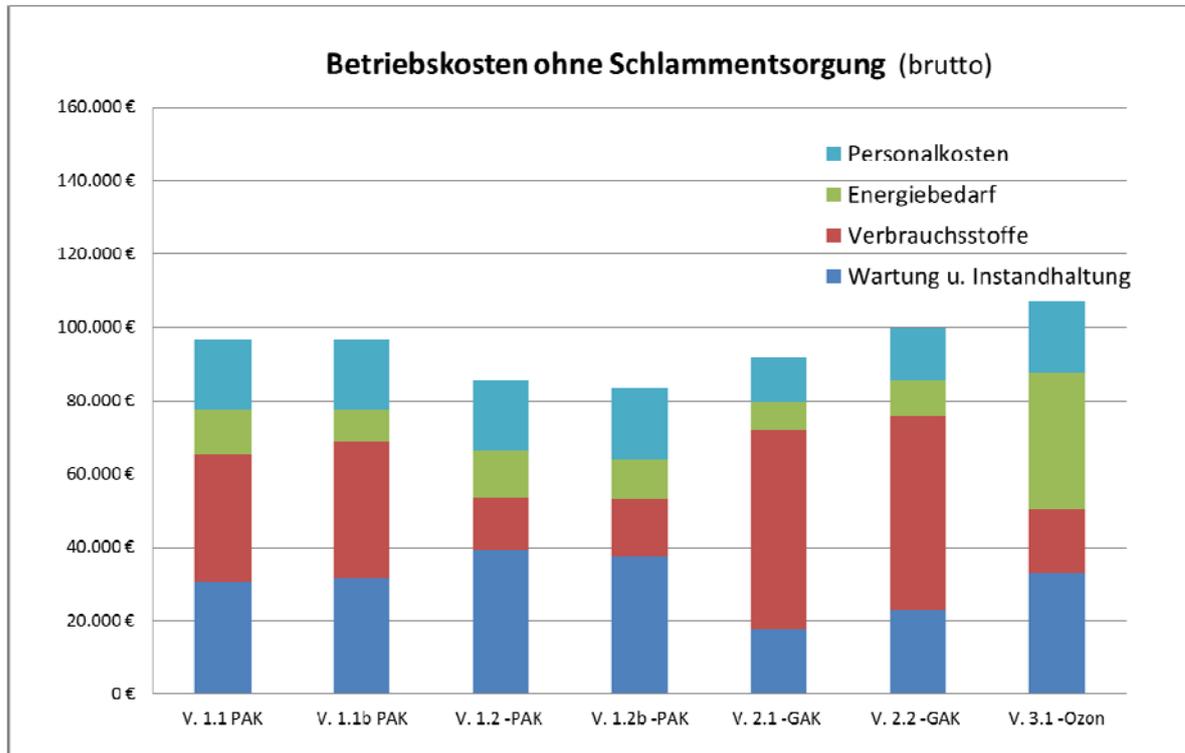


Bild 51: Jährliche Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammbehandlungskosten (brutto)

Der hohe Kostenanteil der Verbrauchsmaterialien (GAK) an den Betriebskosten der Varianten 2.1 und 2.2 wird in Bild 51 deutlich. Die Schwankungen der Einkaufspreise für GAK auf die Jahreskosten der Varianten werden im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersucht (Abschnitt 9.4).



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 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten (gesamt)	540.564 €	680.895 €	470.265 €	516.168 €	501.028 €
Baukosten (ohne GAK Erstbef.)	540.564 €	680.895 €	419.565 €	447.268 €	501.028 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Jahreskosten Bau	27.580 €	34.739 €	21.406 €	22.820 €	25.562 €
Maschinentechnik Kosten	635.500 €	805.250 €	268.000 €	387.500 €	693.500 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR _{3,15}	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
Jahreskosten MT	53.236 €	67.456 €	22.450 €	32.461 €	58.094 €
EMSR-Technik Kosten	60.500 €	107.500 €	110.000 €	122.500 €	102.500 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR _{3,10}	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
Jahreskosten EMSR	7.092 €	12.602 €	12.895 €	14.361 €	12.016 €
Jahreskosten Invest (netto)	87.908 €	114.797 €	56.752 €	69.641 €	95.673 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	17.582 €	22.959 €	11.350 €	13.928 €	19.135 €
Jahreskosten Invest,NK (netto)	105.489 €	137.757 €	68.102 €	83.569 €	114.808 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	119.555 €	110.374 €	77.293 €	83.874 €	89.901 €
Jahreskosten Gesamt(netto)	225.044 €	248.131 €	145.395 €	167.443 €	204.709 €
Mehrwertsteuer 19%	42.758 €	47.145 €	27.625 €	31.814 €	38.895 €
Jahreskosten Gesamt(brutto)	267.803 €	295.276 €	173.020 €	199.258 €	243.603 €
Prozente	155%	171%	100%	115%	141%

ohne Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 18.123 EW	14,78 €/EW/a	16,29 €/EW/a	9,55 €/EW/a	10,99 €/EW/a	13,44 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 699.709 m ³ /a	0,38 €/m ³	0,42 €/m ³	0,25 €/m ³	0,28 €/m ³	0,35 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 476.810 m ³ /a	0,56 €/m ³	0,62 €/m ³	0,36 €/m ³	0,42 €/m ³	0,51 €/m ³

Die ermittelten Jahreskosten ohne Berücksichtigung einer Förderung variieren zwischen brutto rd. 173.000,-- € der Variante 2.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filter und 295.000,-- € für Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe. Der Unterschied der Jahreskosten beträgt



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

maximal 71 %. Im unteren Bereich liegen die Jahreskosten der Varianten mit GAK Filtration, Variante 2.2 mit Mehrkosten von 15 % und Variante 3.1 mit Mehrkosten von 41 % der Behandlungsvariante mit Ozon und Dyna-Sand Filtration.

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 18.125 EW betragen 9,55 €/EW/a (Variante 2.1) und maximal 16,29 €/EW/a (Variante 1.2). Es ergibt sich für die behandelte Wassermenge (Trockenwetter) ein spezifischer Preis von brutto 0,25 €/m³ (Variante 2.1). Bezogen auf die Frischwassermenge ergeben sich Mehrkosten von 0,36 €/m³ (Variante 1.2).

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (ohne Förderung, mit Schlammensorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 52.

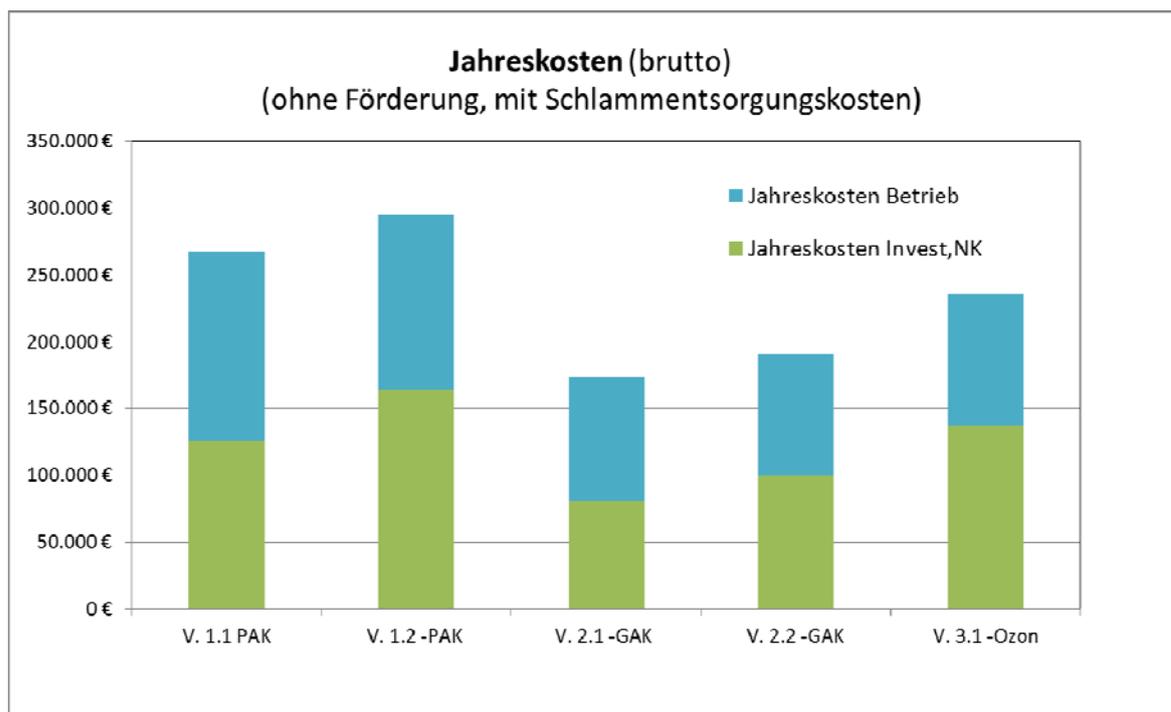


Bild 52: Jahreskosten – ohne Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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 wirtschaftlich potentiell güns-



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

tiger. Tabelle 18 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70 %, dem für 2016 gültigen Fördersatz, mit und ohne Berücksichtigung der Schlamm Entsorgungskosten.

