



Stadt Versmold

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

Ertüchtigung der Kläranlage Versmold zur Elimination von Spurenstoffen

Mai 2018

gefördert durch:

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



Impressum

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



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung.....	1
2	Spurenstoffe – Herkunft, Eigenschaften.....	3
3	Rechtliche Belange und Grenzwerte.....	7
3.1	EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	8
3.2	Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	11
3.3	Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen	12
3.4	Gesetzgebung anderer Länder zu Mikroschadstoffen am Beispiel der Schweiz	15
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung.....	16
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination.....	18
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	18
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	22
5.3	Oxidation mit Ozon (O ₃)	24
5.3.1	Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung	26
5.4	Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe	27
5.5	Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranalgen	30
5.5.1	Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination	31
5.6	Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination	35
6	Kläranlage Versmold.....	40
6.1	Kurzbeschreibung Kläranlage	40
6.2	Situation Gewässersystem Ems (Aabach, Hessel), Trinkwassergewinnung	48
7	Screening zu Spurenstoffen - Analyseergebnisse.....	52
8	Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold zur Spurenstoffelimination.....	56
8.1	Vorhandene Erweiterungsfläche	57
8.2	Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen	58
8.3	Variante 1. 1 - PAK Dosierung in Belebung	59
8.3.1	Verfahrensbeschreibung	59
8.3.2	Vordimensionierung	63



Inhaltsverzeichnis

8.3.3	Diskussion Variante 1.1, PAK Dosierung in Belegung	63
8.4	Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	64
8.4.1	Verfahrensbeschreibung	64
8.4.2	Vordimensionierung	68
8.4.3	Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	69
8.5	Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter	70
8.5.1	Verfahrensbeschreibung	70
8.5.2	Vordimensionierung	74
8.5.3	Diskussion Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)	75
8.6	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe	76
8.6.1	Verfahrensbeschreibung	76
8.6.2	Vordimensionierung	79
8.6.3	Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)	80
8.7	Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich, vorgeschalteter Tuchfilter	81
8.7.1	Verfahrensbeschreibung	81
8.7.2	Vordimensionierung	87
8.7.3	Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Schönungsteich	88
8.8	Variante 3.2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter	89
8.8.1	Vordimensionierung	91
8.8.2	Diskussion Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	92
9	Wirtschaftlichkeitsvergleich	93
9.1	Investitionskosten	93
9.2	Betriebskosten	96
9.3	Jahreskosten	101
9.4	Sensitivitätsanalyse	109
10	Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination.....	113
11	Zusammenfassung und Empfehlung.....	119
12	Literatur.....	121



Inhaltsverzeichnis

13	Anhang	127
13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	127
13.2	Datenauswertung – Zufluss, Fracht KA Versmold	129
13.3	Abwassertechnische Berechnungen	144
13.4	Kostenannahme	159
13.5	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	210

**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 [Benstöm et al., 2015]	19
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	20
Bild 5:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]	21
Bild 6:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	22
Bild 7:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)	23
Bild 8:	Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration	24
Bild 9:	Schema GAK Festbett – Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration	24
Bild 10:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage	25
Bild 11:	Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	28
Bild 12:	Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	29
Bild 13:	Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	29
Bild 14:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]	30
Bild 15:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]	31
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	36
Bild 17:	Lageplan Kläranlage Versmold [Stadt Versmold]	41
Bild 18:	Nachklärung (links) , Faulung, Gasbehälter (rechts)	41
Bild 19:	Schönungsteich (links), Einleitungsstelle Kläranlage (rechts)	42
Bild 20:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe zwischen Belebung und Schönungsteich	42
Bild 21:	Ablauf Kläranlage Versmold – Trocken-, Regenwetter (2013, 2014)	43
Bild 22:	Ablauf Kläranlage Versmold – Trockenwetter (2013, 2014)	43
Bild 23:	Summenhäufigkeit - Zufluss Schmutzwasser Kläranlage Versmold – Trockenwetter (2013, 2014)	44
Bild 24:	P _{ges} -Konzentration Ablauf Kläranlage (2013)	44

Abbildungsverzeichnis

Bild 25: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_EMS_1600 [MKULNV NRW, 2015]	48
Bild 26: Gewässerzustand Hessel und Aabach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]	50
Bild 27: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf des Schönungsteiches	54
Bild 28: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Versmold (Luftbild - Quelle: Google-Earth)	57
Bild 29: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1	59
Bild 30: Lageplan KA Versmold - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belegung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung	60
Bild 31: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	62
Bild 32: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2	65
Bild 33: Lageplan KA Versmold - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	67
Bild 34: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	68
Bild 35: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1 (ohne vorgesch. DS-Filter)	70
Bild 36: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster) (Quelle: Fa. Nordic Water)	71
Bild 37: Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)	72
Bild 38: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)	73
Bild 39: Lageplan KA Versmold - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	73
Bild 40: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2	76
Bild 41: Lageplan KA Versmold - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe	78
Bild 42: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1 (ohne Scheibenfilter)	81
Bild 43: Lageplan KA Versmold - Variante 3.1 – Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich	82
Bild 44: Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)	84
Bild 45: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)	85
Bild 46: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)	86
Bild 47: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2	89
Bild 48: Lageplan KA Versmold - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration	90
Bild 49: Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)	95
Bild 50: Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	99



Abbildungsverzeichnis

Bild 51: Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammmentsorgungskosten (brutto)	101
Bild 52: Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	104
Bild 53: Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)	107
Bild 54: Minimale und maximale Jahreskosten bei Variation der Betriebskosten (netto)	111
Bild 55: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten (netto)	112

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auszug UQN-Oberflächengewässer (Richtlinie 2013/39/EU) (Stand 2013)	10
Tabelle 2:	Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [BAFU, 2012]	16
Tabelle 3:	Planungsdaten Kläranlage Versmold [Stadt Versmold, 1999]	42
Tabelle 4:	Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Versmold (2014 – 2016)	45
Tabelle 5:	Auslegung – Spurenstoffelimination	47
Tabelle 6:	Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Versmold (30.09 – 02.10.2015) und im Gewässer (01.10.2015)	53
Tabelle 7:	Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen	55
Tabelle 8:	Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe	58
Tabelle 9:	Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)	63
Tabelle 10:	Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe	68
Tabelle 11:	Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	74
Tabelle 12:	Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe	79
Tabelle 13:	Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	87
Tabelle 14:	Auslegung Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	91
Tabelle 15:	Zusammenstellung Investitionskosten	93
Tabelle 16:	Zusammenstellung Betriebskosten	98
Tabelle 17:	Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlamm Entsorgungskosten	100
Tabelle 18:	Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)	102
Tabelle 19:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)	105
Tabelle 20:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%) und ohne Schlamm Entsorgungsmehrkosten	108
Tabelle 21:	Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter	109
Tabelle 22:	Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto)	110
Tabelle 23:	Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	113

1 Veranlassung

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

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

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

Maßnahmen zur Minimierung der Immissionen von Mikroschadstoffen in die Umwelt zielen zunächst auf die Vermeidung von Einträgen, etwa durch Herstellungsverbote oder Einsatzverbote der als umweltgefährdend eingestuft anthropogenen 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 Ems 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 Versmold hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt, um die Nachrüstung der bestehenden Kläranlage Versmold zur Spurenstoffelimination zu untersuchen.

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

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

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

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

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

2 Spurenstoffe – Herkunft, Eigenschaften

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

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

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

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

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

Das Umweltrisiko eines Stoffes wird aus dem Vergleich von Exposition und Wirkung abgeleitet. Hierzu wird der PNEC-Wert (Predicted no Effect) einer gemessenen (Measured Environmental Concentration – MEC) oder der geschätzten Konzentration (Predicted Environmental Concentration – PEC) der Arzneiwirkstoffe in den Umweltmedien gegenübergestellt. Der Quotient aus MEC bzw. PEC und PNEC charakterisiert das Risiko der Substanzen für die Umwelt [34]. 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

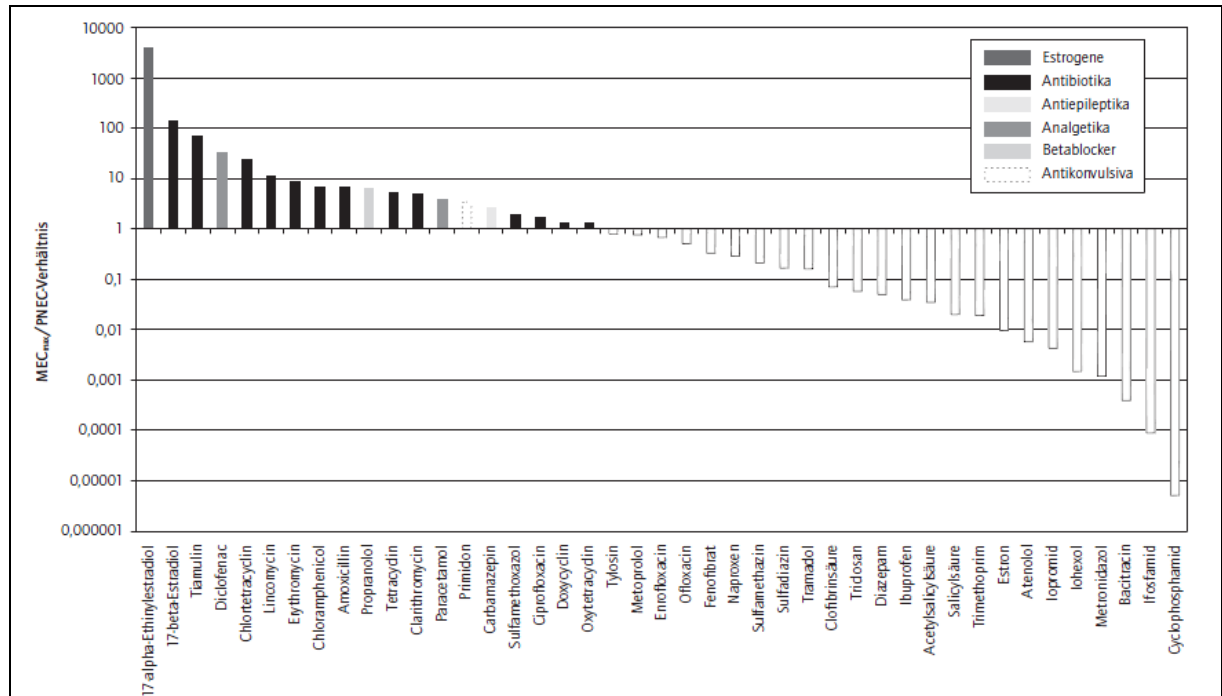


Bild 1: MEC/PNEC-Verhältnis für Arzneistoffe in deutschen Oberflächengewässern [Bergmann, 2011]

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

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

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

Eintragspfade von Spurenstoffen werden in Bild 2 dargestellt.

2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

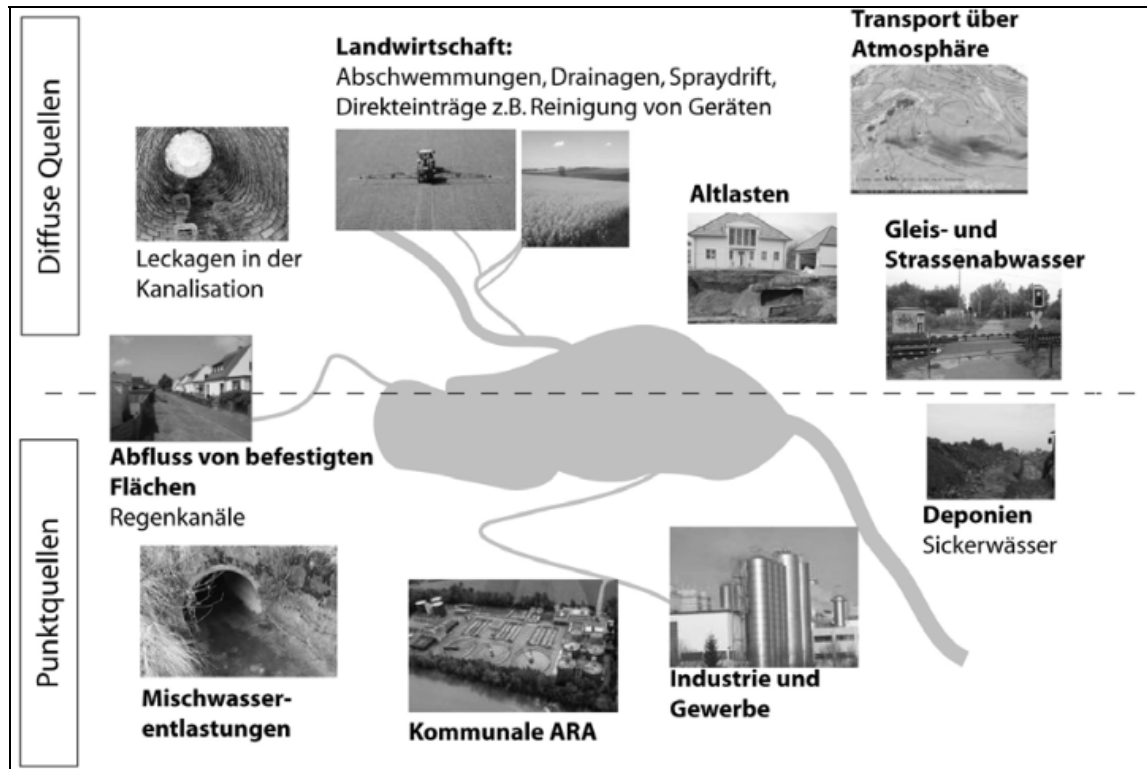


Bild 2: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [Götz et al., 2010]

3 Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

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

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

die Einleitung einen Beitrag leistet, so dass die Bewirtschaftungsziele nicht eingehalten werden, besteht Handlungsbedarf. Dies ist dann der Fall, wenn

- nach den Ergebnissen des Monitorings nach § 10 OGWV der gute Zustand bzw. das gute ökologische Potential nicht erreicht wird, weil die biologische Qualitätskomponente mäßig oder schlechter ist (§ 5 Abs. 4 Satz 1 OGWV),
- Mikroschadstoffe in der betroffenen Einleitung nachgewiesen sind, die zwar nicht in der Anlage 6 zur OGWV geregelt sind, für die aber die Anlage D4 des Monitoringleitfadens NRW Umwelt (http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberflaechengewasser_Teil_D/_Anlage_4) 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 OGWV 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 OGWV.

3.1 EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

Daneben wurde in der Richtlinie 2013/39/EU u.a. eine regelmäßig fortzuschreibende sogenannte Beobachtungsliste für Stoffe eingeführt, die ein erhebliches Risiko für die aquatische Umwelt aufweisen und für die keine Überwachungsdaten vorliegen. Zur Sammlung von Überwachungsdaten wurden in die Beobachtungsliste Diclofenac, 17 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-4methylphenol (Kosmetika) und 2-Ethylhexy-4-methoxycinnamat (Sonnencremes) aufgeführt.

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

Die UQN gemäß Richtlinie 2013/39/EU für prioritäre Stoffe sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Auszug UQN-Oberflächengewässer (Richtlinie 2013/39/EU) (Stand 2013)

Nr.	Stoffname	UQN-Jahresdurchschnitt Binnenoberflächengewässer [µg/l]	UQN-Höchstkonzentration Binnenoberflächengewässer [µg/l]
1	Alachlor	0,3	0,7
2	Anthracen	0,1	0,1
3	Atrazin	0,6	2
4	Benzol	10	50
5	Bromierte Diphenylether (5)		0,14
6	Cadmium und Cadmiumverbindungen (je nach Wasserhärteklasse) (6)	≤ 0,08 (Klasse 1)	≤ 0,45 (Klasse 1)
		0,08 (Klasse 2)	0,45 (Klasse 2)
		0,09 (Klasse 3)	0,6 (Klasse 3)
		0,15 (Klasse 4)	0,9 (Klasse 4)
		0,25 (Klasse 5)	1,5 (Klasse 5)
6a	Tetrachlorkohlenstoff (7)	12	nicht anwendbar
7	C10-13-Chloralkane (8)	0,4	1,4
8	Chlorfenvinphos	0,1	0,3
9	Chlorpyrifos (Chlorpyrifos-Ethyl)	0,03	0,1
9a	Cyclodien Pestizide:	Σ = 0,01	nicht anwendbar
	Aldrin (7)		
	Dieldrin (7)		
	Endrin (7)		
	Isodrin (7)		
9b	DDT insgesamt (7), (9)	0,025	nicht anwendbar
	Para-para-DDT (7)	0,01	nicht anwendbar
10	1,2-Dichlorethan	10	nicht anwendbar
11	Dichlormethan	20	nicht anwendbar
12	Bis(2ethyl-hexyl)phthalat (DEHP)	1,3	nicht anwendbar
13	Diuron	0,2	1,8
14	Endosulfan	0,005	0,01
15	Fluoranthren	0,0063	0,12
16	Hexachlorbenzol		0,05
17	Hexachlorbutadien		0,6
18	Hexachlorcyclohexan	0,02	0,04
19	Isoproturon	0,3	1
20	Blei und Bleiverbindungen	1,2 (13)	14
21	Quecksilber und Quecksilberverbindungen		0,07
22	Naphthalin	2	130
23	Nickel und Nickelverbindungen	4 (13)	34
24	Nonylphenole (4-Nonylphenol)	0,3	2
25	Octylphenole ((4-(1,1',3,3'-Tetramethylbutyl)-phenol))	0,1	nicht anwendbar

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

Nr.	Stoffname	UQN-Jahresdurchschnitt Binnenoberflächengewässer [$\mu\text{g/l}$]	UQN-Höchstkonzentration Binnenoberflächengewässer [$\mu\text{g/l}$]
26	Pentachlorbenzol	0,007	nicht anwendbar
27	Pentachlorphenol	0,4	1
28	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (11)	nicht anwendbar	nicht anwendbar
	Benzo(a)pyren	$1,7 \times 10^{-4}$	0,27
	Benzo(b)fluoranthren	siehe Fußnote 11	0,017
	Benzo(k)fluoranthren	siehe Fußnote 11	0,017
	Benzo(g,h,i)-perylene	siehe Fußnote 11	$8,2 \times 10^{-3}$
	Indeno(1,2,3-cd)-pyren	siehe Fußnote 11	nicht anwendbar
29	Simazin	1	4
29a	Tetrachlorethylen (7)	10	nicht anwendbar
29b	Trichlorethylen (7)	10	nicht anwendbar
30	Tributylzinnverbindungen (Tributylzinn-Kation)	0,0002	0,0015
31	Trichlorbenzole	0,4	nicht anwendbar
32	Trichlormethan	2,5	nicht anwendbar
33	Trifluralin	0,03	nicht anwendbar
34	Dicofol	$1,3 \times 10^{-3}$	nicht anwendbar (10)
35	Perfluoroktansulfonsäure und ihre Derivate (PFOS)	$6,5 \times 10^{-4}$	36
36	Quinoxifen	0,15	2,7
37	Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen		nicht anwendbar
38	Aclonifen	0,12	0,12
39	Bifenox	0,012	0,04
40	Cybutryn	0,0025	0,016
41	Cypermethrin	8×10^{-5}	6×10^{-4}
42	Dichlorvos	6×10^{-4}	7×10^{-4}
43	Hexabromcyclododecan (HBCDD)	0,0016	0,5
44	Heptachlor und Heptachlorepoxid	2×10^{-7}	3×10^{-4}
45	Terbutryn	0,065	0,34

3.2 Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen

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

Im Hinblick auf die Vorgaben des EU Rechts hat das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) die Regelung von Detailfragen zur Bewirtschaftung der Oberflächengewässer auf die Verordnungsebene verlagert. Nach § 23 Absatz 1 und 2 sind konkrete Anforderungen an die Gewässereigenschaften, an die Benutzung von Gewässern sowie Ermittlung, Beschreibung, Festlegung und Einstufung sowie Darstellung des Gewässerzustands durch eine Bundesverordnung zu regeln. Dassel-

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

be 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 flussgebietspezifischer Umweltqualitätsnormen [Umweltbundesamt, 2014].

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

3.3 Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen

Gemäß Artikel 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie ist für jedes Flussgebiet in Europa ein Bewirtschaftungsplan zu erstellen. Dies ist auch für internationale Flussgebiete anzustreben, mindestens aber ist für den nationalen Teil einer Flussgebietseinheit ein zusammenhängender Plan

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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 (s.u.).

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

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 Vorsorgewerten (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.

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

Der Konzentrationswert für synthetische organische Schadstoffe von $< 0,1 \mu\text{g/l}$ pro Einzelstoff wird in Nordrhein-Westfalen generell als allgemeiner 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 Arzneimittelintrag aus kommunalem Abwasser festgestellt [Götz et al., 2012]. Verschiedene Ausbauszenarien von Kläranlagen die zu einer substanziellen Reduktion der Spurenstoffeinleitungen zur Erreichung von Trinkwasserzielwerten führen werden diskutiert.

Durch Anreizsysteme wird die Umsetzung von Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen auf Basis von freiwilligen Maßnahmen gefördert. Bei festgestellten 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. Die Trinkwassergewinnung aus der EMS wird in Kapitel 6.2 diskutiert.

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. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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.“

3.4 Gesetzgebung anderer Länder zu Mikroschadstoffen am Beispiel der Schweiz

Die Schweiz hat für ausgewählte, schweizspezifische Spurenstoffe Vorschläge für Qualitätskriterien erarbeitet, unter Berücksichtigung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (European Commission 2010) [10]. Die Beeinträchtigung der Wasserqualität durch Mikroverunreinigungen wird in der Gewässerschutzgesetzgebung berücksichtigt (GSchG).

Die Schweiz plant eine Änderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV) die für ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen einen Eliminationsgrad für Mikroverunreinigungen von mindestens 80% vorschreiben wird. Zudem werden die Anforderungen an die Wasserqualität bei Oberflächengewässern mit einem Passus betreffend Spurenstoffe ergänzt.

Etwa 50% des schweizerischen Kommunalabwassers sollen innerhalb den nächsten 17 Jahre in einer zusätzlichen Stufe zur Elimination von Mikroschadstoffen behandelt werden [Bode, 2014].

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 2 zeigt [BAFU, 2012].

Tabelle 2: 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, Zuehke et al. 2006

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

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

4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

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

Eine Adsorption von Spurenstoffen an der Schlammmatrix 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].

Dies bestätigen auch vergleichende Untersuchungen von nicht nitrifizierenden biologischen Stufe (Schlammalter 1-2 Tage) und einer nitrifizierender Stufe (höheres Schlammalter ohne Angabe) mit mittleren Eliminationsraten von 22% bei nicht nitrifizierender Stufe und 44% bei nitrifizierender Stufe (BAFU, 2012).

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

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

- Hohes Schlammalter
 - Kaskadierung und geringe Kreislauf- und Rücklaufschlammführung
 - Weitgehende Suspensaentnahme (Filtration) zur Entfernung adsorptiv gebundener Stoffe
- Eine gezielte Elimination von Spurenstoffen ist in einer konventionellen Belebungsanlage jedoch nicht möglich. Dieses kann nur mit einer weitergehenden Abwasserreinigung erfolgen, insbesondere durch Verfahren zur Sorption der Spurenstoffe an Aktivkohle und zur chemischen Oxidation

5 Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

5.1 Pulveraktivkohle (PAK)

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

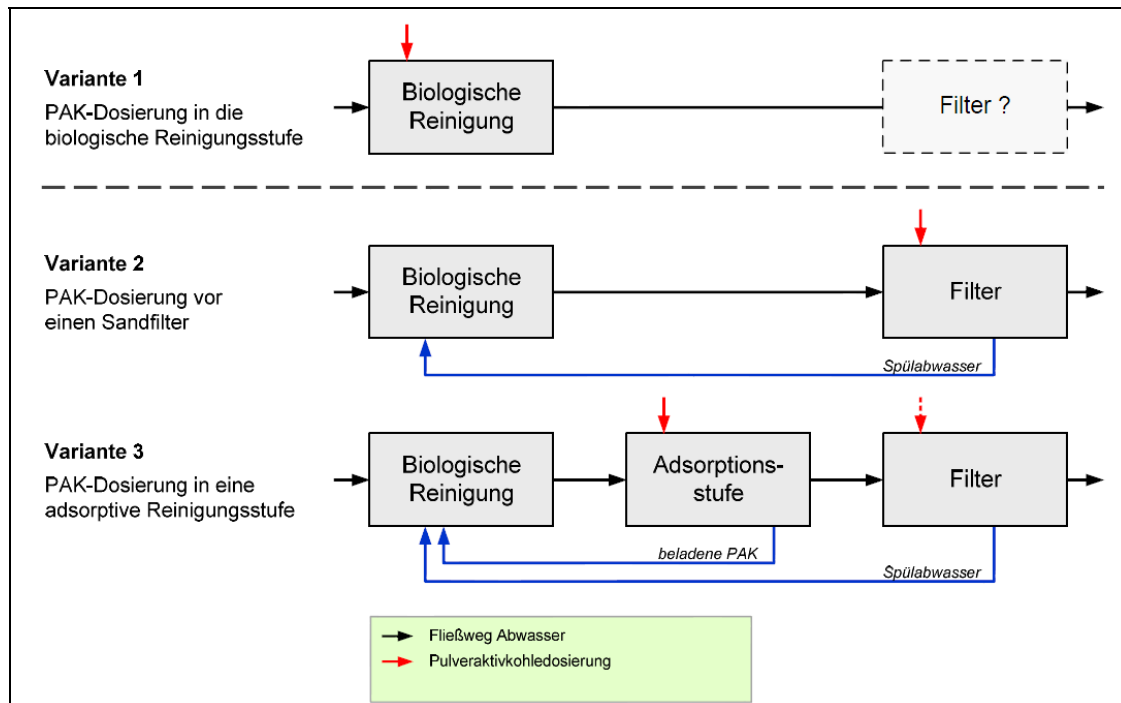


Bild 3: Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung
Quellen [Benstöm et al., 2015]

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. Sollte der Belebungsstufe keine Filtration nachgeschaltet sein, ist bei dieser Verfahrensvariante ein Austrag von PAK durch den Abtrieb von abfiltrierbaren Stoffen aus der Nachklärung hinzunehmen.

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Belebungsanlage lediglich durch eine Dosiereinrichtung und eine Lagerstätte für die Pulveraktivkohle zu erweitern ist.

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 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

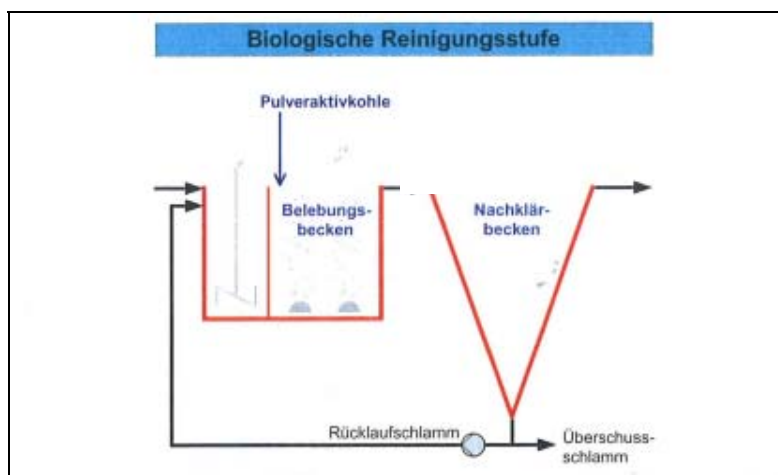


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

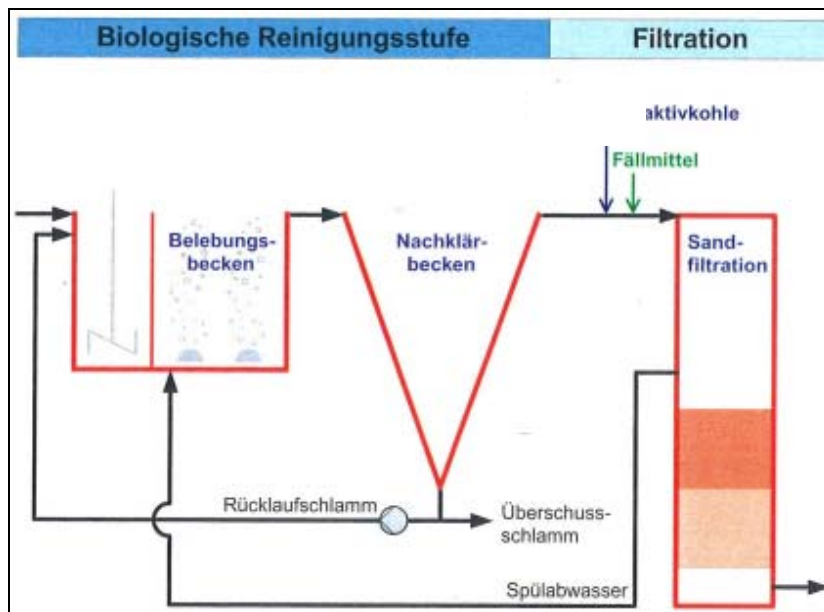


Bild 5: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]

c) PAK-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

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

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

Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Kohlestaubes 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 „Überschussschlamm“.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Um die aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden Feinstpartikel besser im nachgeschalteten Sandfilter zurückhalten zu können, kann vor dem Filter nochmals Fällmittel zugegeben werden (Prinzip der Flockungsfiltration). Gleichzeitig kann bei unzureichendem Reinigungsergebnis nach der Adsorptionsstufe eine Nachdosierung von PAK vor dem Filter vorgenommen werden.

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 „Überschussschlämme“ 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.

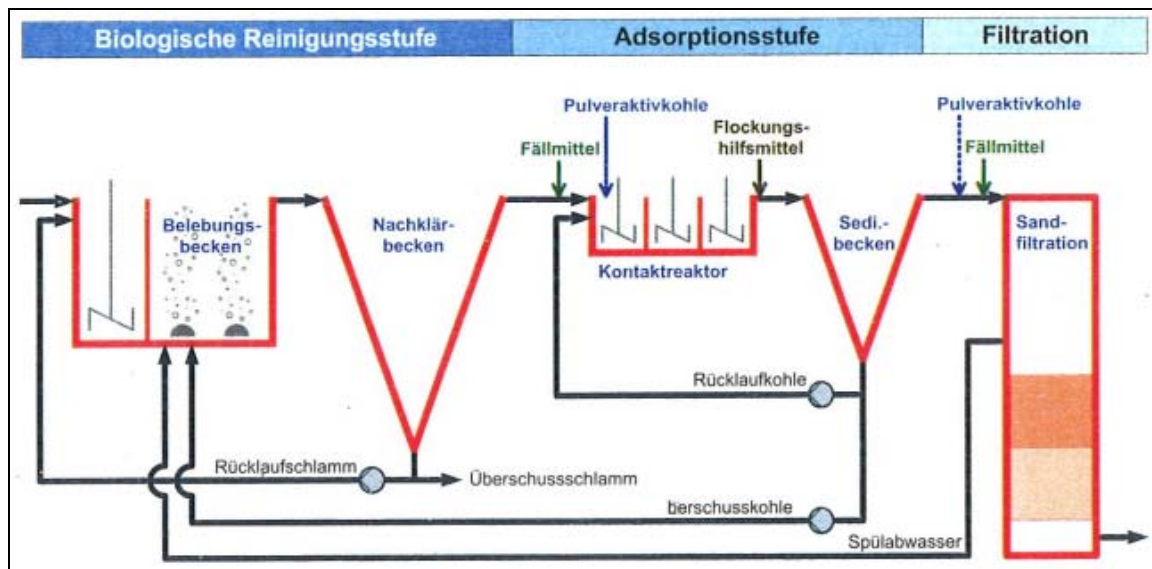


Bild 6: Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

Das Verfahrensprinzip der adsorptiven Reinigungsstufe zeigt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Austausch des Adsorbens (Aktivkohle) zu ermöglichen. Bei einer Nichteinhaltung droht ein „Filterdurchbruch“, wobei die adsorbierten Schadstoffe wieder aus dem Filterbett gespült werden können.

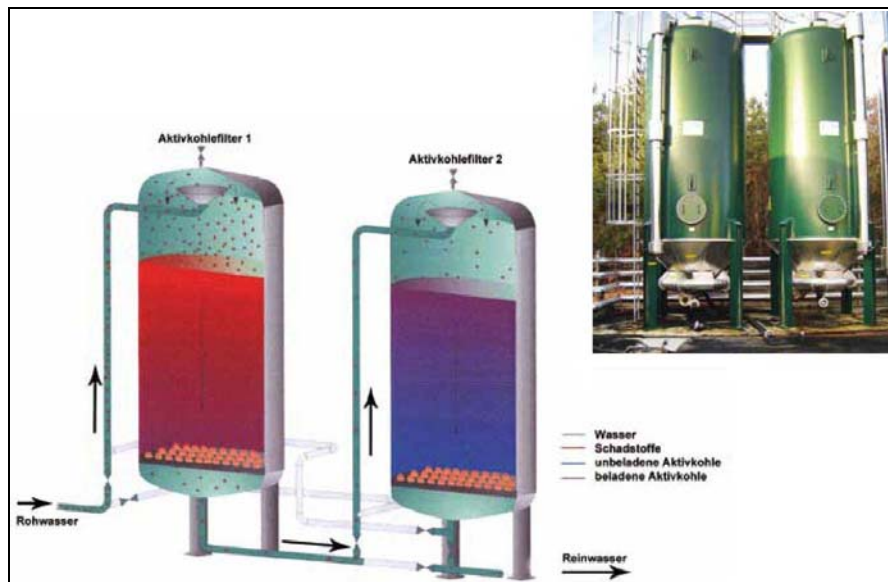


Bild 7: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

Neben dem Einsatz von granulierter Aktivkohle in Adsorbern, die insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung zur Anwendung kommen, wird derzeit die Verwendung von granulierter Aktivkohle in vorhandenen Kläranlagen-Filtrationen umgesetzt. Im großtechnischen Maßstab entsprechende Filtrationen u. a. auf den Kläranlagen Gütersloh, Bielefeld Obere Lutter, Bad Oeynhausen betrieben. Einzelne Kammern vorhandener Flockungsfiltrationen wurden auf einen Betrieb mit granulierter Aktivkohle umgerüstet.

In einer dynamischen Dyna-Sand Carbon Filtration werden derzeit zwei Kläranlagen in Deutschland zur Spurenstoffelimination betrieben, u.a. die Kläranlage Rietberg.

Kennzeichen zum Einsatz granulierte Aktivkohle in Festbettssystemen sind:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

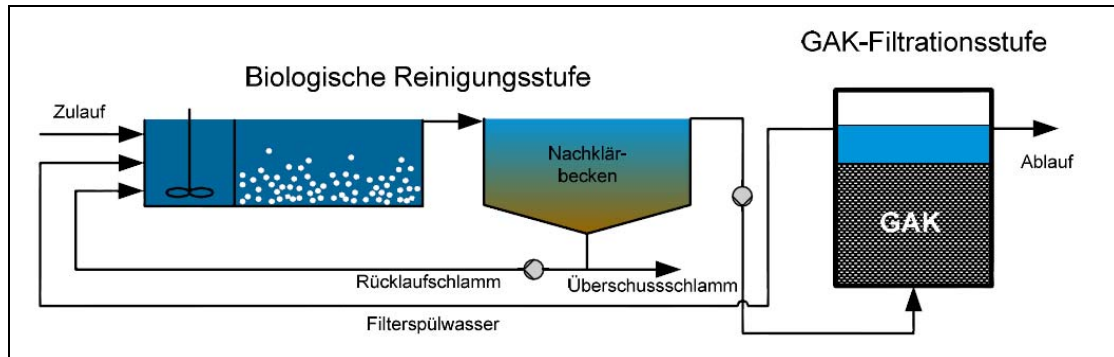


Bild 8: Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration

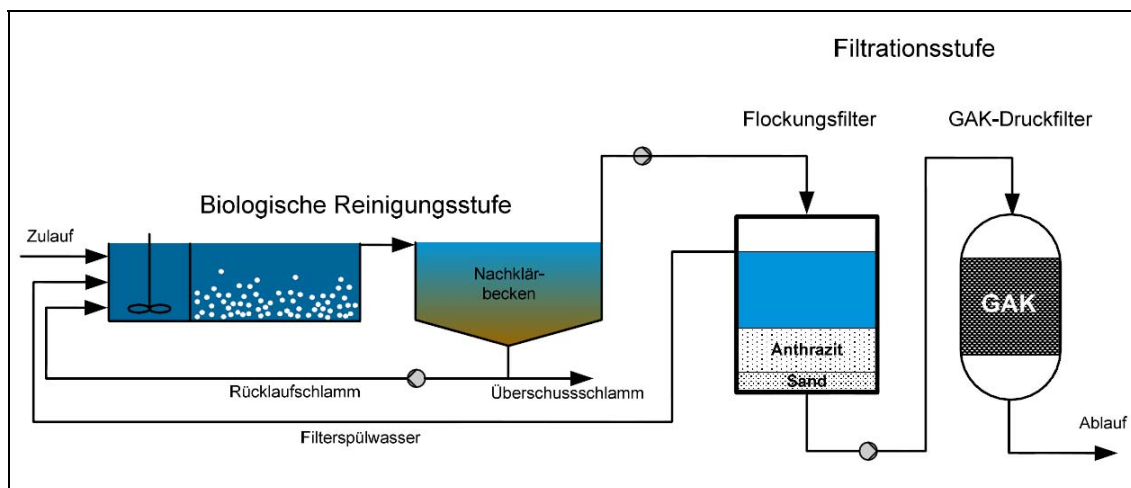


Bild 9: Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungfiltration

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 durch Mikroorganismen zusätzlich nachgeschaltet. Teilweise werden Ozonungen in Verbindung mit PAK Anlagen kombiniert eingesetzt.

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

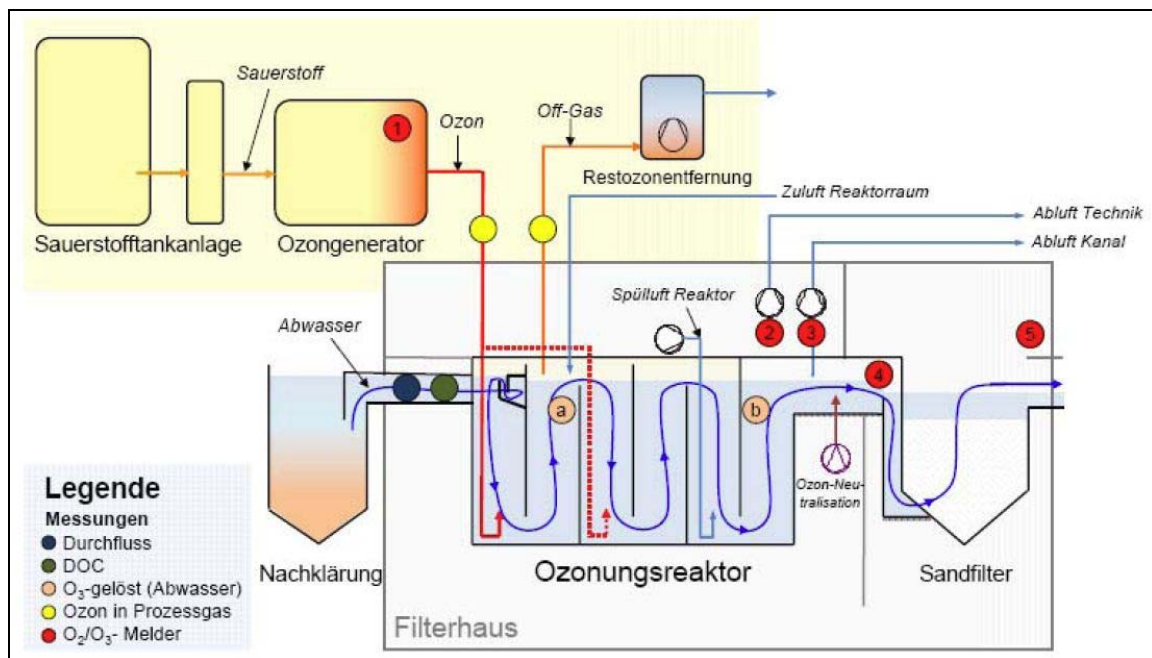


Bild 10: Schematische Darstellung einer Ozonanlage

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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 vorliegen.

Ozoneintragung

Verfahrenstechnisch sind u.a. die Ozoneintragungssysteme zu untersuchen – relevant sind hier Eintragungen über Pumpe-Injektor und über Diffusor. Eliminationsleistungen bei verschiedenen Dosierstufen wurden u.a. in der Kläranlage Duisburg-Vierlinden erprobt. Mit beiden Verfahren wurden etwa gleiche Ergebnisse hinsichtlich der Spurenstoffentfernung erzielt [Pinnekamp, 2008].

Grundsätzlich sind auch Oxidationsmittel wie Wasserstoffperoxid oder die Kombination mit der UV-Bestrahlung einsetzbar. Diese sind allerdings in der Praxis kommunaler Kläranlagen noch nicht anwendungsreif.

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].

So führt die Ozonierung von Carbamazepin bei der Trinkwasseraufbereitung zu mindestens sieben Reaktionsprodukten, zu denen kaum toxikologische Daten verfügbar sind [Dowell et al., 2005].

Bekannte Transformationsprodukte sind Bromat und Nitrosamine. Bromat gilt als potentiell kanzerogen und wird bei der Ozonung von bromidhaltigem Wasser gebildet. Der Trinkwassergrenzwert für Bromat gem. TrinkwV (2001) beträgt 10 µg/l. Bei geringen Bromidkonzentrationen im Abwasser von 30 – 90 µg/l wurde bei Versuchen in Regensdorf und Duisburg-Vierlinden der zulässige Trinkwassertoleranzwert von Bromat (10 µg/l) nicht überschritten. Bei hohen Bromidkonzentrationen (100 bis 150 µg/l) und hohen Ozondosen (> 0,7 g_{O₃}/g_{DOC}) wurde der Grenzwert teilweise

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

überschritten [KOMS, 2016]. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann im Rahmen von Planungsprozessen eine Schwellenbewertung für Bromid erfolgen mit der die Bromatbildung abgeschätzt werden kann ($C_{\text{Bromid}} \leq 100 \mu\text{g/l} \rightarrow$ 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.

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

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 Schönungsteich anzusehen. Darüber hinaus können auch verschiedene Filterverfahren eingesetzt werden wie.

Dyna-Sand Filter und automatische Schwerkräftfilter.

Zur Abscheidung von Pulveraktivkohle hinter einer adsorptiven Reinigungsstufe bieten sich neben den vorgenannten Filtern u.a. Tuchfilter oder Fuzzy Filter an. Ein Fuzzy-Filter wird derzeit erstmalig in Deutschland in Verbindung mit einer PAK Dosierung auf der Kläranlage Bartrup installiert [Gantner, 2014].

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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.