Tabelle 18: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70 %, mit und ohne Schlamm Entsorgungskosten)

	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 -GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)	1.483.877 €	1.912.374 €	1.017.918 €	1.231.402 €	1.556.434 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	1.038.714 €	1.338.662 €	712.543 €	861.981 €	1.089.504 €
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)	52.995 €	68.299 €	36.354 €	43.978 €	55.586 €
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	52.494 €	69.458 €	31.748 €	39.591 €	59.221 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	119.555 €	110.374 €	77.293 €	83.874 €	89.901 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	172.049 €	179.832 €	109.041 €	123.465 €	149.122 €
Mehrwertsteuer 19%	32.689 €	34.168 €	20.718 €	23.458 €	28.333 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	204.739 €	214.000 €	129.759 €	146.923 €	177.455 €
Prozente	158%	165%	100%	113%	137%

mit Förderung (70%) mit Klärschlamm Entsorgungskosten

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 18.123 EW	11,30 €/EW/a	11,81 €/EW/a	7,16 €/EW/a	8,11 €/EW/a	9,79 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 699.709 m ³ /a	0,29 €/m ³	0,31 €/m ³	0,19 €/m ³	0,21 €/m ³	0,25 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 476.810 m ³ /a	0,43 €/m ³	0,45 €/m ³	0,27 €/m ³	0,31 €/m ³	0,37 €/m ³

mit Förderung (70%), ohne Klärschlamm Entsorgungskosten

Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	159.201 €	168.322 €	129.759 €	146.923 €	177.455 €
Prozente	123%	130%	100%	113%	137%
Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1
Angeschlossene Einwohner 18.123 EW	8,78 €/EW/a	9,29 €/EW/a	7,16 €/EW/a	8,11 €/EW/a	9,79 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 699.709 m ³ /a	0,23 €/m ³	0,24 €/m ³	0,19 €/m ³	0,21 €/m ³	0,25 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 476.810 m ³ /a	0,33 €/m ³	0,35 €/m ³	0,27 €/m ³	0,31 €/m ³	0,37 €/m ³



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung die Variante 2.1 mit einer GAK Dyna-Sand Carbon Filtration die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Variante mit Ozonierung liegt mit Mehrkosten von 37 % im mittleren Bereich.

Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,27 €/m³ Frischwasser.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (mit Förderung, mit Schlammmentsorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 53.

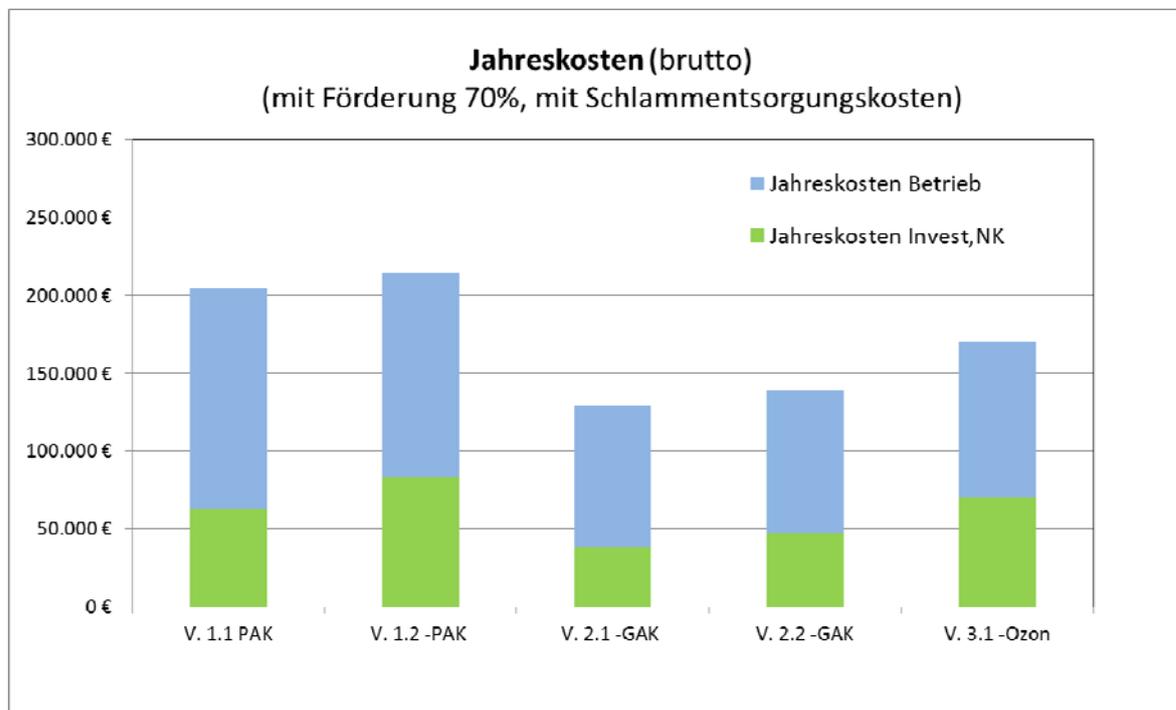


Bild 53: Jahreskosten – mit Förderung, mit Schlammmentsorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

Soll auch berücksichtigt werden, dass ab 2025 voraussichtlich die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab Größenklasse 4 entfällt, sind die höheren Schlammmentsorgungskosten für eine thermische Verwertung aus der Kostenvergleichsrechnung heraus zu nehmen.

Es zeigt sich, dass auch bei Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammmentsorgungsmehrkosten die Variante 2.1 mit GAK in einer Dyna-Sand Carbon Filtration



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

die im Vergleich günstigsten Jahreskosten aufweist. Insgesamt ist der Kostenunterschied der Jahreskosten aller Varianten mit maximal 37 % relativ gering.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (mit Förderung 70%, ohne Schlamm Entsorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 54.

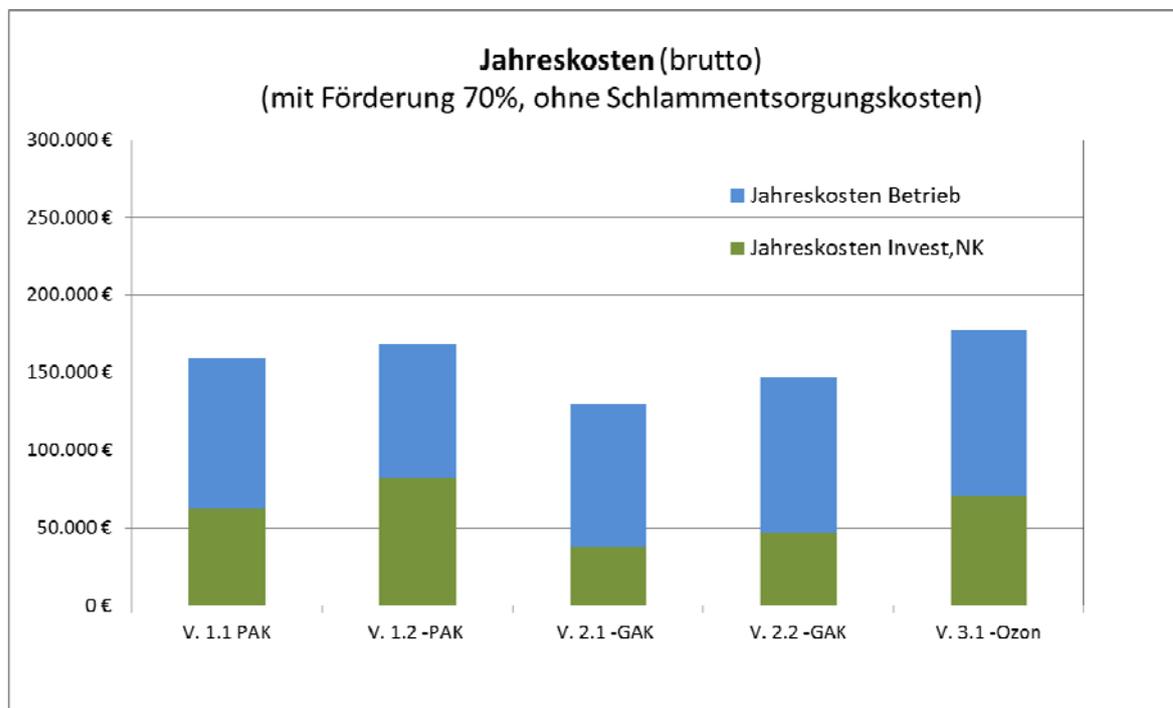


Bild 54: Jahreskosten – mit Förderung, ohne Schlamm Entsorgungskosten - der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)


 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 Schlammmentsorgung (thermisch)

sowie als betrieblicher Parameter:

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

Die untersuchten Variationen der wirtschaftlichen Parameter zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter

Parameter	Kostenbasis	Variation - Mindestwert	Variation - Maximalwert
Energiekosten	0,16 €/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. Schlammmentsorgung	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	15 mg/l	25 mg/l
Dosieraten PAK (Variante 1.2)	10 mg/l	8 mg/l	20 mg/l
Dosieraten Sauerstoff	12 mg O ₃ /l	8 mg O ₃ /l	16 mg O ₃ /l



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

In Tabelle 20 werden aus den variierten Betriebskosten maximale Jahreskosten ermittelt.

Die Variante 1.1.c wird aufgrund der Ähnlichkeit mit Variante 1.1.b bei der Betrachtung vernachlässigt, ebenso die Variante 1.2.b aufgrund der Ähnlichkeit mit Variante 1.2.

Bei Variierung der Betriebsparameter für Dosieraten Ozon und PAK sowie Standzeiten der GAK Filter wurden jeweils mittlere spezifische Kosten für Sauerstoff und Aktivkohle angesetzt.

Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto)

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB, DS- Filter	Variante 1.2 - PAK Adsorpt. Stufe, DS-Filter	Variante 2.1 - GAK DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK Adsorber	Variante 3.1 - Ozon, DS Filter
Energiekosten	0,14 €/kWh	-1.273 €/a	-1.335 €/a	-839 €/a	-976 €/a	-3.891 €/a
	0,28 €/kWh	7.637 €/a	7.433 €/a	5.033 €/a	5.856 €/a	23.347 €/a
Kosten Aktivkohle PAK	1.200 €/t	-5.515 €/a	-2.099 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.800 €/t	5.515 €/a	2.099 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Aktivkohle GAK	1.100 €/t	0 €/a	0 €/a	-6.997 €/a	-6.868 €/a	0 €/a
	1.600 €/t	0 €/a	0 €/a	10.496 €/a	10.302 €/a	0 €/a
Differenz Kosten therm. Schlamm Entsorgung	30 €/t _{FS}	-12.756 €/a	-12.795 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	60 €/t _{FS}	12.756 €/a	12.795 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Sauerstoff	150 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-3.504 €/a
	300 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	7.008 €/a
Standzeit GAK, behandelte BV	13.000 BV	0 €/a	0 €/a	-10.496 €/a	-10.302 €/a	0 €/a
	7.000 BV	0 €/a	0 €/a	19.493 €/a	19.132 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.1)	15 mg/l	-6.894 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	25 mg/l	6.894 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.2)	8 mg/l	0 €/a	-2.099 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	20 mg/l	0 €/a	10.476 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten Sauerstoff	8 mgO ₃ /l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-4.672 €/a
	16 mgO ₃ /l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	4.672 €/a
maximale Veränderung Betriebskosten	min	-26.438 €/a	-18.328 €/a	-18.332 €/a	-18.146 €/a	-12.067 €/a
	max	32.802 €/a	32.803 €/a	35.022 €/a	35.290 €/a	35.027 €/a
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	119.555 €	110.374 €	77.293 €	83.874 €	89.901 €
min. Betriebskosten	min	93.117 €	92.046 €	58.961 €	65.728 €	77.834 €
max. Betriebskosten	max	152.357 €	143.177 €	112.315 €	119.164 €	124.928 €
Jahreskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	225.044 €	248.131 €	145.395 €	167.443 €	204.709 €
min. Jahreskosten	min	198.606 €	229.803 €	127.063 €	149.297 €	192.642 €
max. Jahreskosten	max	257.846 €	280.934 €	180.417 €	202.733 €	239.736 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	88%	93%	87%	89%	94%
	max	115%	113%	124%	121%	117%



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die günstigsten Jahreskosten ergeben sich für Annahme minimaler Betriebskosten für Variante Varianten 2.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filtration. Bei Annahme ungünstiger, hoher Betriebskosten ist die Variante rd. 24 % teurer und bei Annahme günstiger Betriebskosten 13 % günstiger.

Die Jahreskosten der betrachteten Varianten können bei günstiger Kostenannahme der Betriebskosten um 6 % bis 23 % unter den mittleren Kostenannahmen liegen und bei ungünstiger Kostenannahme um 13 % bis 24 % darüber.

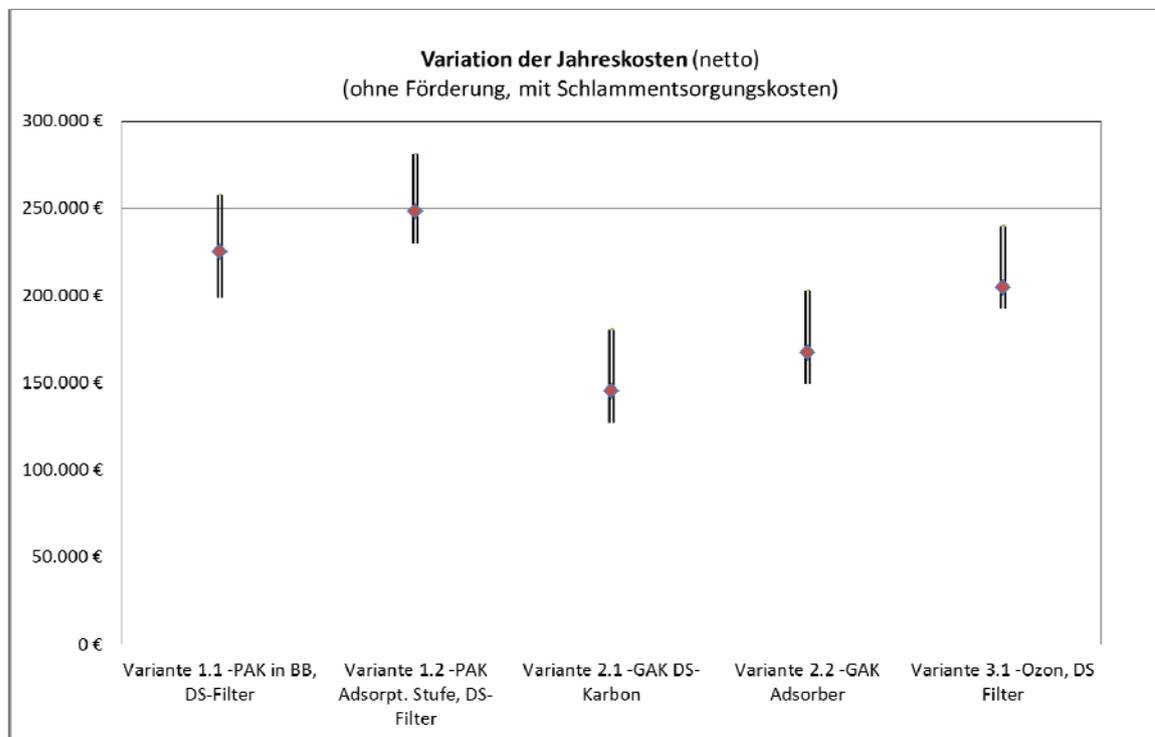


Bild 55: Minimale und maximale Jahreskosten bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, mit Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

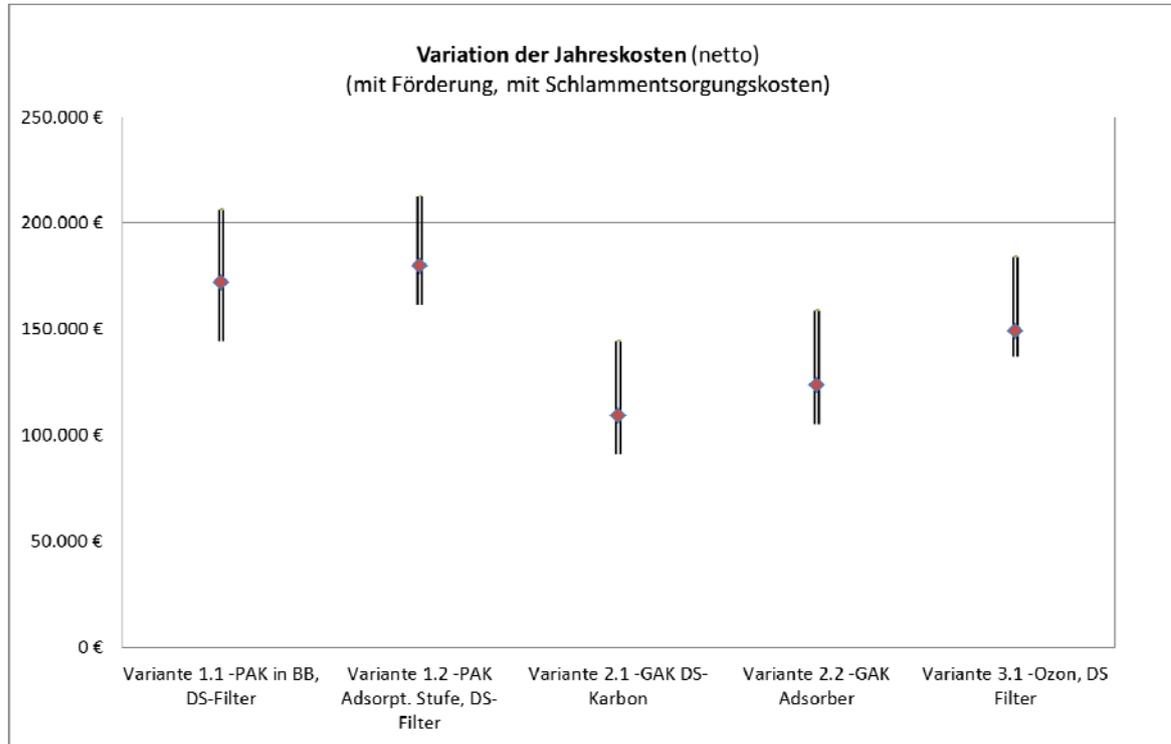


Bild 56: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, mit Schlammmentsorgungs-(mehr) -kosten (netto)

Bei Berücksichtigung einer Förderung der Investition zeigt sich eine ähnliche Spreizung der Jahreskosten wie ohne Förderung mit entsprechend verminderten Jahreskosten.

Eine deutlich geringere Schwankungsbreite der Jahreskosten für Verfahren mit PAK-Dosierung zeigt sich bei Vernachlässigung der höheren Betriebskosten für die Schlammmentsorgung im Falle einer thermischen Schlammmentsorgung und Aufgabe der landwirtschaftlichen Schlammmentsorgung.

Ein kostenrelevanter Faktor, der bei den Sensitivitätsuntersuchungen zu Betriebskosten 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.

Grundsätzlich könnte man die anzunehmende zu behandelte Wassermenge variieren, für die die Spurenstoff-Behandlungsstufen auszulegen sind, da gesetzliche Grundlagen fehlen. Hier wird angenommen, dass 100% der Trockenwettermenge zu behandeln sind. Werden geringere Wassermengen als ausreichend angesehen, vermindert sich sowohl die Anlagengröße und damit die Investitionskosten, als auch die Betriebskosten.

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

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 Rahden.

In der nachfolgenden Tabelle 21 werden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. Dabei werden die Jahreskosten mit Förderung (70%) sowie ohne Berücksichtigung der Schlamm Entsorgung 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 stark ähneln.