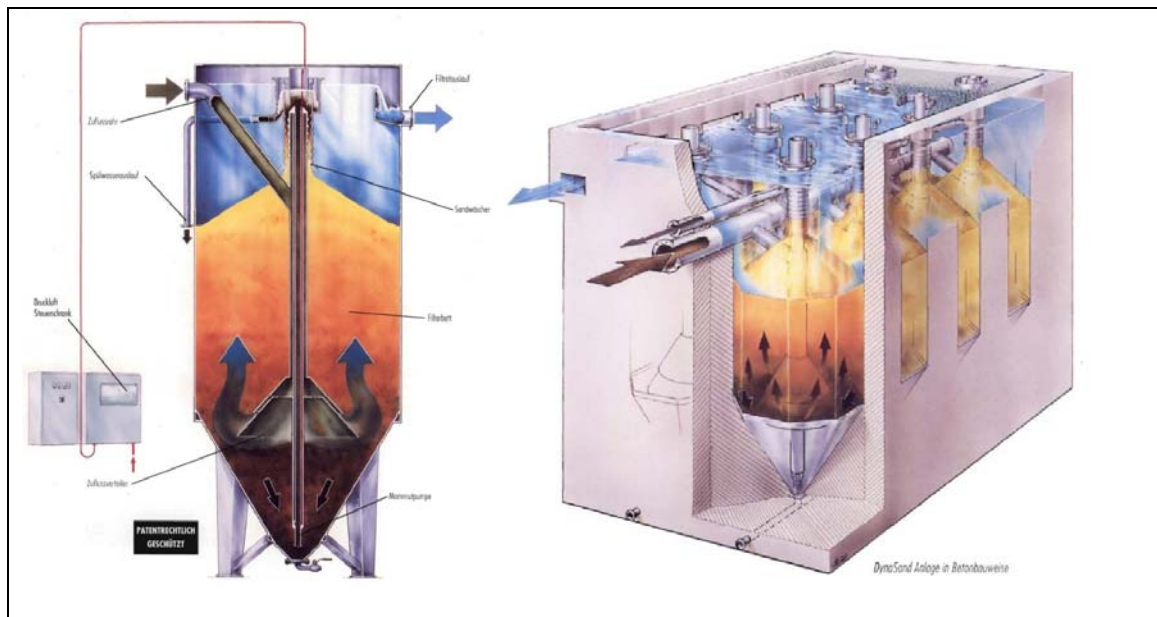


Bild 11: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

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, z.B. 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 grob-porigem 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.



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

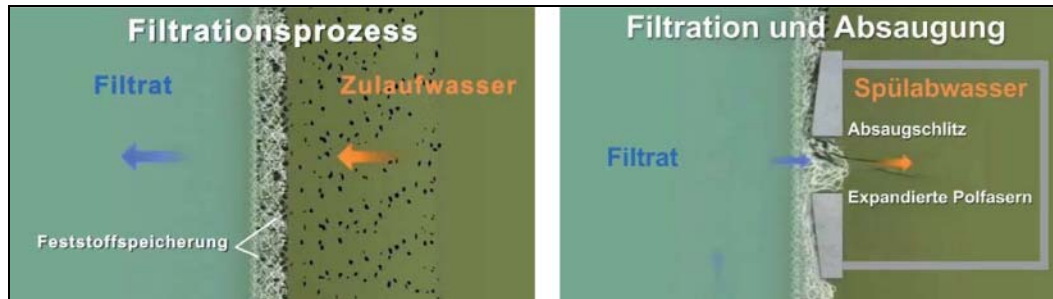


Bild 12: Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

Das Filtertuch ist bei Scheibenfiltern auf Kunststoffsegmente montiert. Aus mehreren Segmenten wird eine Filterscheibe gebildet und mehrere Scheiben zu einer Scheibenfiltereinheit 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).

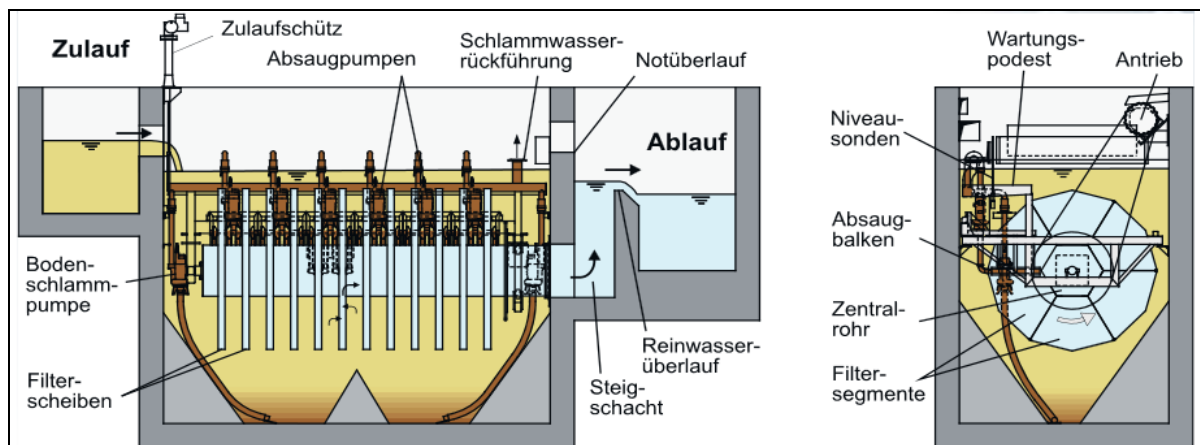


Bild 13: Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

5.5 Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

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

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

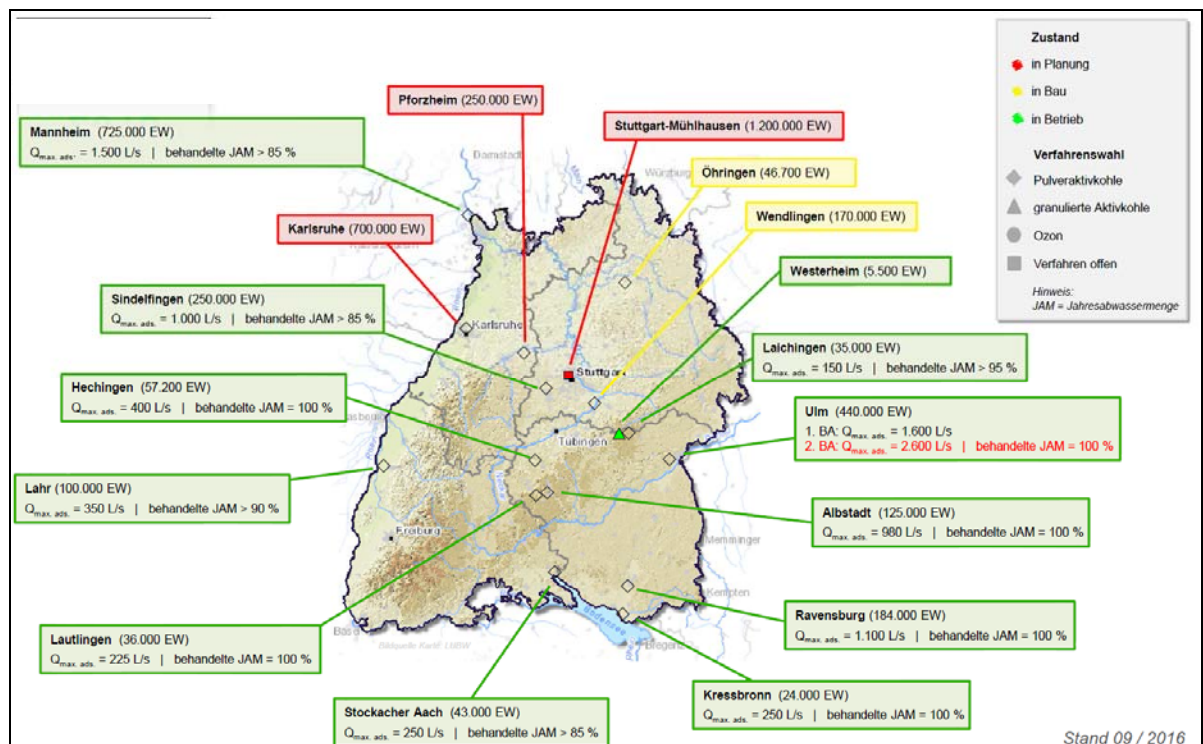


Bild 14: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

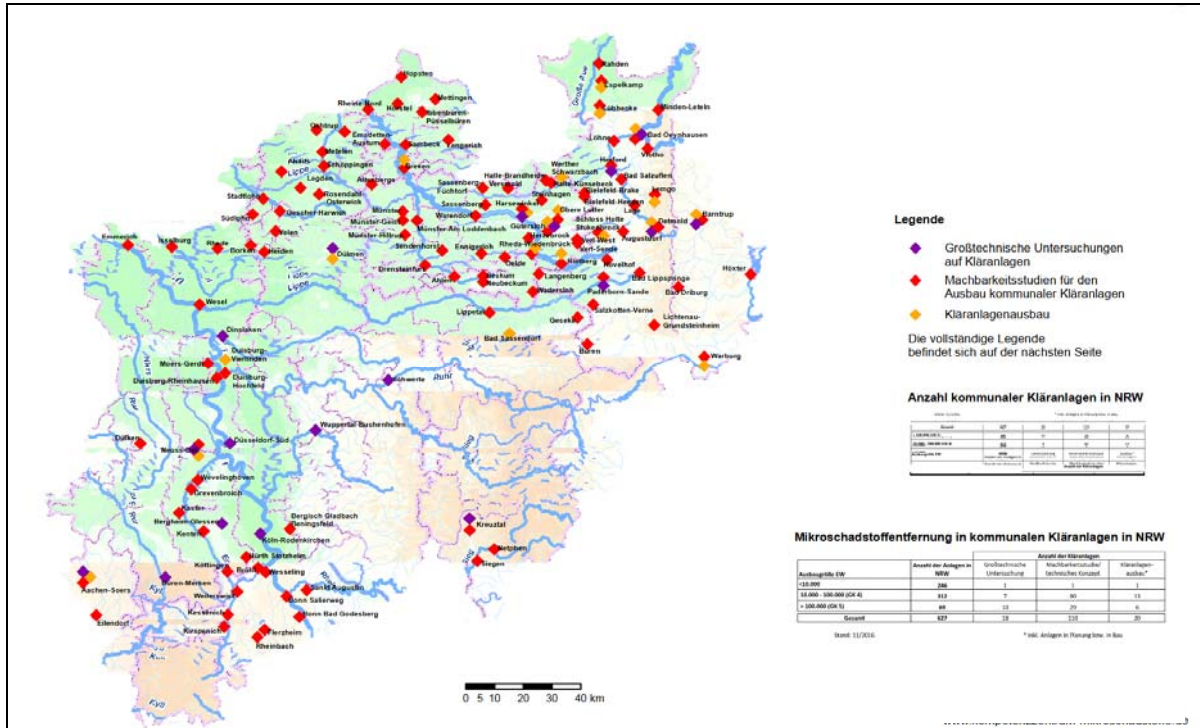


Bild 15: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]


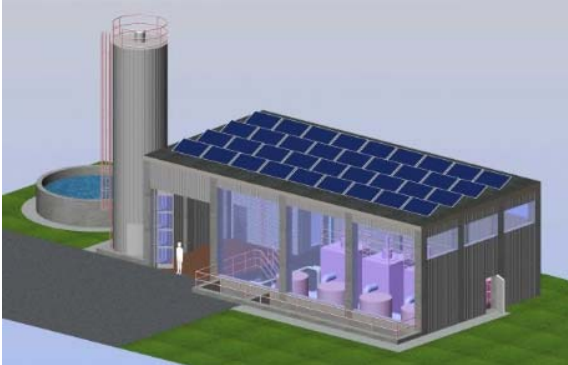
5.5.1 Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination

Nachfolgend werden großtechnisch 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 Barntrup (Stadt Barntrup)		
 		
(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	GAK - 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

Kläranlage Rietberg (Stadt Rietberg)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination



(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

Kläranlage Düsburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Düsburg)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination



(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 $V_{ges.} = 200 \text{ m}^3$ Beckenvolumen biol. Nachbehandlung Betrieb seit 8.2011	Ozonung: Ozoneintrag beider Straßen über Injektoren (Umrüstung der bisherigen Diffusorstraße auf Injektorbetrieb), DOC Steuerung 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		
Kläranlage Schwerte (Ruhrverband)		

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination



(Foto: Ruhrverband)

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

5.6 Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination

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

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

Das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW hat im Auftrag des MKULNV NRW Arbeitsgruppen 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.

Auslegungswassermenge:

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

Bei Kläranlagen mit geschlossenem Kanalnetz im Mischsystem ist einzuhalten:



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

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

Bei Kläranlagen mit angeschlossenem Kanalnetz im Trennsystem ist einzuhalten:

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

Bei besonders empfindlichen Gewässern (FFH Gebiete, Lachslaugewässer o.ä.), Gewässern mit geringer Wasserführung im Verhältnis zur Einleitungsmenge bei mittleren Niedrigwasserabfluss ($Q/NMQ > 1/3$), 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.

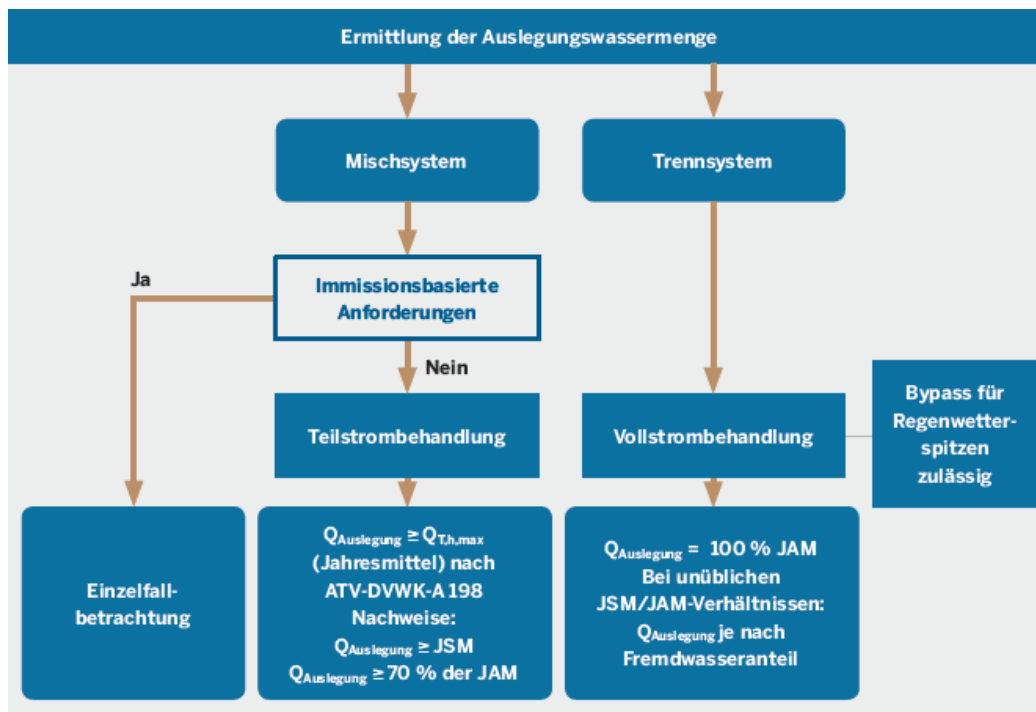


Bild 16: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Bei Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf den Mischwasserabfluss statt auf den maximalen Trockenwetterabfluss und Annahmen von 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 Prozentpunkte. Wirtschaftlich kann somit nur eine Auslegung in Bezug auf den max. Trockenwetterabfluss sein. Ozonanlagen in Duisburg-Vielinden und Bad Sassendorf wurden entsprechend ausgelegt ($Q_{t2h,max}$) [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)

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 x angegebenen Substanzen vorgeschlagen [Kompetenzen-

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

trum 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	Entferbarkeit mittels PAK/GAK
1H-Benzotriazol	mittel	gut
Carbamazepin	gut	gut
Diclofenac	gut	gut
Metoprolol	mittel	gut
Clarithromycin	gut	mittel
Sulfamethoxazol	gut	mittel

Auslegung Ozonanlage:

Ozonerzeugung

- Maximale Ozonmenge, empfohlene Dosis als Auslegungsgröße in Abhängigkeit von der DOC Konzentration: $z_{\text{spez.}} = 0,6 - 0,8 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [Bajenbruch et al., 2014].
 Maximale Ozonmenge zur Elimination der meisten Spurenstoffe gemäß schweizerischem Bundesamt für Umwelt $z_{\text{spez.}} = 0,7 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [10]
 Empfohlener Auslegungsbereich: $z_{\text{spez.}} = 0,6 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$,
 im Mittel: $z_{\text{spez.}} = 0,75 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$
 Die angegebenen Ozonkonzentrationen setzen eine stabile Nitrifikation voraus und geringe Feststoffablaufwerte der Nachklärung.
- Festlegung der applizierten Ozonkonzentration:
 $C_{\text{O}_3} = z_{\text{spez.}} \times C_{\text{DOC}}$
- Ermittlung der benötigten Produktionskapazität:
 $B_{\text{O}_3, \text{max}} = Q_{\text{Bem}} \times C_{\text{O}_3}$
 Bemessungswassermenge Q_{Bem} entspricht dem Spitzenabfluss bei Trockenwetter ($Q_{\text{T, max}}$ oder $Q_{\text{T, h, max}}$ oder $Q_{\text{T, 2h, max}}$)
- Ozonerzeugung über flüssigen Sauerstoff (LOX), komprimierte Luft, Sauerstoff aus PSA-Anlage. LOX-Anlagen wandeln ca. 10 M.% in O_3 um.

Ozonreaktor

- Ermittlung des Reaktorvolumens über die Aufenthaltszeit (mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss: 15 – 30 min)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

- Dauer vollständige Ozonzehrung; vorab Zehrungsversuch oder numerische CFD-Strömungssimulation der Wasser- und Gasphase CFD)
- 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, O₃-Konzentration im Off-Gas oder in der gelösten Phase
- O₃ ggf. O₂-Messungen in Betriebsräumen (Arbeitssicherheit)
- Nachbehandlung ozoniertes Wasser empfohlen (vorh. Raumfilter, Schönungsteich, Wirbel- oder Festbettreaktor)
- Empfohlene Anwendung der zulaufmengenproportionale 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 (Sandfilter z.B.) oder biologisch-adsorptive Verfahren (GAK-Filter), Schönungsteiche oder Wirbel- und Festbettreaktoren sind einsetzbar.

Auslegung Pulveraktivkohleanlage (PAK):

- PAK Dosierung zwischen 10 und 25 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 u.a. nach Vorversuchen)

Auslegung GAK-Filter:

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

6 Kläranlage Versmold

6.1 Kurzbeschreibung Kläranlage

Die Kläranlage Versmold wurde Mitte der sechziger Jahre errichtet, Aufgrund steigender Schmutzfrachten und erhöhter Reinigungsanforderungen hinsichtlich der Stickstoffelimination hatte die Kläranlage Anfang der neunziger Jahre die Kapazitätsgrenze erreicht und musste umgebaut und erweitert werden. Der Ausbau erfolgte bis 1998 auf eine Ausbaugröße von zunächst 72.000 Einwohnerwerte (EW). Berücksichtigt wurde eine spätere Erweiterbarkeit auf 90.000 Einwohnerwerte (EW). Derzeit sind rd. 56.000 EW angeschlossen.

Die Kläranlage liegt südlich der Stadt Versmold. Angeschlossen sind die Kernstadt sowie die Stadtteile Bockhorst, Loxten und Peckeloh.

Die Entwässerung erfolgt für Teile der Stadt im Mischsystem. Der Zufluss zur Kläranlage aus dem Mischsystem wird über ein vorgelagertes Regenüberlaufbecken vergleichmäßig bzw. gemindert.

Folgende Verfahrensstufen sind auf der Kläranlage vorhanden:

- Zulaufpumpwerk, vier Kreiselpumpen je 90 l/s, MID Zulaufmessung,
- Rechenanlage, zwei Feinrechen als Gegenstromrechen, Rechengutpresse,
- Sandfang, zweikammeriger Sandfang,
- Vorklärung, flotative Vorklärung, zweistraßiger Ausbau (je 550 m³), Räumwagen für Boden und Oberflächenräumung, Druckentspannungsflotation,
- Belebungsbecken, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (je 3.200 m³), intermittierende Belüftung, Gebläsestation
- Simultane P-Fällung, Dosierung in Rücklaufschlammsystem
- Nachklärung, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (je 1.600 m³), Räumbrücke, Bodenräumschild, Schneckenpumpwerk zur Rücklaufschlammförderung, Kreiselpumpen ÜS-Förderung,
- Schönungsteich (6.000 m³), MID Ablauf Schönungsteich
- Faulungsanlage, zwei Faulbehälter (je 1.300 m³), Faulschlamm-Mischer, Gasbehälter (2.000 m³),
- Sonstiges Schlammbehandlung: zwei Nacheindicker, Schlamm entwässerung (Zentrifuge), Schlammbecken (2 Becken, ges. ca. 4.500 m³), Zentratspeicher (ca. 500 m³), Schlamm Lagerplatz (1.500 m²), Fäkalannahmestation
- Heizungsanlage (Heizkesselanlage, 400 kW), BHKW (zwei Module, 103 KW_{el}), Notstromaggregat

6. Kläranlage Versmold

Ein schematischer Lageplan der Kläranlage ist in Bild 17 dargestellt.

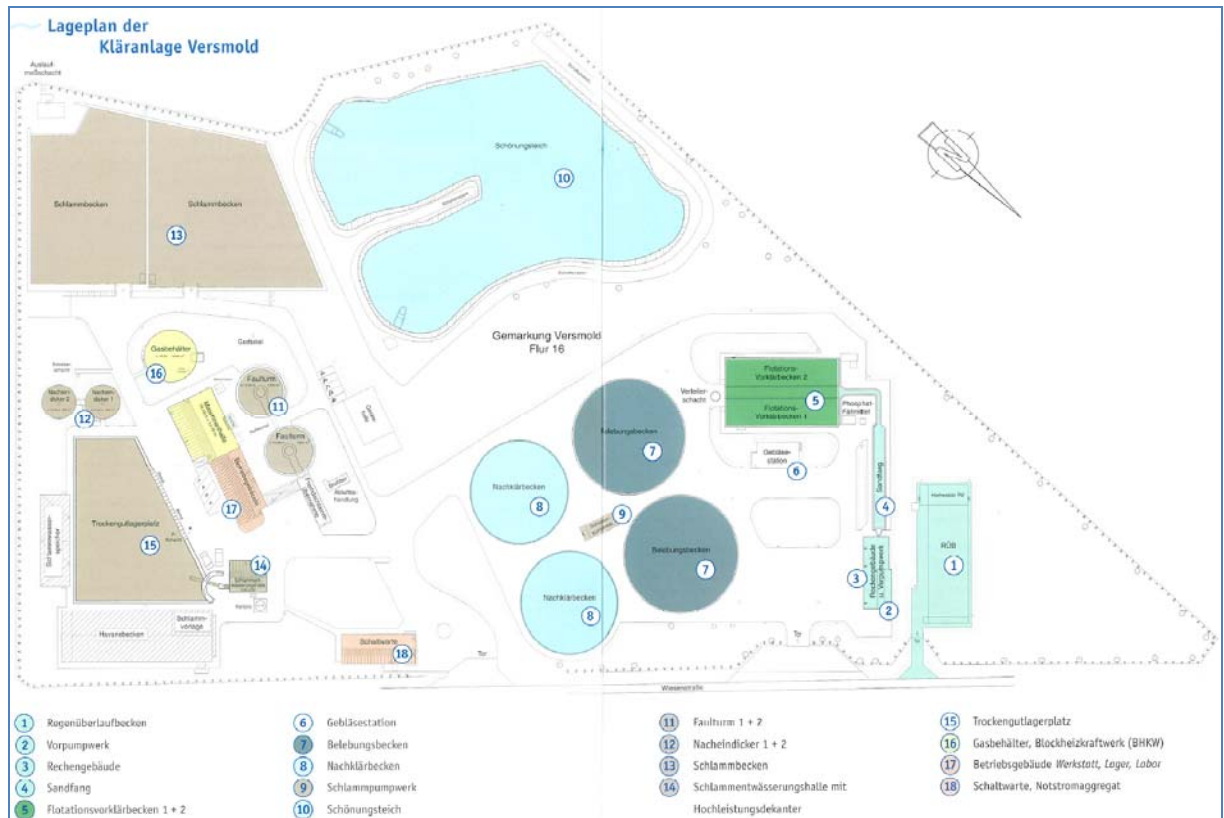


Bild 17: Lageplan Kläranlage Versmold [Stadt Versmold]

Nachfolgende Bilder der Kläranlage Versmold zeigen Anlagenteile, die Einleitungsstelle in den Aab-ach sowie die potentiellen Erweiterungsfläche zur Errichtung der 4. Reinigungsstufe.



Bild 18: Nachklärung (links) , Faulung, Gasbehälter (rechts)

6. Kläranlage Versmold



Bild 19: Schönungsteich (links), Einleitungsstelle Kläranlage (rechts)



Bild 20: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe zwischen Belebung und Schönungsteich

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Versmold werden in Tabelle 4 zusammengefasst (Daten aus [Stadt Versmold, 1999]).

Tabelle 4: Planungsdaten Kläranlage Versmold [Stadt Versmold, 1999]

Zufluss	Auslegung KA 1998	ELWAS-WEB
Trockenwetterzufluss Q_T	10.200 m ³ /d, 704 m ³ /h	12.750 m ³ /d, 880 m ³ /h
Schmutzwasserzufluss Q_S	5.800 m ³ /d, 520 m ³ /h	
Fremdwasserzufluss Q_F	4.400 m ³ /d, 184 m ³ /h	230 m ³ /h
Trockenwetterzufluss – Nacht $Q_{T,min}$	72 m ³ /h, 20 l/s	
Regenwetterzufluss Mischwasser $Q_{M,max}$	900 m ³ /h, 250 l/s	1.125 m ³ /h

6. Kläranlage Versmold

Die nachfolgenden Bilder zeigen den Zufluss zur Kläranlage bei Trocken- und Regenwetter. Bei Trockenwetter fließen der Kläranlage im Mittel 5.730 m³/d zu.

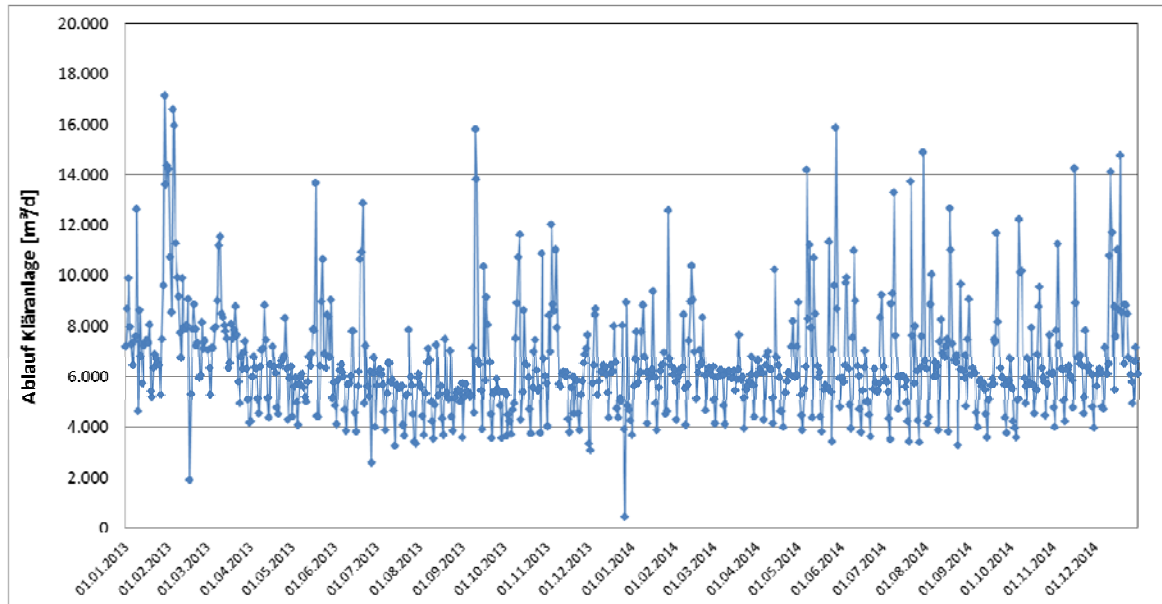


Bild 21: Ablauf Kläranlage Versmold – Trocken-, Regenwetter (2013, 2014)

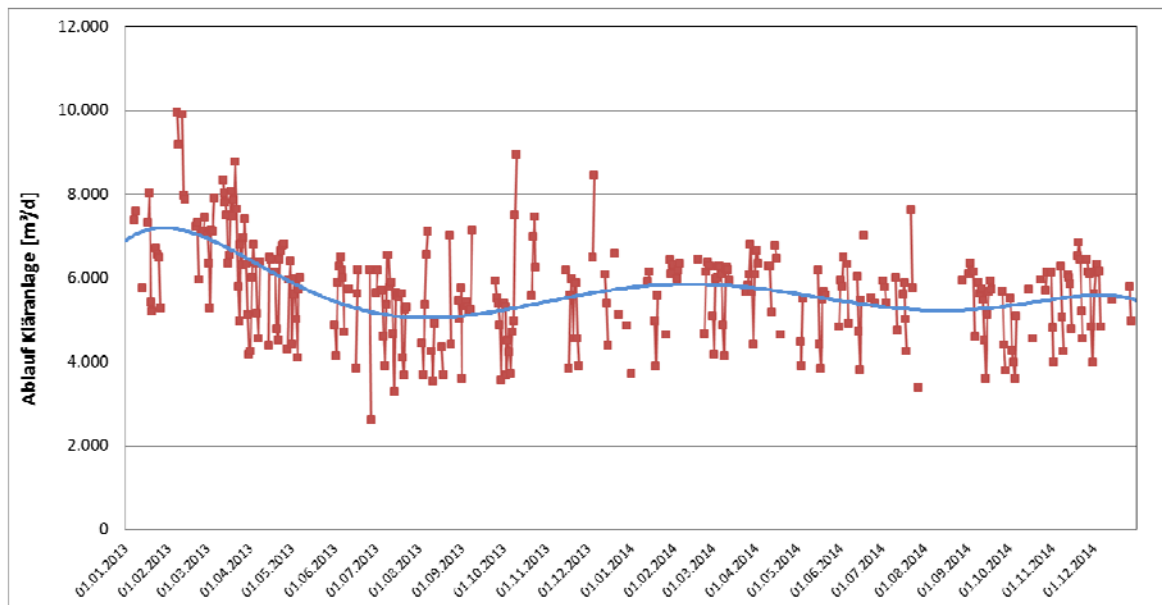


Bild 22: Ablauf Kläranlage Versmold – Trockenwetter (2013, 2014)

Die Summenhäufigkeit der Abwasservolumenströme bei Trockenwetter im Zufluss der Kläranlage zeigt Bild 23. Für das 80% Perzentil beträgt der Abwasservolumenstrom rd. 6.450 m³/d und für das 50% Perzentil rd. 5.850 m³/d (Betrachtungszeitraum 2013 – 2014).

6. Kläranlage Versmold

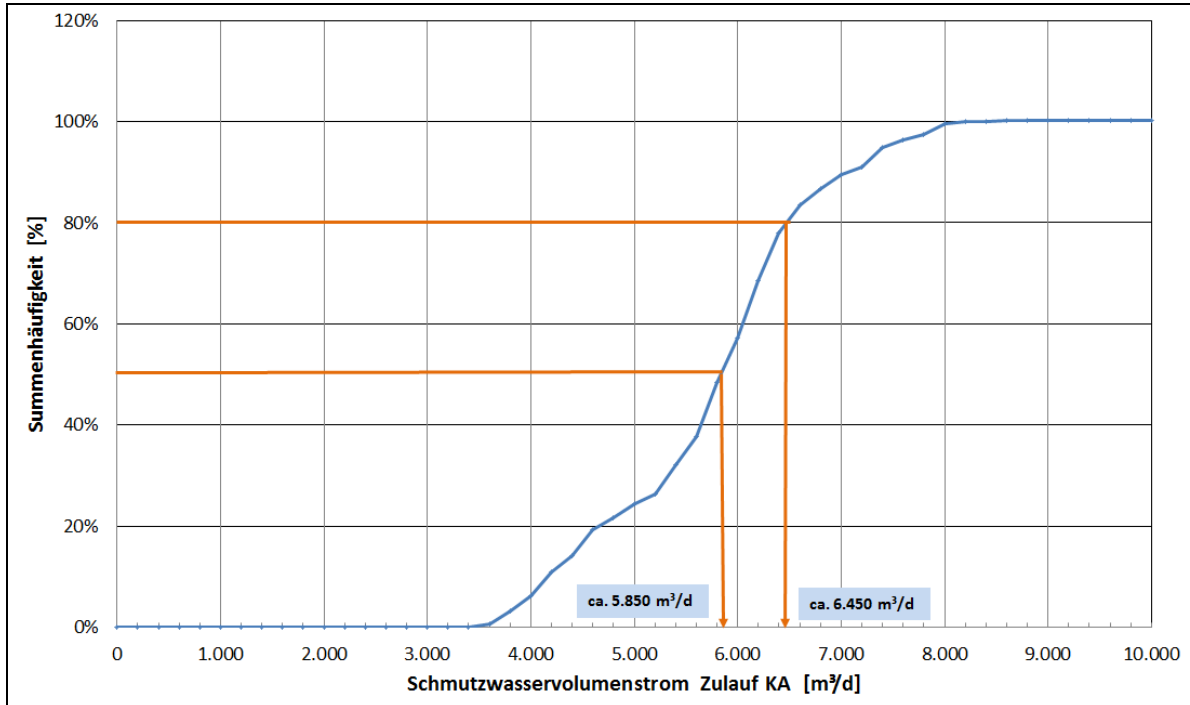


Bild 23: Summenhäufigkeit - Zufluss Schmutzwasser Kläranlage Versmold – Trockenwetter (2013, 2014)

Die Gesamt-Phosphor-Konzentration im Ablauf der Kläranlage zeigt Bild 24 beispielhaft für das Jahr 2013. Im Mittel beträgt die P_{ges} - Ablaufkonzentration ca. 0,52 mg/l.

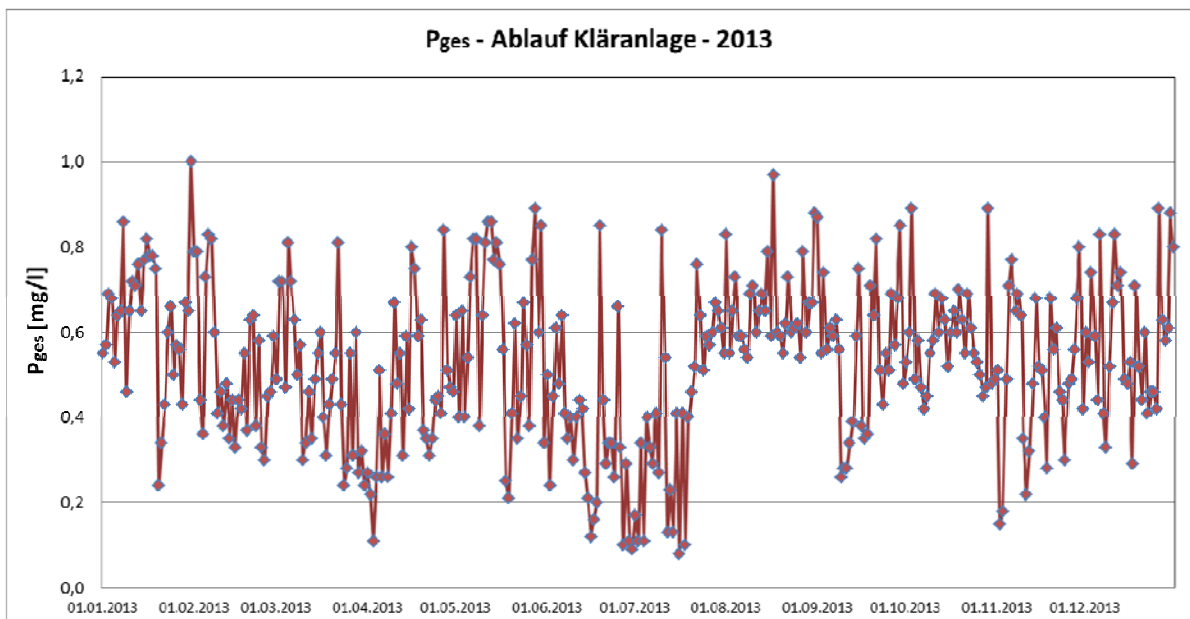


Bild 24: P_{ges} -Konzentration Ablauf Kläranlage (2013)

6. Kläranlage Versmold

Aktuelle Betriebsdaten zum Abwasser- und Schlammanfall sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Die Jahresschmutzwassermenge wurde auf Basis der Trockenwettertage ermittelt. Trockenwetter bei Niederschlag < 0,3 mm. Der Tag nach einem Regenwettertag wird aufgrund des Regennachlaufes als Regenwettertag gewertet.

Tabelle 5: Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Versmold (2014 – 2016)

Zulauf	Jahr	Abwassermenge				Quelle / Bemerkung
Jahresschmutzwassermenge (JSM)	2014	2.026.088 m³/a	5.551 m³/d	231 m³/h	64 l/s	Betriebsdaten
	2015	2.379.561 m³/a	6.519 m³/d	272 m³/h	75 l/s	Betriebsdaten
	2016	2.313.440 m³/a	6.338 m³/d	264 m³/h	73 l/s	Betriebsdaten
	2014-2016	2.239.696 m³/a	6.136 m³/d	256 m³/h	71 l/s	Mittelwert
Jahresabwassermenge (JAM)	2014	2.386.716 m³/a	6.539 m³/d	272 m³/h	76 l/s	Betriebsdaten
	2015	2.860.074 m³/a	7.836 m³/d	326 m³/h	91 l/s	Betriebsdaten
	2016	2.794.703 m³/a	7.657 m³/d	319 m³/h	89 l/s	Betriebsdaten
	2014-2016	2.680.498 m³/a	7.344 m³/d	306 m³/h	85 l/s	Mittelwert
Jahresfrischwassermenge (JSM)	2014	1.409.068 m³/a	3.860 m³/d	161 m³/h	45 l/s	Betriebsdaten
	2015	1.430.713 m³/a	3.920 m³/d	163 m³/h	45 l/s	Betriebsdaten
	2016	1.509.644 m³/a	4.136 m³/d	172 m³/h	48 l/s	Betriebsdaten
	2014-2016	1.449.808 m³/a	3.972 m³/d	166 m³/h	46 l/s	Mittelwert
Fremdwassermenge	2014	617.020 m³/a	1.690 m³/d	70 m³/h	Fremdw.anteil	30,5%
	2015	948.848 m³/a	2.600 m³/d	108 m³/h	Fremdw.anteil	39,9%
	2016	803.796 m³/a	2.202 m³/d	92 m³/h	Fremdw.anteil	34,7%
	2014-2016	789.888 m³/a	2.164 m³/d	90 m³/h	Fremdw.anteil	35,3%

Auf Basis der mittleren Jahresschmutzwassermenge und der mittleren Jahresfrischwassermenge der Jahre 2014 - 2016 ergibt sich folgende Fremdwassermenge:

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

$$Q_{F,a} = 2.239.696 \text{ m}^3/\text{a} - 1.449.808 \text{ m}^3/\text{a} = 789.888 \text{ m}^3/\text{a} \text{ bzw. } \mathbf{2.164 \text{ m}^3/\text{d}; 90 \text{ m}^3/\text{h}; 25 \text{ l/s}}$$

Der mittlere Fremdwasseranteil (FWA) bzw. Fremdwasserzuschlag (FWZ) im Zeitraum 2014 bis 2016 beträgt rd. 35 % bzw. 54 %. Nach Daten für den Zeitraum 2011 – 2015 der Bezirksregierung Detmold vergleichbare FWA von 37 % und für den FWZ von 58 % (Daten: Sürder, 2016).

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

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

$$X_{Q_{\max}}: 16 \text{ h/d}$$

$$\text{Schmutzwassererzufluss } Q_{S,\max}: 3.972 \text{ m}^3/\text{d} / 16 = \mathbf{248 \text{ m}^3/\text{h}, 69 \text{ l/s}}$$

6. Kläranlage Versmold

Für die Ermittlung der derzeitigen Belastungswerte und Zulauffrachten der Zentralkläranlage Versmold wurden die Betriebsdaten der Jahre 2014 bis 2016 entsprechend dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 „Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen“ ausgewertet. Für die Jahre 2014 bis 2016 betrug die Belastung der Kläranlage 59.036 (2014), 55.229 (2015) bzw. 53.650 (2016) Einwohnerwerte. In diesem Zeitraum waren 21.772 (2014), 22.113 (2015) bzw. 21.835 (2016) Einwohner an die Kläranlage angeschlossen. Die Auswertetabellen für die Zulauffrachten und die Abwassermengen sind der Anlage beigelegt.

Im Zeitraum 2014 – 2016 waren somit im Mittel 21.910 Einwohner an die Kläranlage angeschlossen sowie 33.715 EGW. Der Einwohnerwert der Kläranlage beträgt im Mittel: **55.625 EW**.

In Bezug auf die derzeitige Ausbaugröße von 72.000 EW ergibt sich ein möglicher Zuwachs der Jahresfrischwassermenge von rd. 29 % (Verhältnis 55.625 EW zu 72.000 EW).

Aufgrund der relativ gleich bleibenden Jahresfrischwassermengen der vergangenen Jahre wird zunächst für die Ermittlung der Bemessungswassermengen von einer Zunahme der Jahresfrischwassermenge von 10% ausgegangen.

Daraus ergibt sich ein Schmutzwasserbemessungszufluss

$$Q_{S,max, Bem.} \text{ von: } 248 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,1 = 272,8 \text{ m}^3/\text{h}; \text{ rd. } \mathbf{273 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Die Fremdwassermenge wird als konstant angenommen.

$$\text{Fremdwasserzufluss } Q_F: \quad 2.164 \text{ m}^3/\text{d} / 24 = \mathbf{90 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } 25 \text{ l/s}}$$

Maximaler Trockenwetterzufluss:

$$Q_{T,max}: 273 \text{ m}^3/\text{h} + 90 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{363 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } 101 \text{ l/s}}$$

Mittlerer Trockenwetterzufluss unter Berücksichtigung einer Erhöhung der Jahresfrischwassermenge um 10%:

$$Q_{T,mittel}: 6.136 \text{ m}^3/\text{d} + (3.972 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,1) = \mathbf{6.533 \text{ m}^3/\text{d}; 272 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } 75,6 \text{ l/s rd. } \mathbf{76 \text{ l/s}}$$

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

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } Q_{F,aM} + Q_{S,d,aM} = 90 \text{ m}^3/\text{h} + (166 \text{ m}^3/\text{h} \times 20\%)$$

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } 123,2 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{124 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. rd. } \mathbf{34 \text{ l/s}}$$

6. Kläranlage Versmold

Die Auslegung von Anlagenteilen für den Mischwasserzufluss bei Regenwetter wird auf die Leistung des Zulaufpumpwerkes von 972 m³/h bzw. 270 l/s festgelegt.