10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

Tabelle 21: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung [%]	Variante 1.1 - PAK in BB		Variante 1.2 - PAK Adsorpt. Stufe		Variante 2.1 - GAK DS-Karbon		Variante 2.2 - GAK Adsorber		Variante 3.1 - Ozon, DS- Filtration	
		Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht
Jahreskosten mit Förderung	30%	2	0,60	2	0,60	5	1,50	4	1,20	3	0,90
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlamments.	30%	3	0,90	3	0,90	5	1,50	4	1,20	3	0,90
Reinigungsleistung Spurenstoffe	10%	3	0,30	5	0,50	4	0,40	4	0,40	5	0,50
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	5%	3	0,15	5	0,25	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Reinigungsleistung Mikroplastik	5%	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	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	10%	5	0,50	3	0,30	4	0,40	4	0,40	3	0,30
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	5	0,25	4	0,20	3	0,15	4	0,20
Betriebssicherheit	10%	5	0,50	3	0,30	4	0,40	4	0,40	3	0,30
Sensitivität Kostensteigerung	5%	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Klimarelevanz, CO ₂ -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	5	0,25	3	0,15	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Summe mit Förderung	100%		3,45		3,35		4,15		3,80		3,65
Summe - Förderung, ohne Schlamments.	100%		3,75		3,65		4,15		3,80		3,65

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

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 – 20% Abweichung von der Variante mit den günstigsten Jahreskosten werden mit 4 Punkten bewertet, Verfahren mit 21 – 40% Abweichung mit 3 Punkten und Verfahren mit 41 – 65% Abweichung mit 2 Punkten und Verfahren mit über 65% Abweichung mit 1 Punkt.

Die **Reinigungsleistung für Spurenstoffe** wird als weiteres wesentliches Kriterium mit 10% bewertet. Die Analytik zu vorhandenen Spurenstoffen auf der KA Rahden 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



10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

(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 Konkurrenzbelastungen 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** für **P** und **CSB** (5%) 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). Sonstige PAK Verfahren 3 Punkte. GAK Verfahren werden aufgrund der anzunehmenden CSB Reduzierung und AFS Reduzierung mit 3 Punkten angesetzt. Eine Verminderung der CSB- oder P-Konzentrationen durch Ozonung ist bei Verfahren mit Dyna-Sand Filtration bei Ergänzung einer Nachfällung nur reduziert zu erwarten (4 Punkte).

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), bei GAK Filtration 3 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. 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



10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

sind bisher nicht bekannt. Bromid sollte bei Anwendung einer Ozonung nur in geringen Konzentrationen im Abwasser vorliegen (hier: unterhalb der Nachweisgrenze).

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

Der Aufwand für **Wartung und Betrieb** (10%) 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 (5 Punkte). GAK Filter werden etwas aufwändiger bewertet (4 Punkte). Da u.a. der Umgang mit Sauerstoff eine besondere Schulung erfordert und die Verfahren insgesamt einen höheren Technikanteil enthalten werden Ozonanlagen mit 3 Punkten angesetzt.

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 (5 Punkte). Eine GAK Filtration als Dyna-Sand-Carbon Anlage wird seit über einem Jahr in Rietberg erfolgreich eingesetzt. Eine weitere Anlage besteht in Süddeutschland (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** (10%) betrifft u.a. das Verhalten bei Ausfall eines Aggregates und inwieweit ein redundanter Weiterbetrieb möglich ist. Die höchste Betriebssicherheit wird der PAK Dosierung (5 Punkte) sowie leicht abgemindert 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 Schlammensorgung 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.



10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die **CO₂-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 Rahden weitgehend zu vernachlässigen da ausreichend Erweiterungsflächen zur Verfügung stehen. Insbesondere für die Variante 1.2 mit separater Adsorptionsstufe, ist ein erhöhter Flächenbedarf erforderlich.

Bewertung – Empfehlung

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt sowohl bei Vernachlässigung einer Förderung, als auch bei Berücksichtigung einer Förderung, für das Verfahren 2.1 GAK Dyna-Sand Carbon Filtration mit 4,15 die höchste Bewertung.

Auch bei Vernachlässigung der erhöhten Kosten für eine thermische Klärschlammbehandlung ist Variante 2.1 am besten bewertet.

Vorzugsvariante ist die Variante 2.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filtration.



11 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt fünf verfahrenstechnische Varianten sowie zwei Untervariante hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Rahden 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[®]
- Variante 1.1b: Dosierung von PAK in die Belebung und nachgeschaltetem Scheibentuchfilter
- Variante 1.2: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Dyna-Sand Filter[®]
- Variante 1.2b: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Scheibentuchfilter
- Variante 2.1: GAK in Dyna-Sand Carbon[®] Filtration
- Variante 2.2: GAK in Festbett Adsorberstufe
- Variante 3.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter[®]

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. 130.000,-- € (brutto) für die günstigste Variante 2.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 7,16 €/EW/a bzw. 0,27 € pro m³ 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 Rahden 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 und Empfehlung

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante 2.1 mit Dyna-Sand Carbon Filtration mit einer Bewertung von 4,15 Nutzwertpunkten weiter zu verfolgen. Vernachlässigt man die hohen Mehrkosten für eine thermische Klärschlammbehandlung bei PAK-Verfahren, ist ebenfalls die Variante 2.1 mit einer Dyna-Sand Carbon Filtration und einer Bewertung von 4,15 Nutzwertpunkten weiter 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 Auflagen zur Spurenstoffbehandlung seitens des Gesetzgebers erlassen werden. Die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination wird aber durch das Landes Nordrhein-Westfalen empfohlen. Es ist nicht auszuschließen, dass die Aufsichtsbehörde einen entsprechenden Ausbau in aktualisierten wasserrechtlichen Einleitungserlaubnissen anordnet.

Sollte sich die Stadt Rahden zu der Nachrüstung einer Stufe zur Spurenstoffbehandlung auf der Kläranlage entschließen, wird empfohlen die Variante 2.1 GAK Dyna-Sand Carbon Filtration zu verfolgen.

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH

Hannover, im November 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

Bode, H. (2014)

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



12. Literatur

Bolle, F.W.; Pinnekamp, J. (2011)

Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase I, Abschlussbericht – Aktenzeichen: IV-7-042 600 003 J. Im Auftrag des MKULNV NRW; Aachen, 12.2011

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.

Dinnendahl (1993)

Erweiterung Kläranlage Rahden 21.000 EW. Genehmigungsentwurf. Dipl.-Ing. Fh. Michael Dinnendahl, Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft, Kalkar (unveröffentlicht)

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.



12. Literatur

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



12. Literatur

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 Industrieverlag 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 Weser / Weser NRW (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



12. Literatur

NFP (2008)

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

Ozonia (2010)

Ozonia – Behandlung von Mikroverunreinigungen, Prospekt Ozonia, 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 chook salmon acetylcholinesterase activity by mixtures of organophosphate and carbamate insecticides. *Env. Toxicol. Chem.* 25 (5).

Schumacher (1996)

Kläranlage Rahden, Schumacher Kläranlagen, Bau und Betrieb von Kläranlagen, Informationsbrochure, Wolfenbüttel; 1996 (unveröffentlicht)

Schumacher, Nebocat (2009)

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

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.



12. Literatur

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 Anhang

13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

Untersuchungen vom 09.12.2015 – 10.12.2015, 48h-Mischprobe

(1) = Ablauf Nachklärung, Kläranlage Rahden

<i>Analysennummer:</i>		57196 183463	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen vor Ort</i>			
Wassermenge während der PN	m ³	4470	
<i>Messungen im Labor</i>			
Bromid (Br)	mg/l	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Bezafibrat	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	2,00	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,680	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,290	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	2,50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,550	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,450	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	0,2100	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoessäure	µg/l	4,30	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l	34,0	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	3,50	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	µg/l	< 5	Hausmethode (LC-MS-MS)



13. Anhang

Untersuchungen vom 10.12.2015, (1) 14:10. (2) 14:25, Stichprobe

(1) = Kleine Aue – oberhalb Einleitungsstelle

(2) = Kleine Aue – unterhalb Einleitungsstelle

<i>Analysennummer:</i>		183464	183465	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Bezafibrat	µg/l		0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	0,700	0,890	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l		< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l		0,052	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,190	0,370	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l		< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l		0,190	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	1,00	1,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,110	0,210	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,078	0,096	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,150	0,200	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l		0,098	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoensäure	µg/l		0,560	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l		< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l		6,10	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l		< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l		< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l		< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l		< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	1,10	1,40	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l		< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l		< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	µg/l		< 5	Hausmethode (LC-MS-MS)



13. Anhang

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 Scheibentuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber,
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter



13. Anhang

Kläranlage Rahden
Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)
Variante 1.1 - PAK in Belebung mit Dyna-Sand Filtration
Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			21.000 EW	
Fremdwasserzufluss Q_F			611 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		919.162 m ³ /a	2518 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		699.709 m ³ /a	1917 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		37 l/s	133 m³/h	
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			80 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			37 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		164 l/s	592 m ³ /h	Ansatz: Einleitungsmenge

Auslegung PAK Dosierung

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK		10 - 30 mg/l	20 mg/l	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			3 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			64 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			1,60 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{M,mittel}$			2,10 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{M,mittel}$			50 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{M,mittel}$			1.561 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{M,mittel}$			18.736 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)			425 kg/m ³	
erf. Lagervolumen pro Monat			3,67 m ³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			11,02 m ³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			80 m³	rd. 14 Monate PAK Versorgung

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			50 m ²	
Oberflächenbelastung			12 m ³ /h	
Spülwassermenge max.			14 m ³ /h	
Druckluftbedarf			28,8 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			546 m ³	7 m x 13 m x 6 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	



13. Anhang

Variante 1.1b - PAK in Belebung mit Polstoff-Tuchfiltration

Auslegung Tuchfiltration

Polstoff-Tuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 9/45-BA4, 2*9 Filterscheiben			18	Bem./Ausl. Mec.
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			90 m ²	
Stundendurchfluss mittel (Trockenwetter max.)			133 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			592 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			6,6 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/m ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) (gerundet)			162 m ³	6,0 m x 6,0 m x 4,5 m



13. Anhang

Kläranlage Rahden

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			21.000 EW	
Fremdwasserzufluss Q_F			611 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		919.162 m ³ /a	2518 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		699.709 m ³ /a	1917 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		37 l/s	133 m³/h	
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			80 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			37 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		164 l/s	592 m ³ /h	Ansatz: Einleitungsmenge