Tabelle 6: Auslegung – Spurenstoffelimination

KA Versmold	Bemessung Spurenstoffelimination			Bemerkung
Trockenwetterzufluss (mittel), Q _{T,mittel}	6.533 m ³ /d	272 m ³ /h	76 l/s	JSM 2014-2016 + 10% QS,a
Trockenwetterzufluss (max.) Q _{T,max.}		363 m³/h	101 l/s	Steigerung Q _{T,max.} in Summe: 10%
Trockenwetterzufluss (min.) Q _{T,min.}		124 m ³ /h	34 l/s	
Regenwetterzufluss (max.)		972 m³/h	270 l/s	Leistung Zulaufpumpwerk
Fremdwasserzufluss	4.369 m ³ /d	182 m ³ /h	51 l/s	mittlerer FW-Anteil rd. 35,3%
Frischwasser/Schmutzwasser	2.164 m ³ /d	90 m ³ /h	25 l/s	Ansatz: Steigerung 10%

Der mittlere Frischwasserverbrauch von 1.449.808 m³/a, rd. 1.450.000 m³/a für den Zeitraum 2014 - 2016 wird zur Angabe der spezifischen Jahreskosten verwendet.

Einwohnerwerte (Mittelwert 2014 – 2016):

Größenklasse (TW-Tage): 50.950 EW

Belastung (alle Tage): 55.625 EW

(Auswertung siehe Anhang 13.2).

Sonstige Angaben:

Klärschlammanfall (Angabe Betrieb):

2013: Klärschlammanfall (Feuchtmasse - FM): 2.631 t/a

2014: Klärschlammanfall (Feuchtmasse - FM): 2.198 t/a

Annahme mittlerer Schlammanfall 2.414 t/a (Mittel: 2013 - 2014).



6. Kläranlage Versmold

6.2 Situation Gewässersystem Ems (Aabach, Hessel), Trinkwassergewinnung

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Aabach, ein Nebenfluss der Hessel, der zum Gewässersystem der Ems gehört. Der Aabach mündet rd. 1,5 Flusskilometer unterhalb der Einleitungsstelle der Kläranlage in die Hessel. Das Gewässersystem zeigt Bild 25.

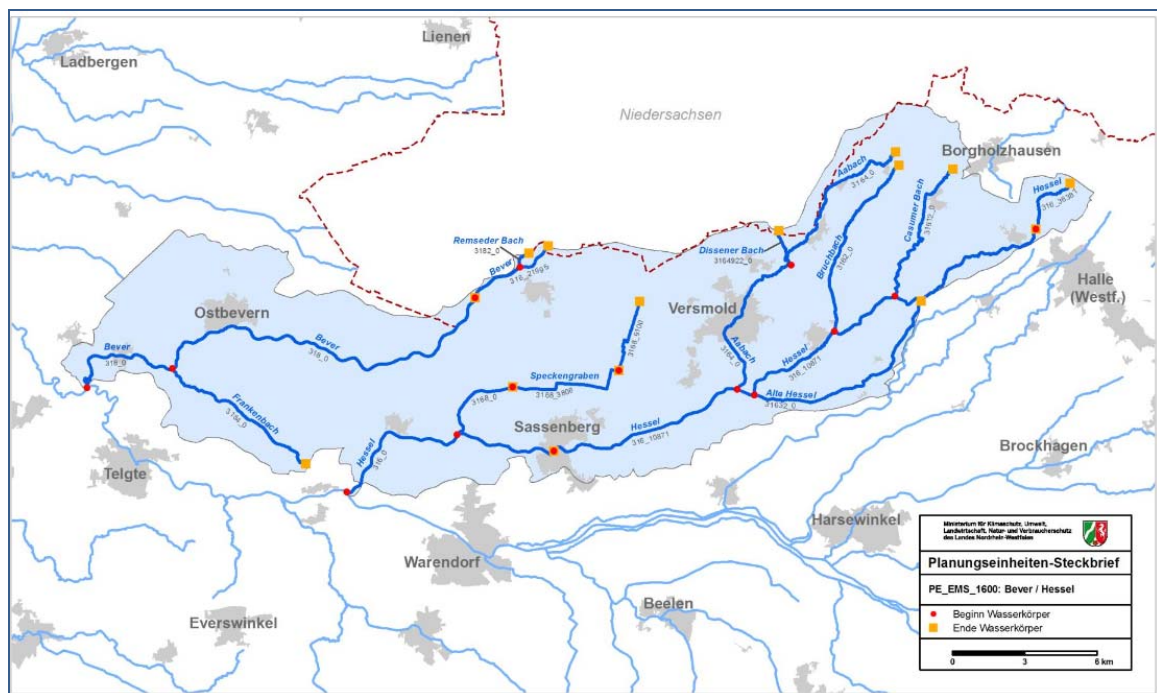


Bild 25: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_EMS_1600 [MKULNV NRW, 2015]

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold am Aabach ergeben ein Mittelwasserabfluss MQ von 0,521 m³/s und einen mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ von 0,158 m³/s. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt 51,6 % und am MQ 15,6 % (Daten Bezirksregierung Detmold, Jahresabwassermenge 2012).

Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von 6.136 m³/d bzw. 0,071 m³/s für den Zeitraum 2014 - 2016 ergibt sich ein Abwasseranteil von 44,9 % am MNQ.

Dies führt überschlägig zu Einzelstoffkonzentrationen von 0,45 µg/l bei NMQ-Abfluss im Gewässer, wenn das Abwasser an der Einleitungsstelle einen Einzelkonzentrationswert von 1 µg/l aufweist.

6. Kläranlage Versmold

Abwasseranteile von über 33% am Gewässerabfluss bei MNQ gelten als hoch [Bergmann, 2011]. Derzeit bestehen hierzu jedoch keine verbindlichen gewässerrechtlichen Vorgaben in Nordrhein-Westfalen. Den aktuellen ökologischen Gewässerzustand des Aabaches und der Hessel zeigt Bild 26 [MKULNV NRW, 2015].

Aabach:

Der ökologische Zustand des Aabaches im 3. Monitoringzyklus wird als „schlecht“ bewertet. Vom 2. Zum 3. Monitoringzyklus hat sich die MZB Saprobie (Makrozoobenthos) von „gut“ zu „mäßig“ entwickelt und Phytobenthos von „unbefriedigend“ zu „schlecht“. Makrophyten werden als „unbefriedigend“ eingeordnet.

Das ökologische Potential hat sich von „unbefriedigend“ zu „schlecht“ entwickelt. Der chemische Zustand ist als „nicht gut“ bewertet.

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

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

Die Gewässer-Gütemessstelle (728726) im Aabach, unterhalb der Kläranlageneinleitung, zeigt für das Bewertungsjahr 2012 und bei Bewertung der UQN im Jahresmittel (JD-UQN) für chemische Parameter für Zink eine „mäßige“ Belastung, für Nitrit-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphor-Phosphat eine „unbefriedigende“ und für Ammoniak-Stickstoff eine „schlechte“ Gewässersituation. Gemäß Expertenurteil ist die Biologie in Bezug auf Fischfauna als „schlecht“ und für Makrophyten als „unbefriedigend“ einzustufen (Daten aus 2013) (ELWAS-WEB).

Hessel:

Der ökologische Zustand und das ökologische Potential der Hessel (von Warendorf bis Sassendorf und bis Borgholzhausen) werden als „unbefriedigend“ eingeschätzt.

Der chemische Zustand ist „nicht gut“. Die ACP zeigen Überschreitungen von Grenz- und Orientierungswerten bei TOC (org. Kohlenstoff), Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphat-Phosphor (Warendorf bis Sassenberg) und von TOC (Sassenberg bis Borgholzhausen).

Unter den nicht gesetzlich verbindlich geregelten Metallen wurde Barium und Zink festgestellt.

6. Kläranlage Versmold



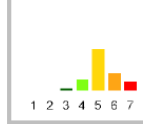
Planungseinheit	PE_EMS_1600		PE_EMS_1600		PE_EMS_1600	
Wasserkörper-ID	316_0		316_10871		3164_0*	
Gewässername	Hessel		Hessel		Aabach	
Wasserkörperbezeichnung	Warendorf bis Sassenberg		von Sassenberg bis Borgholzhausen		von der Mündung in die Hessel bei Versmold bis zur Quelle bei Borgholzhausen	
LAWA-Fließgewässertyp	15		14		14	
Trinkwassergewinnung	nein		nein		nein	
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB		verändert - HMWB		verändert - HMWB	
HMWB-Fallgruppe	LuH-TLF		LuH-TLB		LuH-TLB	
Monitoringzyklus	2	3	2	3	2	3
Ökologischer Zustand	unbefr.	unbefr.	unbefr.	unbefr.	schlecht	schlecht
MZB Saprobie	gut	gut	gut	mäßig	gut	mäßig
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	mäßig	unbefr.	mäßig	mäßig	unbefr.
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.
MZB Gesamt	unbefr.	mäßig	unbefr.	mäßig	mäßig	unbefr.
Fische	unbefr.		mäßig	mäßig	schlecht	schlecht
Makrophyten (PHYLIB)	mäßig	unbefr.	unbefr.	unbefr.	unbefr.	unbefr.
Makrophyten (NRW)	unbefr.	unbefr.	mäßig	unbefr.	unbefr.	unbefr.
Phytobenthos (Diatomeen)	mäßig	mäßig	mäßig	gut	unbefr.	schlecht
Phytobenthos o. Diatomeen		mäßig		mäßig	gut	unbefr.
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.
Ökologisches Potenzial	unbefr.	unbefr.	unbefr.	unbefr.	unbefr.	schlecht
MZB Allgemeine Degradation	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	gut o. bes.	mäßig
MZB Gesamt	mäßig	mäßig	mäßig	mäßig	gut o. bes.	mäßig
Fische			mäßig	mäßig	unbefr.	unbefr.
Metalle (Anl. 5 OGeWV)	gut	gut	gut	mäßig	gut	gut
PBSM (Anl. 5 OGeWV)	gut	gut	gut	gut	gut	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGeWV)						
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.	nicht eing.	eing. gut	nicht eing.	nicht eing.	eing. gut
Gewässerstruktur						
Metalle n. ges. verb. (OW)	nicht eing.	eing. gut	eing. gut	eing. gut	nicht eing.	nicht eing.
PBSM n. ges. verb. (OW)	eing. gut	nicht eing.	eing. gut	eing. gut	eing. s. gut	eing. gut
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	eing. s. gut	eing. s. gut	eing. s. gut	eing. s. gut	eing. s. gut	eing. gut
Chemischer Zustand¹	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut	gut	gut	gut	gut	gut
Metalle (Anl. 7 OGeWV*)	gut		gut	gut	gut	gut
PBSM (Anl. 7 OGeWV)	gut	gut	gut	gut	gut	gut
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGeWV)						
Nitrat (Anl. 7 OGeWV)	gut		gut		gut	
ACP Gesamt (OW)	Organischer Kohlenstoff,gesamt (TOC); Ammonium-Stickstoff, Sauerstoff, Gesamtphosphat-Phosphor		Organischer Kohlenstoff,gesamt (TOC)		Ammonium-Stickstoff, Gesamtphosphat-Phosphor	
Stoffgruppen des ökologischen Zustands / Potenzials						
Metalle (Anl. 5 OGeWV)			Silber			
PBSM (Anl. 5 OGeWV)						
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGeWV)						
Gesetzlich nicht verbindlich						
Metalle n. ges. verb. (OW)	Barium				Barium; Zink	
PBSM n. ges. verb. (OW)	Glyphosat					
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)						
Stoffgruppen des chemischen Zustands						
Metalle (Anl. 7 OGeWV) ¹						
PBSM (Anl. 7 OGeWV)						
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGeWV)						

Bild 26: Gewässerzustand Hessel und Aabach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]

6. Kläranlage Versmold

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

Der Aabach mündet über die Hessel in die Ems. Die Ems wird zur Trinkwassergewinnung über Uferfiltration genutzt.

Wasserwerke mit Brunnenanlagen im Nahbereich der Ems werden u.a. in Verl (WW Mühlgrund, 10% Uferfiltrat Ölbach/Ems), Gütersloh (Spexard, 20% Uferfiltrat Ölbach/Ems), Rheda-Wiedenbrück (Sudheide II, 25% Uferfiltrat Ems), Herzebrock-Clarholz (Quenhorn I, II, 30% bzw. 15% Uferfiltrat Ems bzw. Ruthenbach/Ems), Harsewinkel (WW Harsewinkel, 30% Uferfiltrat Ems), Sassenberg (WW Vohren, Dackmar, Westernheide; Uferfiltrat Ems), Warendorf (WW Warendorf, Uferfiltrat Ems), Greven (WW Wentrup/Herben, Uferfiltrat Ems), Münster (WW Hornheide, Uferfiltrat Ems) und Everswinkel (WW Raestrup, Uferfiltrat Ems) betrieben.

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 Schönungsteich) 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 11.03.2014 bis 14.03.2014 eine Mischprobe im Ablauf der Kläranlage entnommen (Ablauf Schönungsteich). Die Probe wurde als 72-Stunden Mischprobe zeitproportional entnommen. Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vor der Probenahme trat kein Niederschlag auf. Zur Abschätzung der bestehenden Spurenstoffbelastung im Gewässer wurde jeweils eine qualifizierte Stichprobe oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle in den Aabach entnommen und analysiert.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle 7 zeigt die festgestellte Konzentration 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 (UQN) gemäß Anlage 8 der OGewV sowie Orientierungswerte (OW) und präventive Vorsorgewerte (PV) des Monitoringprogrammes zur Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme nach der WRRL gegenübergestellt (D4-Liste).

7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 7: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Versmold (30.09 – 02.10.2015) und im Gewässer (01.10.2015)

Spurenstoffe:			Spurenstoff-Messwerte						D4-Liste OW / PV	OGewV UQN
Gruppe	Wirkstoffe		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.
Antiepileptikum	Carbamazepin	µ g/l	0,48	0,20	42%	0,29	145%	60%	0,5 J-MW	
Antibiotika	Clarithromycin	µ g/l	0,32	< 0,05	k.A.	0,077	k.A.	24%	0,02 J-MW	
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,17	< 0,05	k.A.	0,07	k.A.	41%	0,15 J-MW	
Schmerzmittel	Diclofenac	µ g/l	1,70	0,11	6%	0,61	555%	36%	0,1 J-MW	
	Naproxen	µ g/l	0,26	< 0,05	k.A.	0,085	k.A.	33%	0,1 J-MW	
	Phenazon	µ g/l	< 0,2	< 0,2	k.A.	< 0,2	k.A.	k.A.	1,1 J-MW	
Betablocker	Metoprolol	µ g/l	2,70	< 0,20	k.A.	0,64	k.A.	24%	7,3 J-MW	
	Sotalol	µ g/l	0,18	< 0,05	k.A.	0,084	k.A.	47%	0,1 J-MW	
	Atenolol	µ g/l	0,28	< 0,05	k.A.	0,081	k.A.	29%	0,1 J-MW	
	Bisoprolol	µ g/l	0,37	< 0,05	k.A.	0,13	k.A.	35%	0,1 J-MW	
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	µ g/l	0,30	< 0,1	k.A.	< 0,1	k.A.	k.A.	0,1 J-MW	
	Iopamidol	µ g/l	1,60	0,075	5%	0,50	667%	60%	0,1 J-MW	
	Iopromid	µ g/l	1,20	< 0,05	k.A.	0,36	k.A.	30%	0,1 J-MW	
Psychopharmaka	Oxacepam	µ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	< 0,05	k.A.	k.A.	0,1 J-MW	
Lipidsenker	Bezafibrat	µ g/l	0,13	< 0,05	k.A.	< 0,05	k.A.	k.A.	0,1 J-MW	
Komplexbildner (Geschirrspülmittel)	Benzotriazol	µ g/l	6,30	0,40	6%	2,20	550%	60%	10 J-MW	
Hormon	17-alpha Ethinylestradiol	µ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.	< 0,001	k.A.	k.A.	0,000035 (Ethinylestradiol)	
	17-beta-Estradiol	µ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.	0,003	k.A.	k.A.	0,0004 (für Estron)	
	Estron	µ g/l	-	< 0,005	k.A.	< 0,005	k.A.	k.A.		
Herbizid	Terbutryn	µ g/l	< 0,05	-	k.A.	-	k.A.	k.A.	0,065 J-MW	0,065 J-MW 0,34 Max.
	Isoproturon	µ g/l	< 0,05	-	k.A.	-	k.A.	k.A.	0,3 J-MW	0,3 J-MW 1,0 Max.
	Diuron	µ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.	< 0,05	k.A.	k.A.	0,2 J-MW	0,2 J-MW 1,8 Max.
	Bromid	µ g/l	< 0,05	-	k.A.	-	k.A.	k.A.	k.A.	

J-AM = Jahresmittelwert

Das Antiepileptikum Carbamazepin konnte im Ablauf der KA Versmold festgestellt werden sowie in einer um rd. 58% geringeren Konzentration im Oberlauf der Einleitungsstelle der Kläranlage. Weitere Spurenstoffbelastungen konnten im Oberlauf nur für das Schmerzmittel Diclofenac, den Komplexbildner Benzotriazol und das Röntgenkontrastmittel Iopamidol in Höhe von 5% - 6% der Ablaufkonzentration der KA Versmold festgestellt werden. Die Ursache für die relativ hohe Carbamazepin Vorbelastung im Gewässer ist nicht bekannt.

Die Schmerzmittel Diclofenac und Naproxen sowie die Antibiotika Clarithromycin und Sulfamethoxazol fanden sich alle im Ablauf der KA Versmold und lagen über den empfohlenen Grenzwerten nach P4 Liste der OGewV.

Ebenso sind Überschreitungen bei den Betablockern Atenolol, Bisoprolol und Sotalol sowie bei allen drei untersuchten Röntgenkontrastmitteln und dem Lipidsenker Bezafibrat festzustellen.

7. Screening zu Spurenstoffen

Besonders hohe Ablaufkonzentrationen im Verhältnis zum Grenzwert ergeben sich für Diclofenac, Iopamidol und Iopromid (dunkel rote Markierung).

Auch im Unterlauf der Einleitungsstelle konnten im Gewässer für die Substanzen Clarithromycin, Bisoprolol, Iopamidol, Iopromid Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden.

Für 17-beta-Estradiol wurde ebenfalls eine Überschreitung des sehr niedrigen Grenzwertes festgestellt, jedoch nicht im Ablauf der Kläranlage. Hier wirkt sich offenbar die unterschiedliche Probenahmeart (72h-Mischprobe / qualifizierte Stichprobe) aus. Für keines der drei Steroidhormone Estron, 17-alpha-Ethinylestradiol und 17-beta-Estradiol fanden sich darüber hinaus im Ablauf der Kläranlage Versmold oder im Gewässer über der Bestimmungsgrenze hinaus gehende Konzentrationen.

In Bild 27 werden die wesentlichen im Ablauf des Schönungsteiches festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt (Anzahl Stickproben: 1). Für das Schmerzmittel Diclofenac werden häufig vergleichsweise hohe Konzentrationen beobachtet (s. auch Tabelle 3). Andere Substanzen liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Dies betrifft u.a. die untersuchten Steroidhormone und Herbizide.

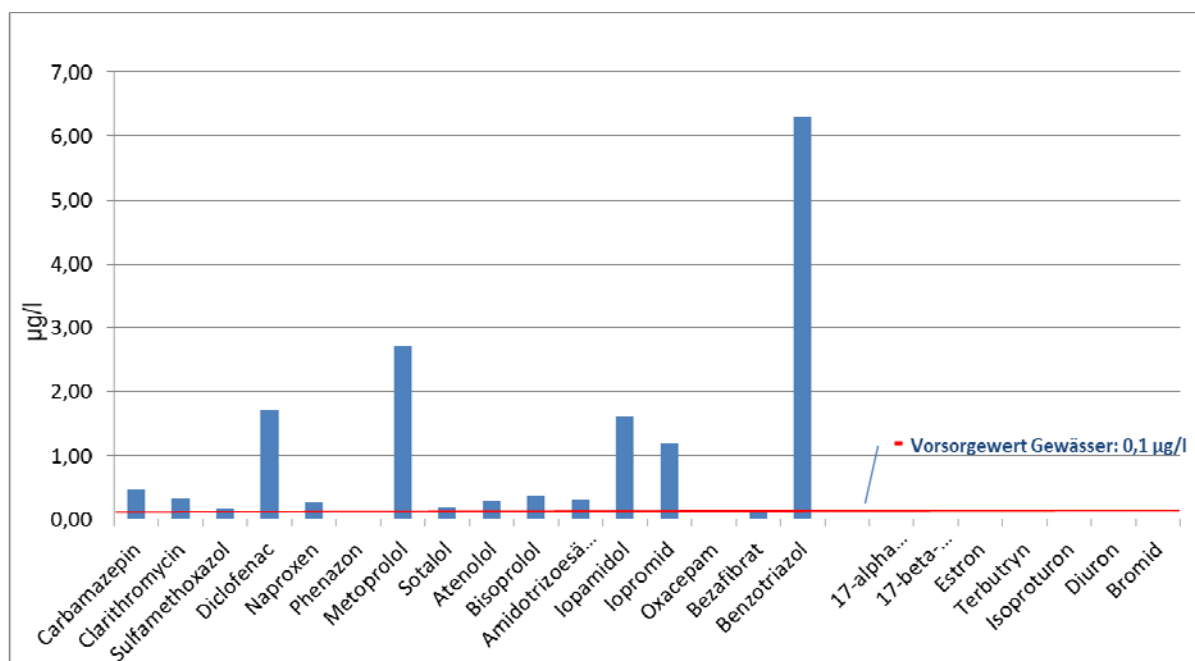


Bild 27: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf des Schönungsteiches

7. Screening zu Spurenstoffen

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

Tabelle 8: Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen

Spurenstoffe:			Kläranlage Versmold	Kläranlage Verl-West	Kläranlage Verl Sende	Kläranlage Rietberg	KA Neuss / KA Sassendorf
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA
Antiepileptikum	Carbamazepin	µ g/l	0,48	0,93	1,30	1,1 - 2,8	1,4 / 1,3
Antibiotika	Clarithromycin	µ g/l	0,32	0,30	0,56	< 0,5 - 0,19	0,7 / 0,71
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,17	0,19	0,33	0,5 - 1,1	0,7 / 0,71
Schmerzmittel	Diclofenac	µ g/l	1,70	3,40	4,40	1,8 - 3,7	1,1 / 4,9
	Naproxen	µ g/l	0,26	0,27	0,17	0,06 - 0,19	k.A.
	Phenazon	µ g/l	< 0,2	0,09	0,09	< 0,05 - 0,09	k.A.
Betablocker	Metoprolol	µ g/l	2,70	3,70	3,70	1,6 - 3,5	k.A.
	Sotalol	µ g/l	0,18	0,47	0,32	0,56 - 0,75	k.A.
	Atenolol	µ g/l	0,28	0,13	0,38	0,13 - 0,27	k.A.
	Bisoprolol	µ g/l	0,37	0,41	0,54	k.A.	k.A.
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	µ g/l	0,30	< 0,05	3,40	< 0,05 - 2,9	10,4 / 0,45
	Iopamidol	µ g/l	1,60	< 0,05	< 0,1	< 0,05 - 2,8	1,3 / 1,5
	Iopromid	µ g/l	1,20	< 0,1	< 0,1	< 0,05 - 0,77	k.A.
Psychopharmaka	Oxacepam	µ g/l	< 0,05	0,15	0,15	k.A.	k.A.
Lipidsenker	Bezafibrat	µ g/l	0,13	0,12	0,16	k.A.	k.A.
Komplexbildner	Benzotriazol	µ g/l	6,30	4,10	7,60	3,6 - 7,2	k.A.

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

Auffällig sind jedoch die im Vergleich relativ hohen Konzentrationen für Röntgenkontrastmittel Iopamidol und Iopromid im Ablauf der Kläranlage Versmold. Dagegen sind u.a. die Konzentrationen für Carbamazepin, Diclofenac und Sotalol im Verhältnis niedriger als auf den Vergleichskläranlagen.



8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold zur Spurenstoffelimination

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

Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf die nachgeschaltete Verfahrensstufe, einem Filtersystem oder einem Schönungsteich. Die Verfahren werden so ausgelegt, dass auch eine Verminderung der Phosphor-Ablaufkonzentrationen der Kläranlage durch eine Nachfällung und Filtration möglich ist. Wie in Kapitel 6.2 gezeigt wurde, ist die Wasserqualität im Aabach und der Hessel durch hohe Phosphor-Konzentrationen beeinträchtigt.

Folgende Verfahren werden betrachtet:

1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAK)

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

2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAK)

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

3. Oxidative Verfahren

- Ozonung + Schönungsteich + Filterstufe (Tuchfilter)
- Ozonung + Filterstufe (Dyna-Sand)

Die Verfahren werden im Hinblick auf:

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

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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

8.1 Vorhandene Erweiterungsfläche

Die unterschiedlichen Varianten zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfordern unterschiedlich große Flächen. Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt westlich der Kläranlage, zwischen der biologischen Stufe und dem Schönungsteich. Die Größe der Fläche beträgt ca. 2.000 m³ bis 2.500 m². Kleinere Flächen stehen ggf. östlich des Schönungsteiches zur Verfügung. Die Nutzbarkeit ist verfahrensabhängig zu prüfen.



Bild 28: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Versmold (Luftbild - Quelle: Google-Earth)

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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

Die Dimensionierung der Reinigungsstufe erfolgt unter Ansatz von Literaturempfehlungen (s. Kap. 5.4). Im Wesentlichen werden die Empfehlung der Arbeitsgruppe Mikroschadstoffe innerhalb des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe zu Grunde gelegt [KOMS, 2016].

Die Auslegung erfolgt für die ausgewerteten Abwassermengen und –frachten der Jahre 2014 bis 2016. Es wird davon ausgegangen, dass keine wesentlichen Steigerungen der zu behandelnden Abwassermengen auftreten. Für die Bemessung wurde ein 10% Anstieg der Jahresfrischwassermenge angesetzt.

Tabelle 9: Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe

Zulaufmenge	Trockenwetter
Trockenwetterzufluss - Mittel $Q_{T,mittel}$	272 m ³ /h, 76 l/s
Trockenwetterzufluss - Maximum $Q_{T,max.}$	363 m ³ /h, 101 l/s
Trockenwetterzufluss - Minimum $Q_{T,min}$	124 m ³ /h, 34 l/s
Jahresschmutzwassermenge (JSM) $Q_{S,a}$	2,24 Mio. m ³ /a
Jahresabwassermenge (JAM) $Q_{MW,a}$	2,68 Mio. m ³ /a
Mischwasserzufluss $Q_{M,Bemessung}$ (Leistung MW-Pumpwerk) (3 x 90 l/s)	972 m ³ /h, 270 l/s



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.3 Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung

8.3.1 Verfahrensbeschreibung

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

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination in Variante 1.1 wird schematisch in Bild 29 gezeigt:

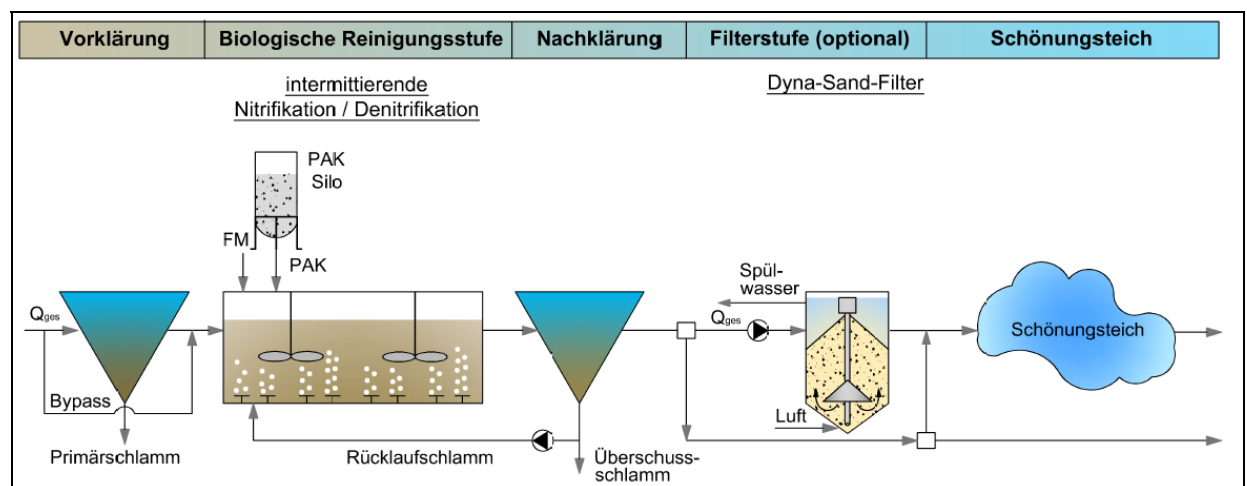


Bild 29: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

Die räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks erfolgt im Bereich der Belebungsbecken.

Der Lagertank ist so auszulegen, dass die Fracht eines LKW-Lieferfahrzeuges vollständig und zeit-sparend aufgenommen werden kann. Entsprechend ist die Expansion der PAK bei Befüllung des Silos zu berücksichtigen. Die Befüllung des Silobehälters erfolgt pneumatisch über das Silofahr-zeug. 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 gravime-



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

trisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierger stäubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen in das Verteilerbauwerk der Belebungsbecken zugeführt.

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

Zum Rückhalt von PAK wird im Ablauf der Nachklärung eine Dyna-Sand Filtration vorgesehen, um aus der Nachklärung ggf. ausgetragene Pulveraktivkohle rückhalten zu können (Variante 1.1). Der Abwasserstrom wird mit einem Zwischenpumpwerk gehoben und über die Filtration geführt (Bild 30).

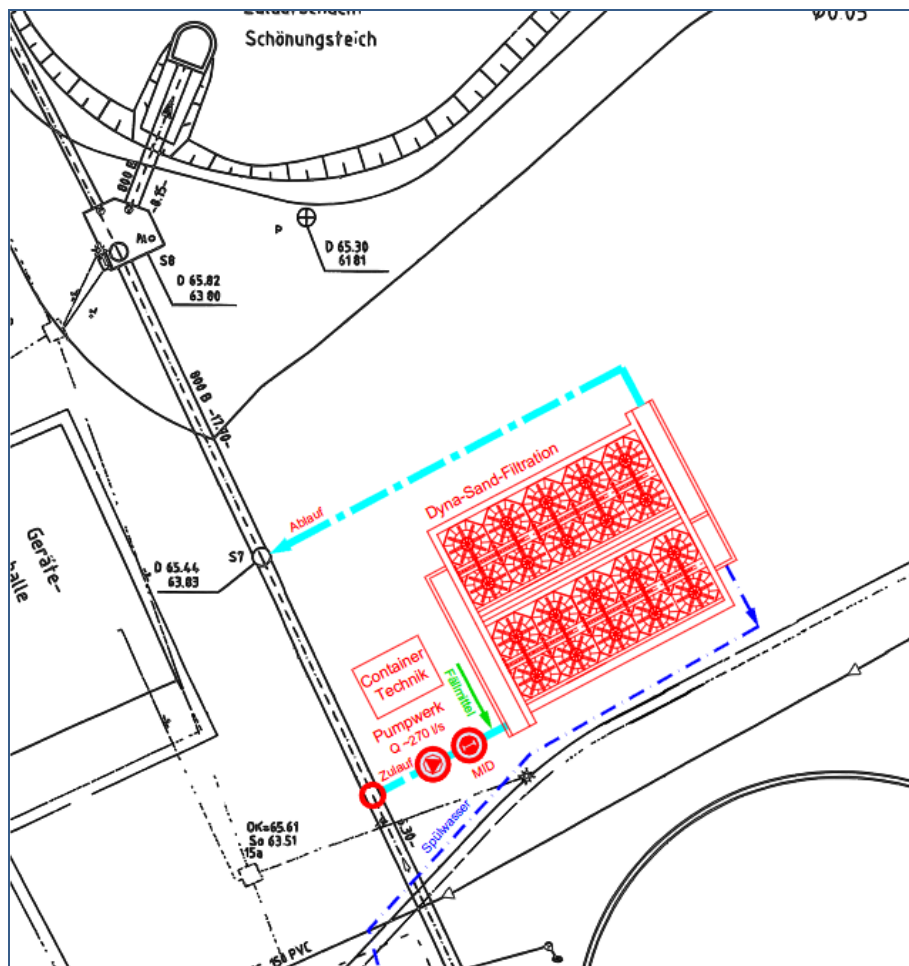


Bild 30: Lageplan KA Versmold - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebungsbecken, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.1)

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt entsprechend der Mischwassermenge (Auslegung Zulaufpumpwerk KA) $Q_m = 972 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

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

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

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabyrinthen
- Tragkonstruktion für innere Rohrleitungen und Sandwäscher
- Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. beispielhaft Bild 36)

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

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.1b)

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt für die Bemessungswassermenge (Leistung Zulaufpumpwerk) für Mischwasser $Q_m = 972 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Zuführung erfolgt von einem Schacht in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Polstoff-Scheibentuchfiltration wird in Betonbauweise errichtet.

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

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4404 ausgeführt.

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

Das Funktionsprinzip der Tuchfiltration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben.

Die Installation erfolgt in einem separat zu errichtenden Betonbecken (s Bild 31).

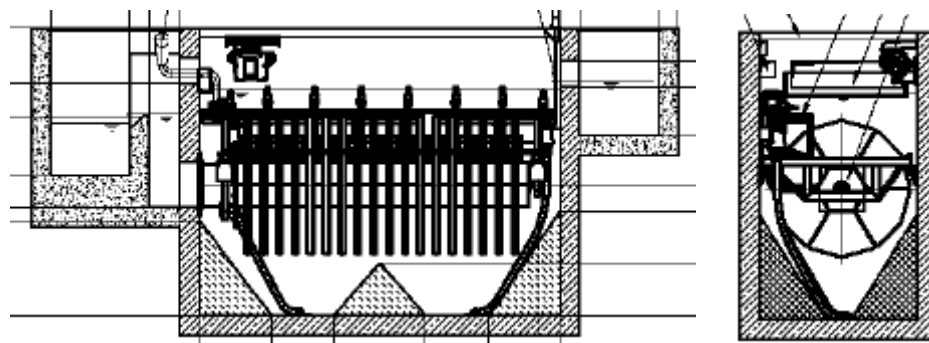


Bild 31: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)


 8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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	272 m ³ /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	972 m ³ /h
Auslegung spezifische Dosiertrate PAK	25 mg/l
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 5.059 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 60.710 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 in die Biologie 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.

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

- Keine selektive Spurenstoffentnahme im Ablauf, da Sekundärbelastungen abbaubarer Stoffe in der Belebung erfolgt. Dadurch hoher PAK Verbrauch
- Verfahren saisonal einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- 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 wählen
- Kein Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Zusätzliche Reduzierung der Phosphorablaufkonzentration und – fracht
- Mittlerer Anteil an Maschinentchnik sowie MSR-Technik (Variante 1.1, 1.1b), keine anspruchsvolle Wartung
- erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, eine Verbrennung erforderlich



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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. Beide Filter werden auf Vollstrombetrieb ausgelegt und sind durch eine Nachfällung zur Verminderung der P-Ablaufkonzentrationen einzusetzen.

Die adsorptive Reinigungsstufe wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 363 m³/h. Die Zuführung erfolgt von einem Umgehungsschacht 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)
- Fällmittel, Flockungshilfsmittel Lager- und Dosierstation

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 1.2 wird schematisch in Bild 32 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

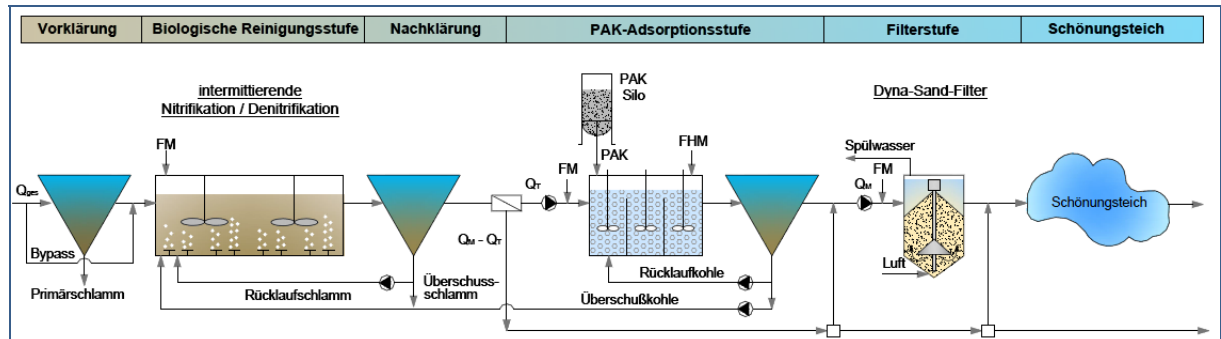


Bild 32: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

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 Schönungsteich zu oder optional einem nachgeschalteten Sandfilter.

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

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

Aufteilung in 3 Beckenabschnitte: - Dosierung Fällmittel, Dosierung frische PAK, Dosierung Flockungshilfsmittel. Frische 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.

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



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Adsorptionsstufe aus dem Ablauf der Nachklärung. Das Abwasser wird dem Pumpwerk aus einem Schachtbauwerk in der Ablaufleitung zugeführt.

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: MID im Zulauf zur Behandlungsstufe.

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen.

Die Adsorptionsstufe ist im Bereich zwischen Schönungsteich und Biologie anzuordnen (Bild 33).

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

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.2)

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

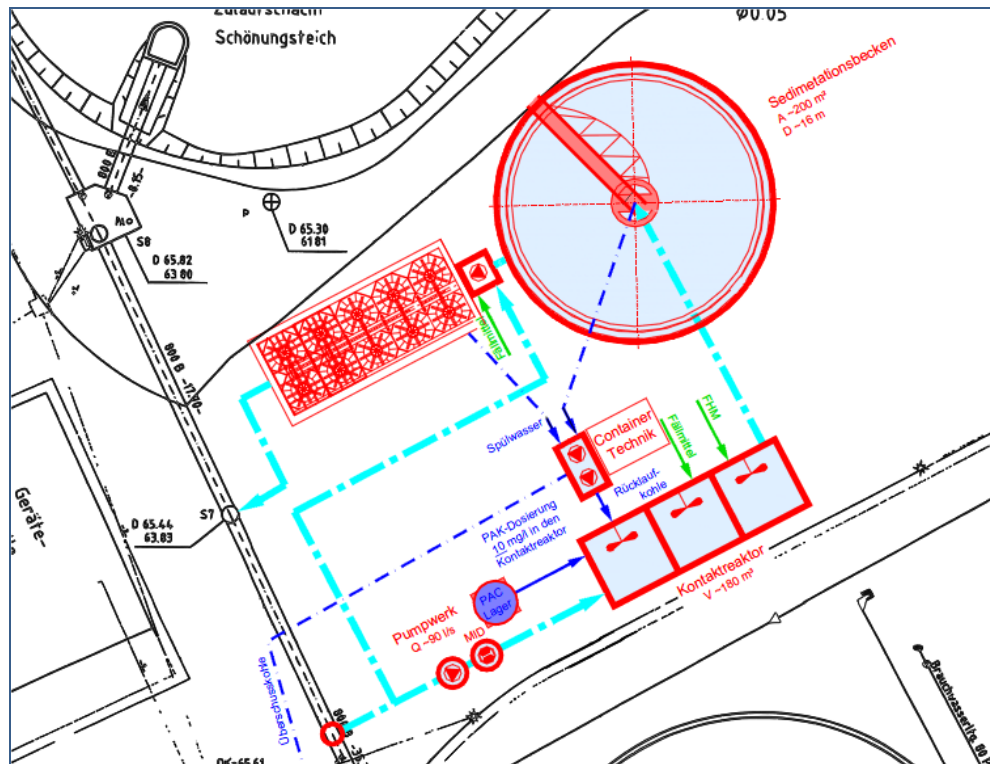


Bild 33: Lageplan KA Versmold - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

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

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

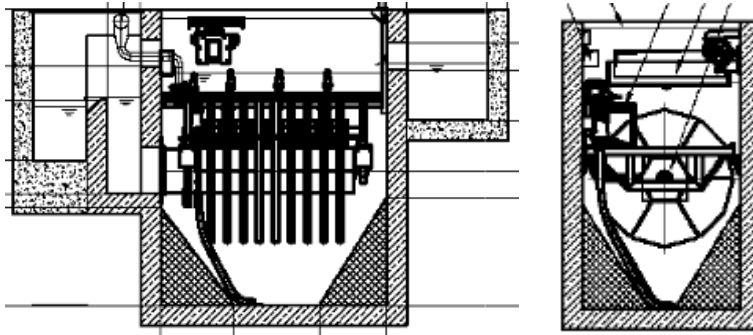


Bild 34: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung)
 (Quelle: Fa. Mecana)

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 $Q_{T,max}$ – Adsorptionsstufe	363 m ³ /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	972 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,22 Mio. m ³ /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	10 mg/l (5 – 15 mg/l)
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 2.024 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 24.284 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	206 m ³
Volumen Absetzbecken gewählt	749 m ³
Oberfläche Absetzbecken gewählt	214 m ²

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.4.3 Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

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

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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 mit 2 getrennten Filterstraßen ausgelegt (Teil-Außerbetriebnahme möglich). Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 363 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom neu zu errichtenden Umgehungsschacht in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.1 wird schematisch in Bild 35 gezeigt:

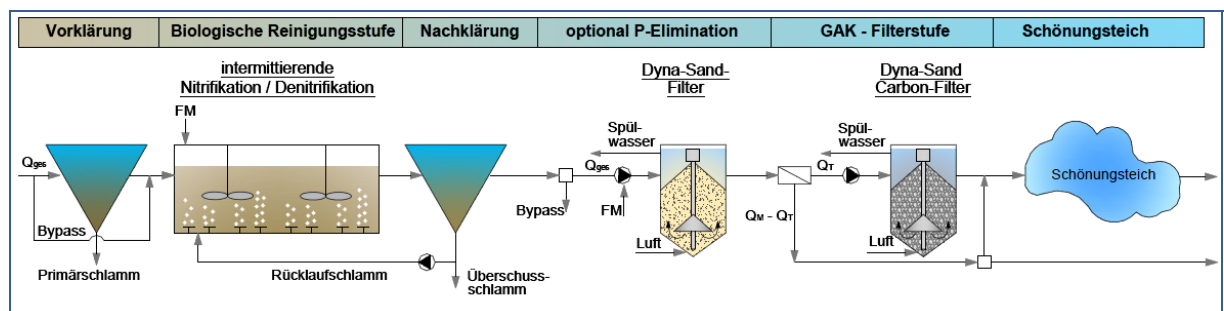


Bild 35: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1 (ohne vorgesch. DS-Filter)

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

Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 6000 D-B. Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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. 7 m.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

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

Die Installation erfolgt in separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 36).