Auslegung Kontaktbecken

Kontaktbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{KB}		30 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		67 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB,gew.}		75 m³	Becken Ist: 79 m ³
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		2,5 m	
Oberfläche	A _{KB,gew.}		30 m²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		9,0 m	
Breite Becken	B _{KB}		3,5 m	Oberfläche Ist: 31,5 m²
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		3	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		0,8 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P _{RW}		0,3 kW	

Auslegung Absetzbecken

Absetzbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{AB}		120 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		266 m ³	
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		3,5 m	
Oberflächenbeschickung	q _{AB}		2,0 m/h	
Oberfläche erforderlich	A _{AB,erf.}		67 m ²	
Oberfläche gewählt	A _{AB,gew.}		92 m²	
Volumen gesamt	V _{AB,ges.}		320 m³	
Anzahl Becken, Rundbecken	n _{AB}		1	
Durchmesser	D _{AB}		10,8 m	V _{Ist} = 320 m ³ , A _{Ist} = 92 m ²



13. Anhang

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			37 l/s	

Rücklaufkohle	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Rücklaufverhältnis	RV _{PAK}		70%	

Auslegung PAK Dosierung

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK	DOS _{mittel, PAK}	5 - 15 mg/l	10 mg/l	
maximale PAK-Dosierung bei QT _{max}			1,3 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei QT _{max}			32 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,max}		6,4 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT _{mittel}			0,8 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei QT _{mittel}			19 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,mittel}		3,8 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT _{mittel}			595 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei QT _{mittel}			7.142 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Anzahl Silo	n _{silo}		1	
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)	roh		425 kg/m ³	
erf. Lagervolumen pro Monat			1,4 m ³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			4,2 m ³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			50 m ³	> 1 a PAK Versorgung

Auslegung Flockungshilfsmittel-Dosierung

Flockungshilfsmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FHM	DOS _{mittel, FHM}	0,2 - 0,3 mg/l	0,2 mg/l	
Dichte	roh		500 kg/m ³	0,5 Gew. %
max. FHM Dosierung	Q _{max} x Dos _{max}		0,04 kg/h	
max. FHM Dosierung	Q _{max} x Dos _{max}		0,96 kg/d	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		0,016 kg/h	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		0,38 kg/d	



13. Anhang

Auslegung Fällmittel-Dosierung Kontaktbecken

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}	2 - 8 mg/l	5,0 mg/l	
Dichte	roh		500 kg/m ³	0,5 Gew. %
max. Fällmittel Dosierung	Q _{max} x DOS _{max}		2,28 kg/h	
max. Fällmittel Dosierung	Q _{max} x DOS _{max}		54,72 kg/d	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q _{mittel} x DOS _{mitte}		0,400 kg/h	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q _{mittel} x DOS _{mitte}		9,60 kg/d	
mittlere Fällmittelmenge pro Jahr			3.504 kg/a	

Auslegung Dyna-Sand Filtration (Optionaler Ausbau)

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
max. Oberflächenbelastung			6,65 m ³ /h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			11,5 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			195, m ³	6,5 m x 5 m x 6 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

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

Auslegung Scheibentuchfiltration

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 4/20-B A4, 6 Filterscheiben			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Stundendurchfluss max			133 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss mittel			80 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			6,7 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) (gerundet)			68 m ³	3 m x 5 m x 4,5 m



13. Anhang

Kläranlage Rahden

Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			21.000 EW	
Fremdwasserzufluss Q_F			611 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		919.162 m ³ /a	2518 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		699.709 m ³ /a	1917 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		37 l/s	133 m³/h	
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			80 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			37 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		164 l/s	592 m ³ /h	Ansatz: Einleitungsmenge

Auslegung Dyna-Sand Carbon Filtration

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D			6 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			30 m ²	
max. Oberflächenbelastung			4 m/h	
mittlere Oberflächenbelastung			3 m/h	
Spülwassermenge			9 m ³ /h	
Druckluftbedarf			6 Nm ³ /h	
Schüttdichte (Aqua Sorb 2000, Jacobi Carbons)			490 kg/m ³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			6,5 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			39 t / 78 m ³	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	V_{GAK} gesamt: 78 m ³		8.971 BV/a	
mittlere Aufenthaltszeit			0,98 h	
Aufenthaltszeit bei Q_{Tmax}			0,59 h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)		rd.	378 m ³	7 m x 9 m x 6 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	



13. Anhang

Kläranlage Rahden
Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)
Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			21.000 EW	
Fremdwasserzufluss Q_F			611 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		919.162 m ³ /a	2518 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		699.709 m ³ /a	1917 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		37 l/s	133 m³/h	
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			80 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			37 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		164 l/s	592 m ³ /h	Ansatz: Einleitungsmenge

Auslegung GAK Festbett-Adsorberstufe

Festbett-Adsorberstufe	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
max. Filtergeschwindigkeit	V_{Qmax}		15 m/h	
mittlere Filtergeschwindigkeit	V_{Qt}		10 m/h	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qmax}$		9 m ²	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qt}$		13 m ²	
Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter, gewählt	$A_{gew.}$		9 m ²	
Anzahl Filter (Betrieb)	n_{Filter}		2	
Anzahl Filter (Betrieb + 1 Rückspülfilter)	n_{Filter}		3	
Anzahl Filter, Reserve / Spülung			-	
Filterfläche gesamt (Betrieb ohne Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges}$		18 m ²	
Filterfläche gesamt (Betrieb mit Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges. einschl. RSF}$		27 m ²	
Filterhöhe	H_{Filter}		4,0 m	
Filtervolumen, pro Filter	V_{Filter}		36 m ³	
Filtervolumen, gesamt	$V_{Filter, ges.}$		108 m ³	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK gesamt: 240 m^3}$		6.479 BV/a	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m ³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			17,6 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			53 t / 106 m ³	
mittlere Kontakt-/ Aufenthaltszeit (ges.) - 2 Filter			0,9 h	
Aufenthaltszeit bei Q_{Tmax}			0,54 h	

Speicher Spülwasser (Ablauf):

Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter	$A_{gew.}$		9 m ²	
Spüldauer - Auslegung			20 min/h	
Spülwasser pro Spülintervall			120 m ³ /Intervall	
Speicherbecken Rückspülung, gewählt			150 m³	



13. Anhang

Kläranlage Rahden

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			21.000 EW	
Fremdwasserzufluss Q_F			611 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		919.162 m ³ /a	2518 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		699.709 m ³ /a	1917 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		37 l/s	133 m³/h	
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			80 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			37 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		164 l/s	592 m ³ /h	Ansatz: Einleitungsmenge

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{TOC}		11,1 mg TOC / l	Ablauf - 26.11.2015
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:			9,0 mg DOC / l	Ablauf - 26.11.2015
Bromidkonzentration			< 0,05 µg/l	keine Auffälligkeiten
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 _{spez.}	0,6 – 0,9 g O ₃ / g DOC	0,75 mg O₃/mg DOC	(mittl. Aust.wert, entspr. Empf. [1])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{DOC}		10,8 mg DOC / l	Annahme: Meßwert zzgl. 20%
erforderliche Ozonkonzentration	C _{O3} = Z _{spez.} x C _{DOC}		8,1 mg O₃ / l	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	C _{O3} = Z _{spez.} x C _{DOC}		10 mg O₃ / l	
maximale Auslegungswassermenge	Q _{Bem.} = Q _{T,h,max}		133 m³/h	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [1])
minimale Auslegungswassermenge	Q _{T,2h,min}		37 m ³ /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B _{O3,max} = Q _{Bem.} x C _{O3}		1,33 kg O₃/h	
Maximale Ozon Produktionskapazität			31,92 kg O₃/d	
Mittlere Ozon Produktion	B _{O3,mittel} = Q _{T,mittel} x C _{O3}		0,8 kg O ₃ /h	
Mittlere Ozon Produktion			19,2 kg O₃/d	
Minimale Ozon Produktion	B _{O3,min} = Q _{T,2h,min} x C _{O3}		0,37 kg O ₃ /h	
Minimale Ozon Produktion			8,88 kg O ₃ /d	
Jährliche Ozon Produktion			7.008 kg O₃/a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			70.080 kg O₂/a	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX



13. Anhang

Wahl Ozonerzeuger				
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	DM. %, entspr. 148 gO ₃ /Nm ³	148 gO ₃ /Nm ³	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
Anzahl Generatoren	n		1	
max. Leistung Generator			1,7 kg O ₃ /h	
Leistung Generator			1,6 kg O ₃ /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			11,2 Nm ³ /h	
O ₂ /O ₃ Gasdurchsatz			10,9 Nm ³ /h	
Kühlwasserbedarf			4,5 m ³ /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,4 kWh/kg	
Energiebedarf gesamter Konverter			15,7 KW	

Ozonreaktor	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss	t _{OR}	15 - 30 min	20 min	
Ozonzehrung	t _{Zehrung O₃}		10 min	Literaturwert(alt. Batchversuch)
maximale Auslegungswassermenge	Q _{Bem.} = Q _{T,h,max}		133 m ³ /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V _{OR}		44 m ³	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V _{Gas}		22 m ³	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V _{ges.} , erf.		67 m ³	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q _{Bem.} × t _{Zehrung} /0,35		63 m ³ /h	0,35 = Faktor zur Berücksichtigung
gesamtes Reaktorvolumen gewählt:	V _{ges.}		90 m³	entspricht Aufenthaltszeit von rd.40 min
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A _{OR}		9 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR}		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR}		5,0 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR}		2,5 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V _{OR,gew.}		60 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A _{OR,gew.}	rd.	12 m ²	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h _{OR-A}		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A _{OR-A,gew.}		4 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR-A}		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR-A}		2,5 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR-A}		2,5 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V _{OR-A,gew.}		30 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A _{OR-A,gew.}	rd.	6 m ²	

Ozoeintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Diffusor:				
Eintragstiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	DM. %, entspr. 148 gO ₃ /Nm ³	148 gO ₃ /Nm ³	
Max einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, max.})	B _{O₃, max.} / CO ₃ , Produktgas		9 m ³ /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, min.})	B _{O₃, min.} / CO ₃ , Produktgas		3 m ³ /h	> min. Diffusorsystem



13. Anhang

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
maximale Menge O ₂			13 kg O ₂ /h	
maximale Menge O ₂			319 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			8, kg O ₂ /h	
mittlere Menge O ₂			192 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			70.080 kg O₂/a	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			100 l/s	

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Oberflächenbelastung			6,65 m/h	
Spülwassermenge			6 m ³ /h	
Druckluftbedarf			11,5 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			195, m ³	6,5 m x 5 m x 6 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ²	



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 Scheibentuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber,
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Zusammenfassung Jahreskosten, Investitionskosten, Betriebskosten



13. Anhang

Kläranlage Rahden
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
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 500	10	m	700 €	7.000 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 500	40	m	700 €	28.000 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Schacht Ablaufleitung, DN 500	35	m	700 €	24.500 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	60	m	200 €	12.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				71.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Reaktor	546	m ³	450 €	245.700 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				276.700 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €

1.4	Sonstiges				
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	200	m ²	100 €	20.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				57.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				505.200 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------



13. Anhang

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		35.364 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				540.564 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
	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.	15.000 €	15.000 €
2.1.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	15.000 €	15.000 €
	Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration				270.000 €

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

2.3	PAK-Silo				
2.3.1	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	320.000 €	320.000 €
2.3.2	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.3: PAK-Silo				325.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				635.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1.1	MID DN 500	1	Stk.	13.000 €	13.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.3	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage, PAK Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				60.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------



13. Anhang

Kostenzusammenstellung					
1.	Summe Baukosten				540.564 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				635.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				60.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.236.564 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				247.313 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.483.877 €
	Mehrwertsteuer 19%				281.937 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.765.813 €

Variante 1.1 - PAK in Belegung und Dyna-Sand Filtration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	919.162 m³/a			
	Jährliche Abwassermenge - Behandlungsanlage	919.162 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				540.564 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				635.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.236.564 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.406 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				19.065 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.210 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				25.681 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	27.575 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	18,38 t/a			
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				29.175 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	919.162 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,16 €/kWh	3.677 €/a
	Kompressorstation	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	21.900 kWh/a		0,16 €/kWh	3.504 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,16 €/kWh	1.402 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				10.182 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	18 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		45,00 €/t	38.267 €/a
	Summe Schlammensorgung				38.267 €/a

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		65.000 €/Stelle	16.250 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a



13. Anhang

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				25.681 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				29.175 €/a
	Summe Energiebedarf				10.182 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				38.267 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				119.555 €
	Mehrwertsteuer 19%				22.715 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				142.270 €

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	22.060 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				22.060 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.515 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	15 mg/l	1500 €/t	20.681 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.681 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.894 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,14 €/kWh	3.217 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	21.900 kWh/a		0,14 €/kWh	3.066 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				8.909 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.273 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		30 €/t	25.511 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				25.511 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlere Kostenannahme				-12.756 €/a



13. Anhang

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	33.090 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				33.090 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.515 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	25 mg/l	1500 €/t	34.469 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.469 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				6.894 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,28 €/kWh	6.434 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	21.900 kWh/a		0,28 €/kWh	6.132 €/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
	Summe Energiebedarf				17.819 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				7.637 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		60 €/t	51.023 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				51.023 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				12.756 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden
Variante 1 - Mikorschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)
Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration
Kostenannahme - Investitionskosten

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 500	10	m	700 €	7.000 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 500	40	m	700 €	28.000 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Schacht Ablaufleitung, DN 500	35	m	700 €	24.500 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	60	m	200 €	12.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				71.500 €
1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Scheibentuchfilter - Becken	162	m ³	500 €	81.000 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				112.000 €
1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €
1.4	Sonstiges				
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	200	m ²	100 €	20.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				57.000 €
	Zwischensumme Baukosten:				340.500 €



13. Anhang

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		23.835 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				364.335 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Scheibentuchfilter				
2.1.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF18/90, 18 Filterscheiben	1	psch.	348.000 €	348.000 €
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.	15.000 €	15.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				363.000 €

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

2.3	PAK-Silo				
2.3.1	PAK Silo 80 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	320.000 €	320.000 €
2.3.2	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo				325.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				728.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1.1	MID DN 500	1	Stk.	13.000 €	13.000 €
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 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				60.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------



13. Anhang

Kostenzusammenstellung					
1.	Summe Baukosten				364.335 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				728.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				60.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.153.335 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				230.667 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.384.002 €
	Mehrwertsteuer 19%				262.960 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.646.962 €

Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	919.162 m³/a			
	Jährliche Abwassermenge - Behandlungsanlage	919.162 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				364.335 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				728.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.153.335 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.643 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				21.855 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.210 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				26.708 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	27.575 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	18 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	14.770 €/Tuchwechsel	3.692 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				31.267 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	919.162 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,16 €/kWh	3.677 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	0,9 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kWh/a		0,16 €/kWh	79 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,16 €/kWh	189 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,16 €/kWh	63 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,16 €/kWh	1.402 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				7.009 €/a

4	Schlammentsorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	18 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		45,00 €/t	38.267 €/a
	Summe Schlammentsorgung				38.267 €/a



13. Anhang

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		65.000 €/Stelle	16.250 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				26.708 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				31.267 €/a
	Summe Energiebedarf				7.009 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				38.267 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				119.502 €
	Mehrwertsteuer 19%				22.705 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				142.208 €

Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m ³ /a	20 mg/l	1200 €/t	22.060 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				22.060 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.515 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m ³ /a	15 mg/l	1500 €/t	20.681 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.681 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.894 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,14 €/kWh	3.217 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kWh/a		0,14 €/kWh	69 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlamm pumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m ³ *m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				6.133 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-876 €/a



13. Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		30 €/t	25.511 €/a
	Summe Schlammensorgung				25.511 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-12.756 €/a

Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m ³ /a	20 mg/l	1800 €/t	33.090 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				33.090 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.515 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	919.162 m ³ /a	25 mg/l	1500 €/t	34.469 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.469 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				6.894 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	22.979 kWh/a		0,28 €/kWh	6.434 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kWh/a		0,28 €/kWh	138 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,28 €/kWh	331 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m ³ *m	0,28 €/kWh	2.453 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				12.266 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.257 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	850 t/a		60 €/t	51.023 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.023 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				12.756 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden

Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Kostenannahme - Investitionskosten

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Kontaktreaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
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 - Schacht Ablaufleitung, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.6	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300 (Option BB)	100	m	300 €	30.000 €
1.1.7	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	70	m	200 €	14.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				86.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	75	m³	420 €	31.500 €
1.2.5	Absetzbecken	320	m³	380 €	121.600 €
1.2.6	Dyna-Sand-Reaktor	195	m³	450 €	87.750 €
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 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				311.850 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €



13. Anhang

1.4	Sonstiges				
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 ²	100 €	30.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				138.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				636.350 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		44.545 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				680.895 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	15	m	150 €	2.250 €
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 €
	Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung	1	psch.	300.000 €	87.250 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 D, 4 Stk.	1	psch.	140.000 €	140.000 €
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.	16.000 €	16.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				171.000 €



13. Anhang

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	22.000 €	22.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				104.500 €

2.4	PAK-Silo, Dosieranlagen				
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.	320.000 €	320.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				435.000 €

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				805.250 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
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 300	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
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 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				107.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------



13. Anhang

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				680.895 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				805.250 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				107.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.593.645 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				318.729 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.912.373 €
	Mehrwertsteuer 19%				363.351 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.275.724 €

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Schmutzwassermenge	699.709 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				680.895 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				805.250 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.593.645 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				6.809 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				24.158 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.150 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				33.116 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	699.709 m³/a	5 mg/l	130 €/t	455 €/a
	Flockungshilfsmittel	699.709 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	350 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	10.496 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	7 t/a			
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				11.940 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,16 €/kWh	2.799 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,16 €/kWh	840 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk - Förderhöhe	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	3,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	4,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	69.971 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.399 kWh/a		0,16 €/kWh	224 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³*m	0,16 €/kWh	1.962 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,16 €/kWh	1.927 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,16 €/kWh	280 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	75 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	6.570 kWh/a		0,16 €/kWh	1.051 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				10.683 €/a



13. Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	7 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	14 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % - 30% TR)	832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a	45,00 €/t		38.385 €/a
	Summe Schlammensorgung				38.385 €/a

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle	65.000 €/Stelle		16.250 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				33.116 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				11.940 €/a
	Summe Energiebedarf				10.683 €/a
	Summe Schlammensorgung				38.385 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				110.375 €
	Mehrwertsteuer 19%				20.971 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				131.346 €

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	8.397 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				8.397 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.099 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	8.397 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				8.397 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.099 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,14 €/kWh	2.449 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,14 €/kWh	735 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.399 kWh/a		0,14 €/kWh	196 €/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	6.570 kWh/a		0,14 €/kWh	920 €/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
	Summe Energiebedarf				9.348 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.335 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a		30 €/t	25.590 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				25.590 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-12.795 €/a

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m ³ /a	10 mg/l	1800 €/t	12.595 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.595 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.099 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m ³ /a	20 mg/l	1500 €/t	20.991 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.991 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				10.496 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,28 €/kWh	4.898 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,28 €/kWh	1.469 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.399 kWh/a		0,28 €/kWh	392 €/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	6.570 kWh/a		0,28 €/kWh	1.840 €/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
	Summe Energiebedarf				18.117 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				7.433 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a		60 €/t	51.179 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				51.179 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				12.795 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden
Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)
Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration
Kostenannahme - Investitionskosten (netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Kontaktreaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Scheiben Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Scheiben Filter - Schacht Ablaufleitung, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.6	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300 (Option BB)	100	m	300 €	30.000 €
1.1.7	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	70	m	200 €	14.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				86.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	79	m³	420 €	33.180 €
1.2.5	Absetzbecken	320	m³	380 €	121.600 €
1.2.6	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	68	m³	500 €	34.000 €
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 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				259.780 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €



13. Anhang

1.4	Sonstiges				
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 ²	100 €	30.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				138.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				584.280 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		40.900 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				625.180 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	15	m	150 €	2.250 €
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 €
	Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung	1	psch.	300.000 €	84.250 €

2.2	Scheibentuchfilter				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF12/45, 6 Filterscheiben	1	psch.	145.000 €	145.000 €
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	pach.	3.500 €	3.500 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				148.500 €



13. Anhang

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
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 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				102.500 €

2.4	PAK-Silo, Dosieranlagen				
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.	320.000 €	320.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				435.000 €

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				777.750 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
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 300	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 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				107.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				625.180 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				777.750 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				107.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.510.430 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				302.086 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.812.516 €
	Mehrwertsteuer 19%				344.378 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.156.893 €



13. Anhang

Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Schmutzwassermenge	699.709 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				625.180 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				777.750 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.510.430 €
1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				6.252 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				23.333 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.150 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				31.734 €/a
2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	699.709 m³/a	5 mg/l	130 €/t	455 €/a
	Flockungshilfsmittel	699.709 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	350 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	10.496 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	7 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	6.930 €/Tuchwechsel	1.733 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.033 €/a
3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³·m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,16 €/kWh	2.799 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³·m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,16 €/kWh	840 €/a



13. Anhang

	PAK-Entnahmepumpwerk - Förderhöhe	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	2,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	3,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	69.971 m³/a	5 W/m³·m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.050 kWh/a		0,16 €/kWh	168 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³·m	0,16 €/kWh	1.962 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,16 €/kWh	280 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	75 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	6.570 kWh/a		0,16 €/kWh	1.051 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	1,1 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kWh/a		0,16 €/kWh	96 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,6 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,16 €/kWh	189 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,16 €/kWh	63 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				9.049 €/a
4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	7 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	14 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	832 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a		45,00 €/t	38.385 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				38.385 €/a



13. Anhang

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		65.000 €/Stelle	16.250 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				31.734 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.033 €/a
	Summe Energiebedarf				9.049 €/a
	Summe Schlammentsorgung				38.385 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				108.451 €
	Mehrwertsteuer 19%				20.606 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				129.056 €

Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m ³ /a	10 mg/l	1200 €/t	8.397 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				8.397 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.099 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m ³ /a	8 mg/l	1500 €/t	8.397 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				8.397 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.099 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,14 €/kWh	2.449 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,14 €/kWh	735 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.050 kWh/a		0,14 €/kWh	147 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,14 €/kWh	1.717 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,14 €/kWh	245 €/a



13. Anhang

	Rührwerk - Energiebedarf	6.570 kWh/a		0,14 €/kWh	920 €/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
	Summe Energiebedarf				7.918 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.131 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a		30 €/t	25.590 €/a
	Summe Schlammensorgung				25.590 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-12.795 €/a

Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	12.595 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.595 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.099 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	699.709 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	20.991 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.991 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				10.496 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,28 €/kWh	4.898 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	5.248 kWh/a		0,28 €/kWh	1.469 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	1.050 kWh/a		0,28 €/kWh	294 €/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	6.570 kWh/a		0,28 €/kWh	1.840 €/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
	Summe Energiebedarf				15.835 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				6.787 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	853 t/a		60 €/t	51.179 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.179 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				12.795 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden
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
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf DSC-Reaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf DSC-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DSC-Reaktor, DN 400	40	m	500 €	20.000 €
1.1.3	Ablauf - Dyna-Sand-Carbon Filter - Schacht Ablaufleitung, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand-Carbon Anlage, PE-HD DN 200	60	m	200 €	12.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				54.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Carbon Reaktor	378	m ³	500 €	189.000 €
1.2.5	MID-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				220.000 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €

1.4	Sonstiges				
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.	20.000 €	20.000 €
1.4.5	Straßen, Wege	200	m ²	100 €	20.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				65.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				439.500 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		30.765 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				470.265 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------



13. Anhang

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Carbon Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 D, 6 Stk.	1	psch.	195.000 €	195.000 €
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.	18.000 €	18.000 €
	Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration				228.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumperke	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte				32.500 €

2.3	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				268.000 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
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.	10.000 €	10.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand, Dyna-Sand Carbon Anlage	1	Stk.	45.000 €	45.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				110.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				110.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------



13. Anhang

Kostenzusammenstellung					
1.	Summe Baukosten				470.265 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				268.000 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				110.000 €
	Summe Investkosten (netto)				848.265 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				169.653 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.017.918 €
	Mehrwertsteuer 19%				193.404 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.211.322 €

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Schmutzwassermenge	699.709 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				470.265 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				268.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				110.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				848.265 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				4.703 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				8.040 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.200 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				14.943 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	8.971 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	39 t/a	0,90 Füllung/a	1300 €/t	45.483 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				45.483 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,16 €/kWh	3.359 €/a



13. Anhang

	Kompressorstationen	5,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	10.950 kWh/a		0,16 €/kWh	1.752 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				6.711 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	Summe Schlammensorgung				0 €/a

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	25 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,16 Stelle			
	Personalkosten	0,16 Stelle		65.000 €/Stelle	10.156 €/a
	Summe Personalkosten				10.156 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				14.943 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				45.483 €/a
	Summe Energiebedarf				6.711 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				10.156 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				77.292 €
	Mehrwertsteuer 19%				14.686 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				91.978 €

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	39 t/a	0,9 Füllung/a	1100 €/t	38.486 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				38.486 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.997 €/a



13. Anhang

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	39 t/a	0,69 Füllung/a	1300 €/t	34.987 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.987 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-10.496 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,14 €/kWh	2.939 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	10.950 kWh/a		0,14 €/kWh	1.533 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				5.872 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-839 €/a

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	39 t/a	0,9 Füllung/a	1600 €/t	55.979 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				55.979 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				10.496 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	39 t/a	1,28 Füllung/a	1300 €/t	64.976 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				64.976 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				19.493 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,28 €/kWh	5.878 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	10.950 kWh/a		0,28 €/kWh	3.066 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				11.744 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.033 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden
Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)
Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Kostenannahme - Investitionskosten

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf AF-Reaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf AF-Reaktor: Zwischenpumpwerk - AF-Reaktor, DN 400	60	m	500 €	30.000 €
1.1.3	Ablauf - AF -Rückspülwasser-Behälter, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
1.1.4	Ablauf - AF-Festbettfilter /Spülwasserbeh. - Schacht Ablaufleitung, DN 400	45	m	500 €	22.500 €
1.1.5	Zulaufleitung Spülwasser Festbettfilter	20	m	300 €	6.000 €
1.1.6	Verbindende Leitungen AF Filter	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.1.7	Ablaufleitung Waschwasser Festbettfilter, PE-HD DN 200	60	m	200 €	12.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				105.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Schacht - Spülwasserpumpwerk	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.5	Speicherbecken Spülwasser	150	m³	450 €	67.500 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf,Spülwasser)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				108.500 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
1.3.2	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €



13. Anhang

1.4	Sonstiges				
1.4.11	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Fundament Festbettfilter	1	psch.	25.000 €	25.000 €
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 ²	100 €	25.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Adsorber	53	t	1.300 €	68.900 €
	Summe 1.4 Sonstiges				168.400 €

	Zwischensumme Baukosten:				482.400 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		33.768 €

1	Summe Baukosten:				516.168 €
----------	-------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Schwerkrafftfilter				
2.1.1	Festbettfilter 3 Stk.	3	Stk.	80.000 €	240.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	20.000 €	20.000 €
	Summe 2.1: Schwerkrafftfilter				260.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpwerk, Spülwasserpumpwerk	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.2.2	Gebälse	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.2.3	Armaturen, Schieber	2	psch.	25.000 €	50.000 €
	Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte				117.500 €

2.3	Baustelleneinrichtung				
2.3.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		10.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				387.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------



13. Anhang

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
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, DN 300	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	12.500 €	12.500 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Festbettfilter, Dyna-Sand Filter	1	Stk.	45.000 €	45.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				122.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				122.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				516.168 €
2.	Summe Maschinenteknik Kosten				387.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				122.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.026.168 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				205.234 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.231.402 €
	Mehrwertsteuer 19%				233.966 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.465.368 €

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Schmutzwassermenge	699.709 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				516.168 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				387.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				122.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.026.168 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.162 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				11.625 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.450 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				19.237 €/a



13. Anhang

2	Verbrauchsstoffe				
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	6.479 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	53,0 t/a	0,65 Füllung/a	1300 €/t	44.640 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				44.640 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,16 €/kWh	3.359 €/a
	Spülwasserpumpen - Förderhöhe	5,0 m			
	Spülwasserpumpen - Verluste	1,0 m			
	Spülwasserpumpen - Manometrische Förderhöhe	6,0 m			
	Laufzeit pro Tag (bezogen auf Filteranlage)	8,0 h/d			
	Spülwassermenge	33 l/s	120 m³/h		
	Fördermenge, spez. Energiebedarf	350.400 m³/a	5 W/m³*m		
	Spülwasserpumpwerk Pumpkosten	10.512 kWh/a		0,16 €/kWh	1.682 €/a
	Spülluftgebläse	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	2,0 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	7.300 kWh/a		0,16 €/kWh	1.168 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				7.809 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	Summe Schlammensorgung				0 €/a



13. Anhang

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	30 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,19 Stelle			
	Personalkosten	0,19 Stelle		65.000 €/Stelle	12.188 €/a
	Summe Personalkosten				12.188 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				19.237 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				44.640 €/a
	Summe Energiebedarf				7.809 €/a
	Summe Schlammentsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				12.188 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				83.873 €
	Mehrwertsteuer 19%				15.936 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				99.809 €

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	53,0 t/a	0,6 Füllung/a	1100 €/t	37.773 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				37.773 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.868 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	53,0 t/a	0,50 Füllung/a	1300 €/t	34.339 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.339 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-10.302 €/a



13. Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,14 €/kWh	2.939 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	7.300 kWh/a		0,14 €/kWh	1.022 €/a
	Spälwasserpumpen	10.512 kWh/a		0,14 €/kWh	1.472 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				6.832 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-976 €/a

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	53,0 t/a	0,6 Füllung/a	1600 €/t	54.942 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				54.942 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				10.302 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	53,0 t/a	0,9 Füllung/a	1300 €/t	63.772 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				63.772 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				19.132 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	20.991 kWh/a		0,28 €/kWh	5.878 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	7.300 kWh/a		0,28 €/kWh	2.044 €/a
	Spälwasserpumpen	10.512 kWh/a		0,28 €/kWh	2.943 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				13.665 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.856 €/a



13. Anhang

Kläranlage Rahden

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Kostenannahme - Investitionskosten (netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Ozonreaktor: Ablaufleitung Schacht - Zwischenpumpwerk, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.3	Zulauf Dyna-Sandreaktor: Ozonreaktor - Zwischenpumpwerk-DS-Reaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.4	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Ablaufleitung Schacht, DN 400	50	m	500 €	25.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	60	m	200 €	12.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				64.500 €
1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
1.2.4	Ozonreaktor (geschlossen)	90	m³	600 €	54.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	195	m³	450 €	87.750 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				182.750 €
1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	1	psch.	35.000 €	35.000 €
1.3.2	Raumzelle -Anlagen Technik, EMSR	1	psch.	100.000 €	100.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				135.000 €
1.4	Sonstiges				
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	250	m²	100 €	25.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				86.000 €



13. Anhang

	Zwischensumme Baukosten:					468.250 €
--	---------------------------------	--	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung					
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.			32.778 €

1	Gesamtsumme Baukosten:					501.028 €
----------	-------------------------------	--	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten					
2.1	Ozonerzeugeranlage					
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					
	Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage	1	psch.	380.000 €		380.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration					
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 B, 4 Stk.	1	psch.	140.000 €		140.000 €
	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.	16.000 €		16.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration					171.000 €

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte					
2.3.1	Pumpen	6	Stk.	7.500 €		45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €		10.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte					55.000 €



13. Anhang

2.3	Dosieranlagen				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				693.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
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.	10.000 €	10.000 €
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 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				102.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				102.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				501.028 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				693.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				102.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.297.028 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				259.406 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.556.433 €
	Mehrwertsteuer 19%				295.722 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.852.155 €



13. Anhang

Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Schmutzwassermenge	699.709 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				501.028 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				693.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				102.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.297.028 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.010 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				20.805 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.050 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				27.865 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Sauerstoff	70.080 kgO ₂ /a		200 €/t	14.016 €/a
	Ozon	7.008 kgO ₃ /a			
	Summe Verbrauchsstoffe				14.656 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,16 €/kWh	2.799 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	699.709 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,16 €/kWh	2.799 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,16 €/kWh	1.927 €/a



13. Anhang

	Ozonung				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	15,7 kW			
	Lastfaktor (Teillast)		1,00		
	Energiebedarf Ozonung	137.532 kWh/a		0,16 €/kWh	22.005 €/a
	spez. Energiebedarf	20 kWh/kgO ₃			
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,16 €/kWh	1.600 €/a
	Summe Energiebedarf				31.130 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung			45,00 €/t	
	Summe Schlammensorgung				0 €/a

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	40 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		65.000 €/Stelle	16.250 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				27.865 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				14.656 €/a
	Summe Energiebedarf				31.130 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				16.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				89.901 €
	Mehrwertsteuer 19%				17.081 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				106.983 €

Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	70.080 kgO ₂ /a		150 €/t	10.512 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				10.512 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.504 €/a



13. Anhang

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (8 mgO ₃ /l)	46.720 kgO ₂ /a		200 €/t	9.344 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				9.344 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-4.672 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,14 €/kWh	2.449 €/a
	Energiebedarf Ozonung	137.532 kWh/a		0,14 €/kWh	19.254 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,14 €/kWh	2.449 €/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
	Summe Energiebedarf				27.239 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.891 €/a

Variante 3.1 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	70.080 kgO ₂ /a		300 €/t	21.024 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				21.024 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				7.008 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (16 mgO ₃ /l)	93.440 kgO ₂ /a		200 €/t	18.688 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				18.688 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				4.672 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,28 €/kWh	4.898 €/a
	Energiebedarf Ozonung	137.532 kWh/a		0,28 €/kWh	38.509 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	17.493 kWh/a		0,28 €/kWh	4.898 €/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
	Summe Energiebedarf				54.477 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				23.347 €/a

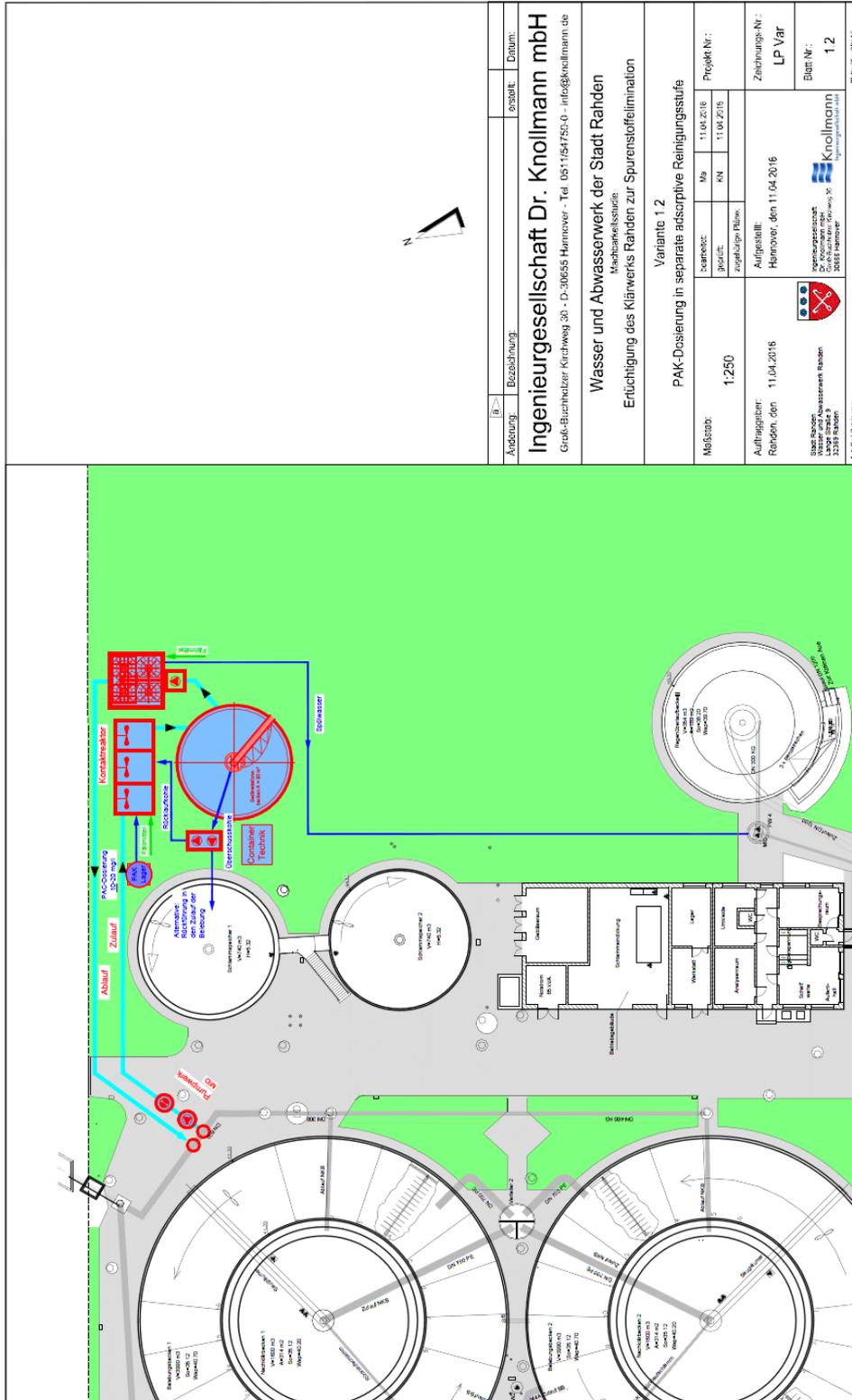


13.4 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination

- 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
- Variante 2.2 GAK – Festbett-Adsorber
- Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter



13. Anhang



Andersung:	Bezeichnung:	Ort:	Datum:
	Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH		
	Groß-Bücheler Kirchweg 30 - D-30655 Hannover - Tel. 0511/54755-0 - info@knollmann.de		
Wasser und Abwasserwerk der Stadt Rahden			
Mehrschichtbetrieb			
Ertüchtigung des Klärwerks Rahden zur Spurenstoffelimination			
Variante 1 2			
PAK-Dosierung in separate adsorptive Reinigungsstufe			
Maßstab:	Zeichentitel:	Mb	11.04.2016
1:250	1:250	KN	11.04.2016
Auftraggeber:	Auftraggeber:	Zeichnungs-Nr.:	
Rahden, den 11.04.2016	Hannover, den 11.04.2016	LP Var	
Stadt Rahden	Stadt Rahden	Blatt-Nr.:	
Wasser und Abwasserwerk Rahden	Wasser und Abwasserwerk Rahden	1 2	
3238 Rahden	3238 Rahden	Blatt-Nr.:	
		1 2	
Auftraggeber:			
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH			
Hannover, den 11.04.2016			
30655 Hannover			
Auftraggeber:			
Stadt Rahden			
Wasser und Abwasserwerk Rahden			
3238 Rahden			
Auftraggeber:			
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH			
Hannover, den 11.04.2016			
30655 Hannover			



13. Anhang