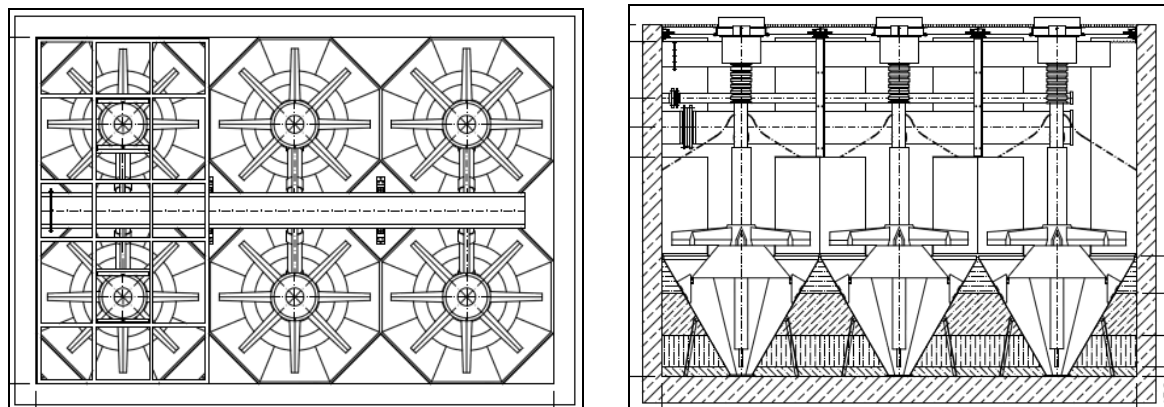


Bild 36: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster)
(Quelle: Fa. Nordic Water)

Weitere Bestandteile sind eine Druckluftsteuerung (Schaltschrank, Druckluftreduzierventil, Rotameter Luftmessung). Bühnenkonstruktion zur Begehung der Filtration einschließlich Abdeckung mit Gitterrostrahmen versehen mit Lichtgitterrosten aus GFK zum Lichtschutz (Algenbildung).

Waschwasserleitung, Anlagensteuerung, bestehend aus Druckmesssonde (Filterzulauf), Schaltschrank. Die Füllung erfolgt mit granulierter Aktivkohle.

Ein Beispiel für eine Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) zeigt Bild 37.

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold



Bild 37: Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)

Die Befüllung der Dyna-Sand Filtration erfolgt mit Sand.

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

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

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Filtration aus dem Ablauf der Nachklärung. Das Abwasser wird dem Pumpwerk aus einem Schacht in der Ablaufleitung zugeführt.

Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.

Die Druckluftversorgung erfolgt über eine separate Kompressorstation (s. beispielhaft Bild 38).

Die Unterbringung erfolgt jeweils in einem an die Filtration angelehnten separaten Bauteil (hier: Container).

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold



Bild 38: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)

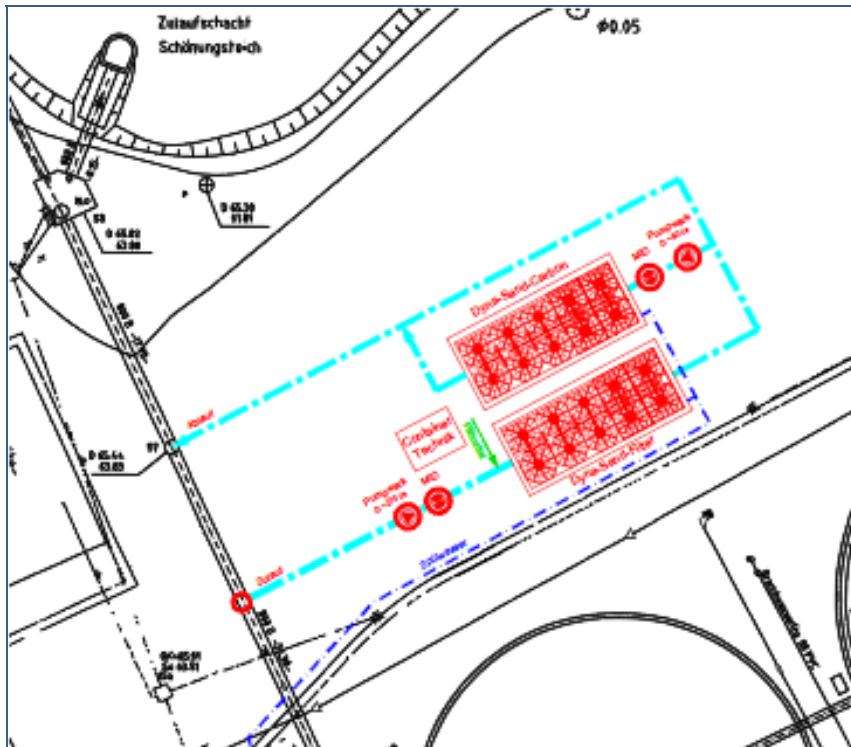


Bild 39: Lageplan KA Versmold - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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	
DS-C-Filtration: Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	363 m ³ /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	972 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,22 Mio. m ³ /a
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B (Dyna-Sand)	10 Stk.
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B (Dyna-Sand Carbon)	10 Stk.
Filterfläche je Einbauteil	6 m ²
Filterfläche gesamt	60 m ²
Oberflächenbelastung	6 m/h
Spülwassermenge	1 - 2 m ³ /h/Filter bzw. 15 m ³ /h
Druckluftbedarf	23 Nm ³ /h
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	7,8 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	78 t
Mittlere Aufenthaltszeit DS-C-Filtration	0,58 h
Volumen – Betonbauwerk (DS, DS-C-Filtration)	rd. 2 x 450 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

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

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

Die erforderliche Erweiterungsfläche ist zwischen Biologie und Schönungsteiches auf der der KA Versmold verfügbar.

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
- Zusätzliche Verminderung der Phosphatablaufkonzentration und –fracht der Kläranlage
- Mittlerer Anteil an Maschinenteknik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- Erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich

Betriebserfahrung mit entsprechenden Anlagen in Deutschland liegen derzeit für zwei Kläranlagen vor, u.a. auf der KA Rietberg. Bei Betrieb mit Aktivkohle auf Basis von Steinkohle zeigt sich, dass nur ein sehr geringer Abrieb der Kohle nach etwa einem Jahr Betriebszeit auftrat. 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 zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.6 Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

8.6.1 Verfahrensbeschreibung

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

Die Adsorberstufe wird 2-straßig ausgelegt. Filter werden einzeln rückgespült, so dass auch im Rückspülzeitraum eines Filters die Adsorptionsstufe voll verfügbar ist. Die Auslegungswassermenge ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 363 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom neu zu errichtenden Umgehungsschacht in der Ablaufleitung.

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

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Festbettadsorber
- Dyna-Sand-Filtration
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.2 wird schematisch in Bild 40 gezeigt:

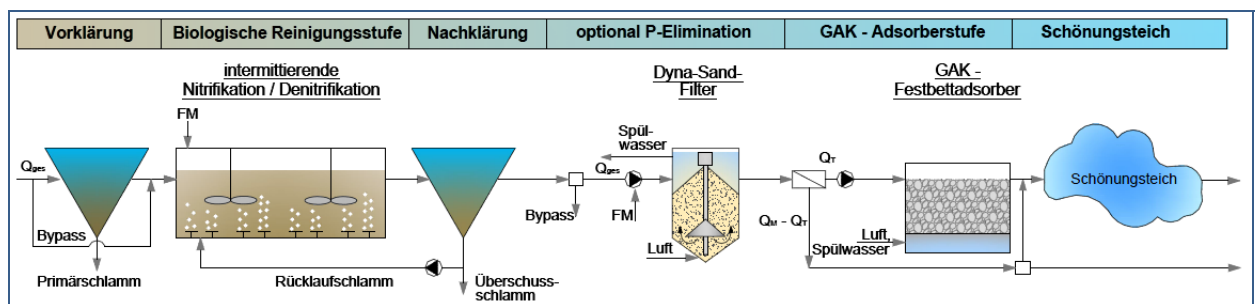


Bild 40: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

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

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass Brauchwasser zum Rückspülen der Filter verfügbar ist. Verwendet wird das Ablaufwasser, Entnahme im Bereich Schönungsteich.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Elektrotechnische Anbindung.

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

Auslegung Filterspülung

Filter werden rückspülbar ausgeführt. Zur Rückspülung wird das Ablaufwasser der Nachklärung genutzt und im Bereich Schönungsteich entnommen. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass eine Zwischenspeicherung nicht erforderlich ist.

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

Neubau zweier Pumpwerke zur Zuführung des Abwassers zu den Filtrationen und eines Pumpwerkes zur Rückspülung der Filter.

Zur Zugabe von Fällmitteln in die Dyna-Sand Filtration wird eine Dosierstation vorgesehen. Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.

Die Anordnung der Behandlungsstufe ist Bild 41 zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

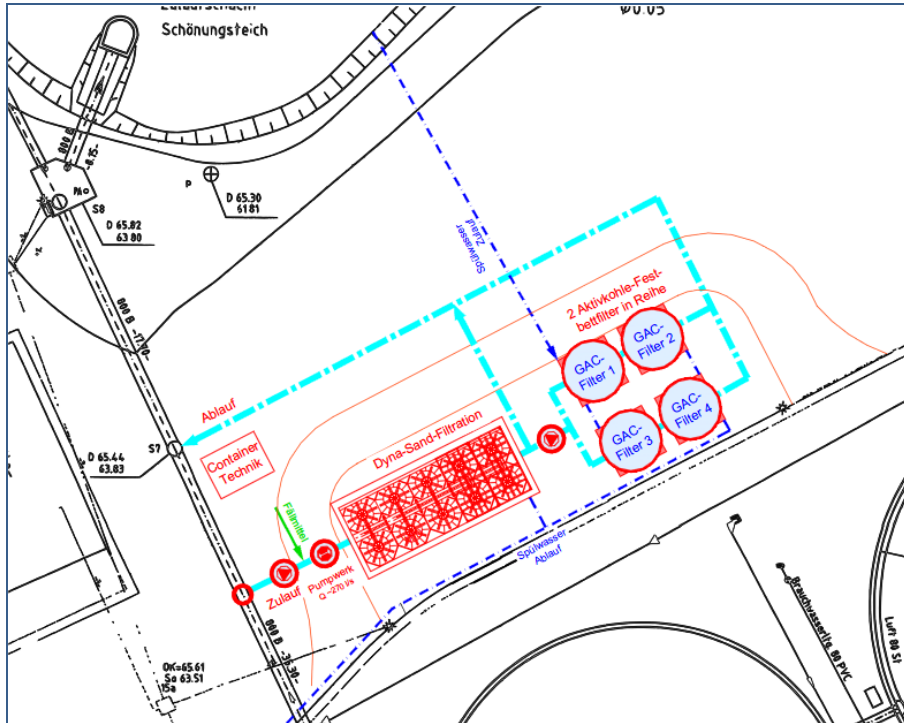


Bild 41: Lageplan KA Versmold - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe


 8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.6.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 13: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	363 m ³ /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	972 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,22 Mio. m ³ /a
Anzahl GAK Filter	4
Filterfläche gesamt	60 m ²
Oberflächenbelastung	10 m/h
Volumen gesamt Filterbett	240 m ³
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	29,4 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	117,6 t
Mittlere Aufenthaltszeit	0,66 h
Dyna-Sand Filter Typ: DS 6000 D-B	10 Stk.

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.6.3 Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)

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

Der Flächenbedarf ist relativ gering. Die Anlage ist im Bereich der Erweiterungsfläche zwischen Biologie und Schönungsteich zu errichten.

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

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- Geringer Energiebedarf
- Konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- Kein weiterer Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich. Optional ist der Bau eines Spülwasserspeichers vorzusehen
- Kaum erhöhte Schlammengen
- Reduzierung der Phosphorkonzentration und –fracht im Ablauf der Kläranlage
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Nachteilig ist das Fehlen eines vorgeschalteten Sandfilters, im Falle von Schlammabtrieb aus der Nachklärung
- Redundanz im Falle von Spülvorgängen durch Vorhalten eines weiteren Filters.

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.7 Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich, vorgeschalteter Tuchfilter

8.7.1 Verfahrensbeschreibung

In Variante 3.1 wird eine Spurenstoffelimination durch den Einsatz von Ozon in Verbindung mit einem nachgeschalteten Schönungsteich betrachtet. In der Ozonung wird der Ablauf der Nachklärung behandelt. Zusätzlich wird zum Schutz der Ozonstufe (Feststoffrückhalt) eine Filterstufe vorgeschaltet, die auch zur P-Nachfällung einzusetzen ist.

Die Ozonung wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 363 m³/h. Die Filtration wird auf den Vollstrombetrieb bemessen (972 m³/h).

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerke
- Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Ozondosierung
- Restozonvernichter (z.B. katalytisch)
- Scheibentuchfilter, Kontaktbecken Fällmitteldosierung
- Dosierstation Fällmittel

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.1 wird schematisch in Bild 42 gezeigt:

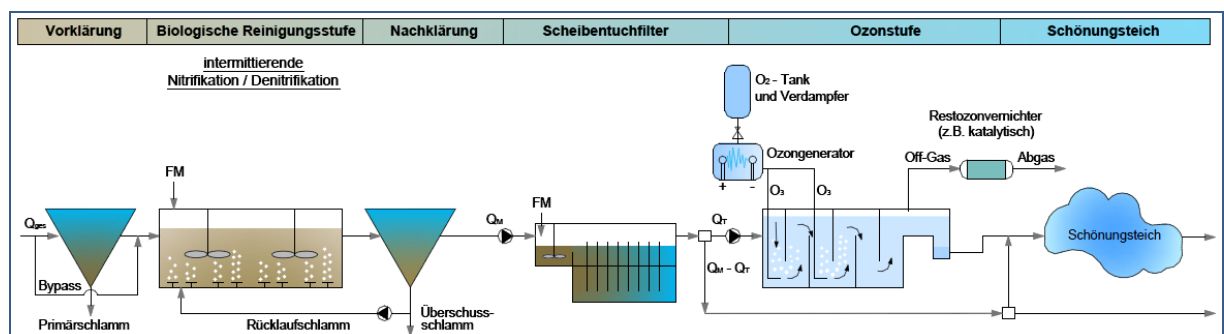


Bild 42: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Als Nachbehandlungsstufe hinter der Ozonung wird der vorhandene Schönungsteich vorgesehen. Es wird davon ausgegangen, dass damit ein hinreichender biologischer Abbau von Metaboliten bzw. Ozon-Krackprodukten gegeben ist. Alternativ wird in Variante 3.2 die Nachbehandlung in einer Dyna-Sand® Filtration berücksichtigt.

Die Ozon-Behandlungsstufe wird auf der Erweiterungsfläche zwischen Biologie und Schönungsteich angeordnet. Die Einbindung erfolgt an einen neu zu erstellenden Schacht in der Ablauffeitung der Nachklärung. Das Abwasser wird der Filterstufe und der Ozonstufe bis zur jeweiligen Bemessungswassermenge über Zulaufpumpwerke zugeführt. In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, ob ein Zulaufpumpwerk entfallen kann.

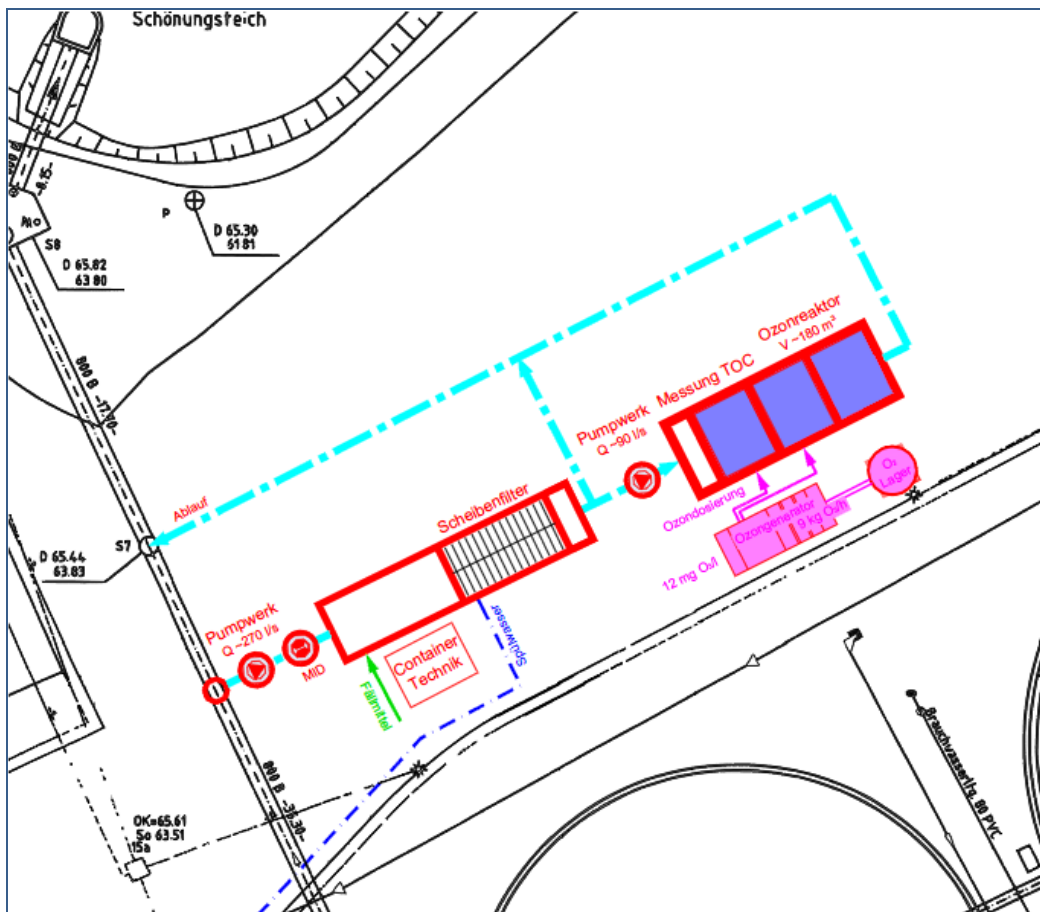


Bild 43: Lageplan KA Versmold - Variante 3.1 – Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Auslegung – Kontaktbecken:

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

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

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

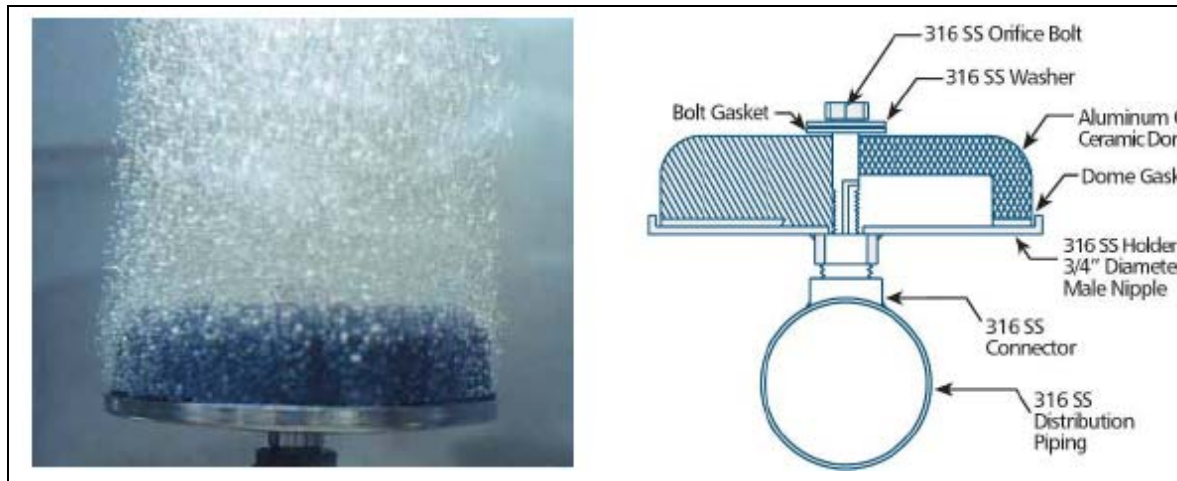


Bild 44: Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)

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

Auslegung - Ozonung:

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

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

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

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

Beispielhaft wird eine entsprechende Ozonung in Bild 45 gezeigt.

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

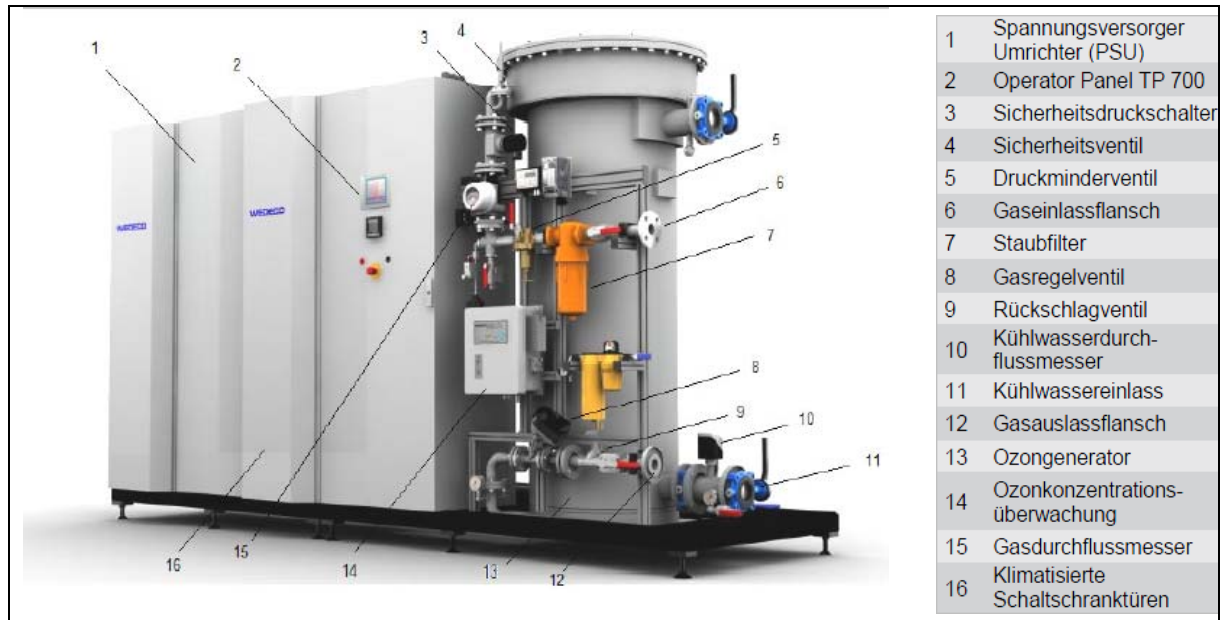


Bild 45: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

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

Ozonmessungen auf Basis einer UV-Absorptionsmessung erfolgen im Produktgas und im Abgasstrom.

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold



Bild 46: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)

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

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

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

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


 8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Die vorgeschaltete Tuchfiltration wird in Abschnitt 8.4.1 erläutert, das Funktionsprinzip der Tuchfiltration in Abschnitt 5.4.

Der Tuchfiltration wird ein Kontaktbecken zur Dosierung des Flockungsmittels vorgeschaltet. Der Ablauf der Ozonungsstufe wird dem Schönungsteich 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 Schönungsteich

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	363 m ³ /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	972 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,22 Mio. m ³ /a
Auslegung maximale Ozonmenge	0,75 mgO ₃ /mg TOC
Dosierung Ozon	2 – 12 mg/l
Sauerstoffbedarf	10 mgO ₂ /mgO ₃
Leistung Ozongenerator	4,4 kgO ₃ /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	120 m ³
Ausgasungsbereich gewählt	60 m ³
Volumen Ozonreaktor gesamt	180 m ³
Scheibentuchfilter, Typ SF 12/60-B-240-3-PMF-A4 (Mecana)	24 Filterscheiben

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

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8.7.3 Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Schönungsteich

Die Installation und Integration einer separaten Ozonung ist im Wesentlichen mit dem Bau eines Kontaktbeckens verbunden. Die Ozonung selbst wird bereits vorinstalliert geliefert und ist als Containeranlage aufzustellen und anzuschließen. Die Tuchfiltration wird in einem Betonbecken errichtet und erhält ein Mischbecken im Zulauf zur Einbringung von Flockungsmitteln.

Der Platzbedarf ist insgesamt gering. Die Anlage ist zwischen Biologie und Schönungsteich aufzustellen.

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

- Spurenstoffe werden nicht entfernt sondern lediglich zerstört, Transformationsprodukte sind weiterhin im Abwasser enthalten
- Öko- und humantoxikologische Auswirkungen von entstehenden Metaboliten und Transformationsprodukten sind nicht absolut auszuschließen
- Bestimmte Spurenstoffe sind zudem einer Zerstörung durch Ozon nicht oder kaum zugänglich, keine Eliminationsleistung für spezifische adsorbierbare Stoffe (z.B. PFT)
- 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, jedoch geringerer Umfang als z.B. für PAK Adsorptionsstufe
- Eine nachgeschaltete Reinigungsstufe ist mit dem vorhandenen Schönungsteiche bereits vorhandenen
- Reduzierung der Phosphorkonzentration und -fracht im Ablauf der Kläranlage durch Nachfällung
- Hoher Anteil an Maschinentechnik sowie MSR-Technik, anspruchsvolle Wartung
- Zusätzliche Entkeimung bzw. Hygienisierung des Kläranlagenablaufes
- Keine erhöhten Schlammengen bzw. anderer Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiterhin möglich
- Die Bromidkonzentration im Zulauf lag bei der Beprobung in einem für eine potentielle Bromatbildung unkritischen, nicht nachweisbaren Bereich (s. Analytik)

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

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.8 Variante 3.2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Die Variante ist im Wesentlichen identisch mit Variante 3.1. Als Filterstufe wird eine Sandfiltration zur weitergehenden Behandlung der Abwasserläufe der Ozonung und zur P-Nachfällung vorgesehen.

Die Bemessungswassermenge entspricht der Bemessungswassermenge der Ozonung:

max. $Q_T = 363 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Filterstufe wird für eine Vollstrombehandlung ausgelegt ($972 \text{ m}^3/\text{h}$).

Es wird davon ausgegangen, dass die Sandfiltration der Nachbehandlung im Schönungsteich überlegen ist. Nach Abegglen et al. (2009) werden durch biologische Aktivität im Filter mögliche negative Auswirkungen einer Ozonierung ausgeglichen. Die ökotoxikologische Auswirkung wird in der Folge als ähnlich zu Verfahren mit Aktivkohleadsorption angesehen.

Analog zur Variante 2.1 die den Betrieb einer Dyna-Sand Carbon Anlage beschreibt, ist die Konstruktion der klassischen Dyna-Sand Filtration. Neben dem anderen Filtermedium Sand sind betriebliche Aspekte zu unterscheiden.

Die verwendeten Bauteile sind grundsätzlich identisch.

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

Die Ozonstufe wird in Kapitel 3.1 beschrieben.

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.2 wird schematisch in Bild 47 gezeigt:

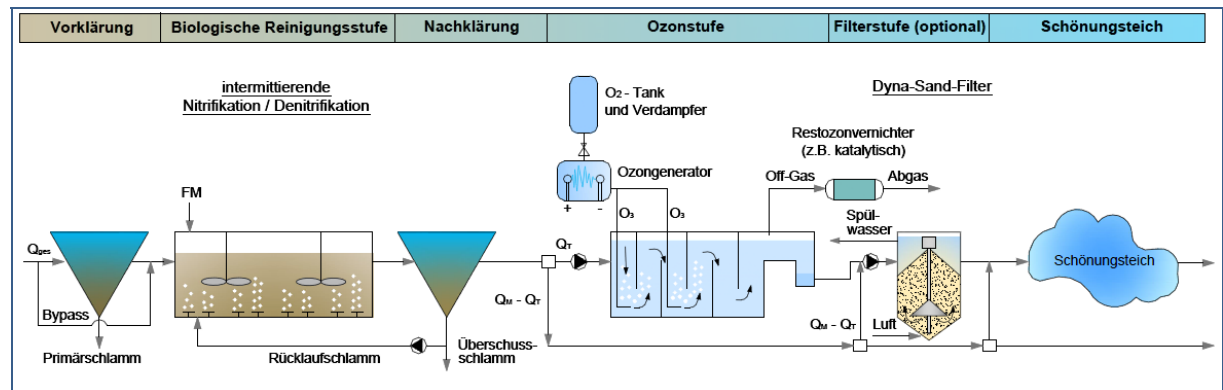


Bild 47: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2

8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

Vorgesehen sind 10 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 6000 E.
Beschreibung der Filtration analog – Variante 2.1.

Zur Beschickung ist ein weiteres Zulaufpumpwerk vorzusehen.

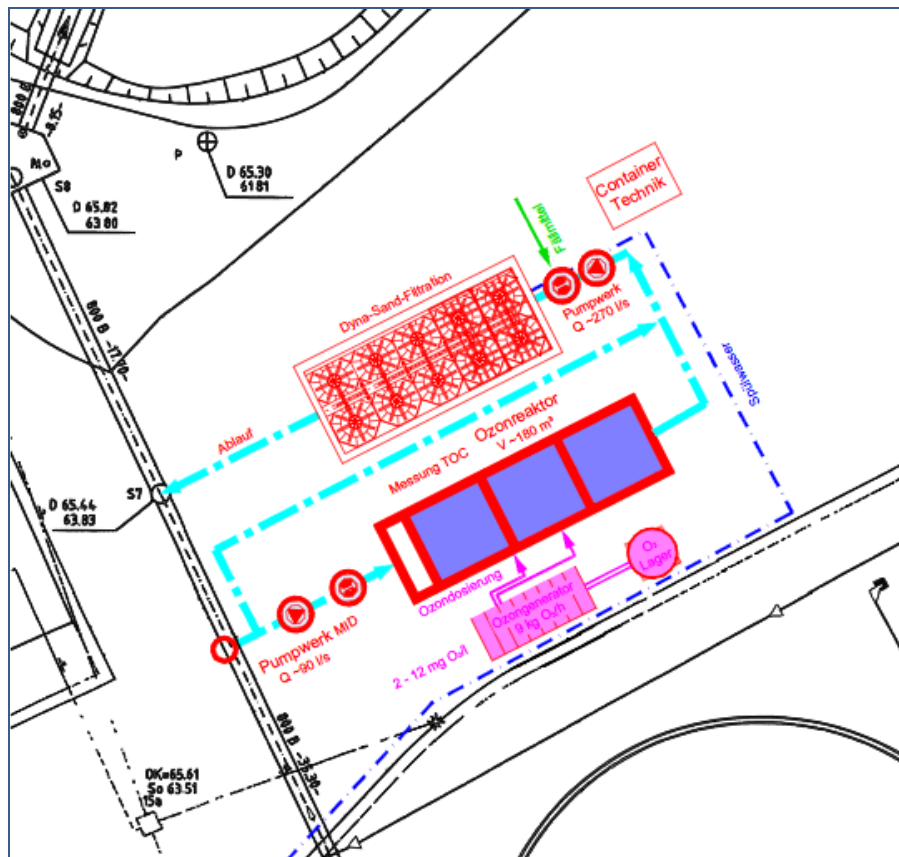


Bild 48: Lageplan KA Versmold - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration


 8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.8.1 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 15 die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 15: Auslegung Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	363 m ³ /h,
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	973 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	2,22 Mio. m ³ /a
Auslegung maximale Ozonmenge	0,75 mgO ₃ /mg TOC
Dosierung Ozon	2 – 12 mg/l
Sauerstoffbedarf	10 mgO ₂ /mgO ₃
Leistung Ozongenerator	4,4 kgO ₃ /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	120 m ³
Ausgasungsbereich gewählt	60 m ³
Volumen Ozonreaktor gesamt	180 m ³
Filtereinbauteile Typ DS 6000 E	10
Filterfläche je Einbauteil	6 m ²
Filterfläche gesamt	60 m ²
Oberflächenbelastung	16 m/h
Spülwassermenge	18 m ³ /h
Druckluftbedarf	17,3 Nm ³ /h
Filtersand (Körnung: 1 – 2 mm)	16 t/Filter
Gesamtmenge Filtersand	160 t
Volumen – Betonbauwerk DS-Filtration	rd. 450 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



8. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Versmold

8.8.2 Diskussion Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration

Die Bewertung der Variante 3.2 entspricht Variante 3.1, einer Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich.

Der Betrieb einer weiteren Reinigungsstufe ist mit zusätzlichem Personal- und Betriebs-Aufwand verbunden (s. Variante 2.1).

Neben den Baukosten entstehen höher Betriebskosten, u.a. durch eine weitere Hebung des Abwasserstroms, Wartung und Instandhaltung. Dem gegenüber steht ein zusätzlicher Abbau oxidierter Reststoffen aus der Ozonstufe.

Eine Aufstellung der Investitionskosten sowie der Betriebskosten ist Abschnitt 9 sowie 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 16 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 16: Zusammenstellung Investitionskosten

	Variante 1 - PAK			
	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.
Baukosten	813.645 €	589.035 €	1.403.573 €	1.223.545 €
Maschinentechnik Kosten	943.500 €	921.250 €	952.575 €	1.110.900 €
EMSR-Technik Kosten	75.000 €	75.000 €	136.000 €	136.000 €
Summe Investkosten (netto)	1.832.145 €	1.585.285 €	2.492.148 €	2.470.445 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	366.429 €	317.057 €	498.430 €	494.089 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	2.198.574 €	1.902.342 €	2.990.578 €	2.964.534 €
Mehrwertsteuer 19%	417.729 €	361.445 €	568.210 €	563.261 €
Summe Investkosten (brutto)	2.616.303 €	2.263.787 €	3.558.787 €	3.527.795 €
Prozente	116%	100%	157%	156%



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten	1.062.243 €	914.208 €	815.608 €	941.333 €
Maschinentechnik Kosten	721.350 €	1.033.725 €	1.086.750 €	910.350 €
EMSR-Technik Kosten	127.000 €	127.000 €	112.000 €	117.000 €
Summe Investkosten (netto)	1.910.593 €	2.074.933 €	2.014.358 €	1.968.683 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	382.119 €	414.987 €	402.872 €	393.737 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	2.292.712 €	2.489.920 €	2.417.230 €	2.362.420 €
Mehrwertsteuer 19%	435.615 €	473.085 €	459.274 €	448.860 €
Summe Investkosten (brutto)	2.728.327 €	2.963.004 €	2.876.503 €	2.811.279 €
Prozente	121%	131%	127%	124%

Die Variante 1.1b weist mit rd. 2.26 Mio. Euro brutto die niedrigsten Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 16 % ist die Variante 1.1 mit PAK Dosierung und Dyna-Sand Filtration teurer als mit Tuchfiltration im Ablauf. Die mit GAK DS-C-Filtration weist Mehrkosten von rd. 21% auf. Varianten mit Ozonung 3.2 und 3.1 zeigen 24 % und 27 % höhere Investitionskosten. Am teuersten sind die Varianten 1.2 bzw. 1.2b mit adsorptiver Reinigungsstufe mit 57 % bzw. 56 % höheren Kosten.

Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 2,26 Mio. Euro und 3,56 Mio. Euro brutto relativ hoch.

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

Bild 49 zeigt die ermittelten Investitionskosten (netto) und die jeweiligen Bau-, Maschinentechnik- und EMSR-Technik-Kosten.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

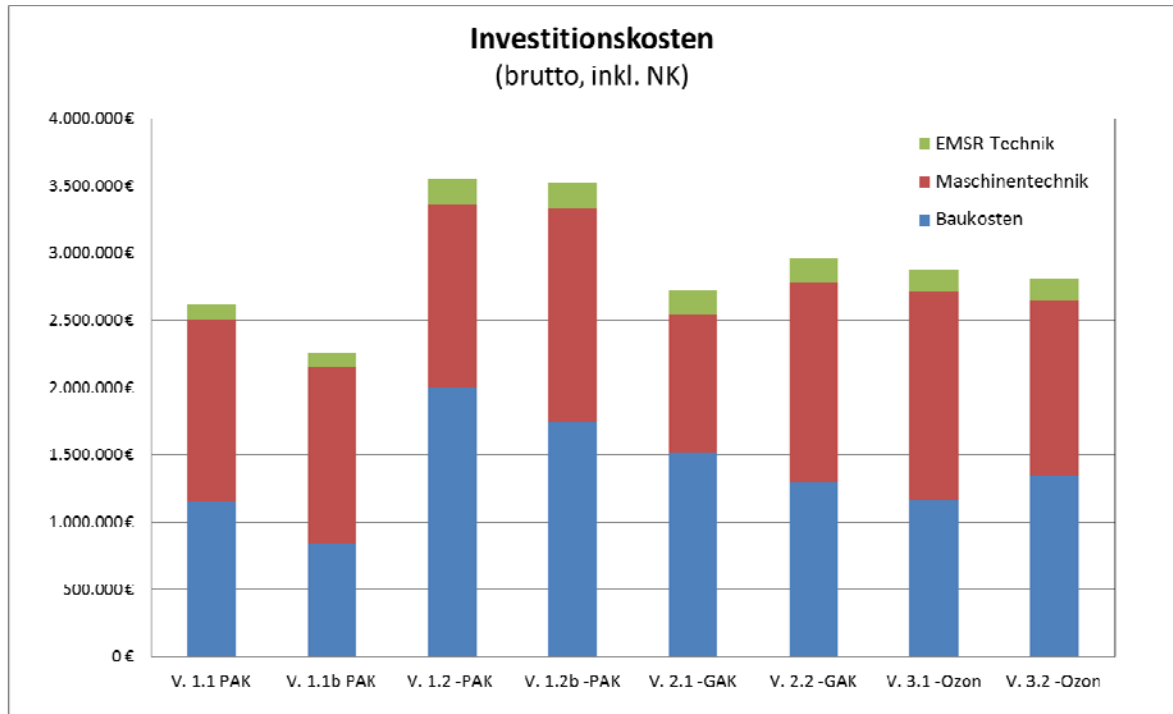


Bild 49: Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)

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:	0,18 €/kWh (Ansatz Kosten für Strombezug 2013)
Pulveraktivkohle (PAK):	1,50 €/kg
Granulierte Aktivkohle (GAK):	1,30 €/kg; Kostenansatz regenerierte GAK: 1,00 €/kg
Fällmittel:	0,13 €/kg
Flockungshilfsmittel:	2,50 €/kg
Personal:	45.000,- €/a
Sauerstoff:	0,20 €/kg O ₂

Die spezifischen Kosten für Sauerstoff beinhalten auch die Tankmiete.

Schlamm Entsorgung als Differenz landwirtschaftliche Schlammverwertung / Verbrennung: 45,- €/t_{FS} (entwässertes Schlamm) (Annahme).

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

Die Angaben der Literatur zu den Kosten für die landwirtschaftliche Klärschlamm Entsorgung entsprechen etwa den tatsächlichen derzeitigen Kosten von rd. 36,- bis 40,- €/t TS_{FS}.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Ein besonderer Aspekt im Zusammenhang mit der Klärschlamm Entsorgung stellt die 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. Auch unter diesem Aspekt wird die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zunehmend problematisch.

Die Kosten für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung sowie die Klärschlammverbrennung unterliegt derzeit starken Marktbewegungen, die für die nähere Zukunft aufgrund der aktuellen Gesetzgebung zur Klärschlamm Entsorgung und der begrenzten Entsorgungskapazitäten deutlich höhere Entsorgungskosten erwarten lassen.

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

Zu entsorgende Klärschlammmenge nach Entwässerung: 2.415 t/a (Mittelwert Klärschlammmenge 2013, 2014).

Der Betrieb einer weiteren Behandlungsstufe wird zu einem erhöhten Personaleinsatz führen.

Der Energieverbrauch ergibt sich aus dem Stromverbrauch für Pumpen, Ozonerzeugung, Rührwerken, Räumbrücken etc..

Bei Varianten mit GAK Filtration (Varianten 2.1, 2.2) wurde zunächst eine Standzeit der Filtration von rd. 0,7 Jahre, entsprechend rd. 8 Monate angesetzt bzw. von 1,1 Jahre. Es sind für Variante 2.1 also 1,4 und für Variante 2.2 0,92 Befüllungen mit Aktivkohle pro Jahr erforderlich. Dies entspricht für beide Varianten rd. 10.000 durchgesetzten Bettvolumina (BV). Auswirkungen abweichender Standzeiten auf die Betriebskosten werden in Abschnitt 9.4 untersucht.

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

Es ergeben sich die in Tabelle 17 aufgeführten Betriebskosten der einzelnen Varianten zur Spurenstoffelimination.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 17: Zusammenstellung Betriebskosten

	Variante 1 - PAK			
	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.
Wartung u. Instandhaltung	37.941 €	35.028 €	45.333 €	48.282 €
Verbrauchsstoffe	88.653 €	99.766 €	38.853 €	43.081 €
Energiebedarf	17.607 €	17.388 €	35.137 €	32.849 €
Schlamm Entsorgung	111.215 €	111.215 €	111.726 €	111.726 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	266.666 €	273.241 €	242.299 €	247.188 €
Mehrwertsteuer 19%	50.667 €	51.916 €	46.037 €	46.966 €
Summe Betriebskosten (brutto)	317.333 €	325.157 €	288.336 €	294.154 €
Prozente	146%	150%	133%	136%

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schönungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	34.803 €	42.694 €	42.999 €	39.064 €
Verbrauchsstoffe	143.028 €	152.195 €	59.806 €	55.551 €
Energiebedarf	32.705 €	31.149 €	71.014 €	76.409 €
Schlamm Entsorgung	0 €	0 €	0 €	0 €
Personalkosten	8.438 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
Mehrwertsteuer 19%	41.605 €	44.818 €	35.163 €	34.632 €
Summe Betriebskosten (brutto)	260.579 €	280.700 €	220.232 €	216.906 €
Prozente	120%	129%	102%	100%

Die Betriebskosten variieren von rd. 217.000 €/a der Varianten 3.2 bis rd. 325.000,-- € brutto bei Variante 1.1b. Die kostengünstigsten Varianten mit Ozonung liegen mit einem Abstand von rd. 20 % zu Variante 2.1 mit GAK Filtration und rd. 33% zu Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe.



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 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 sensiblen Kosten auf die Wirtschaftlichkeit wird in Abschnitt 9.4 Sensitivitätsanalyse untersucht.

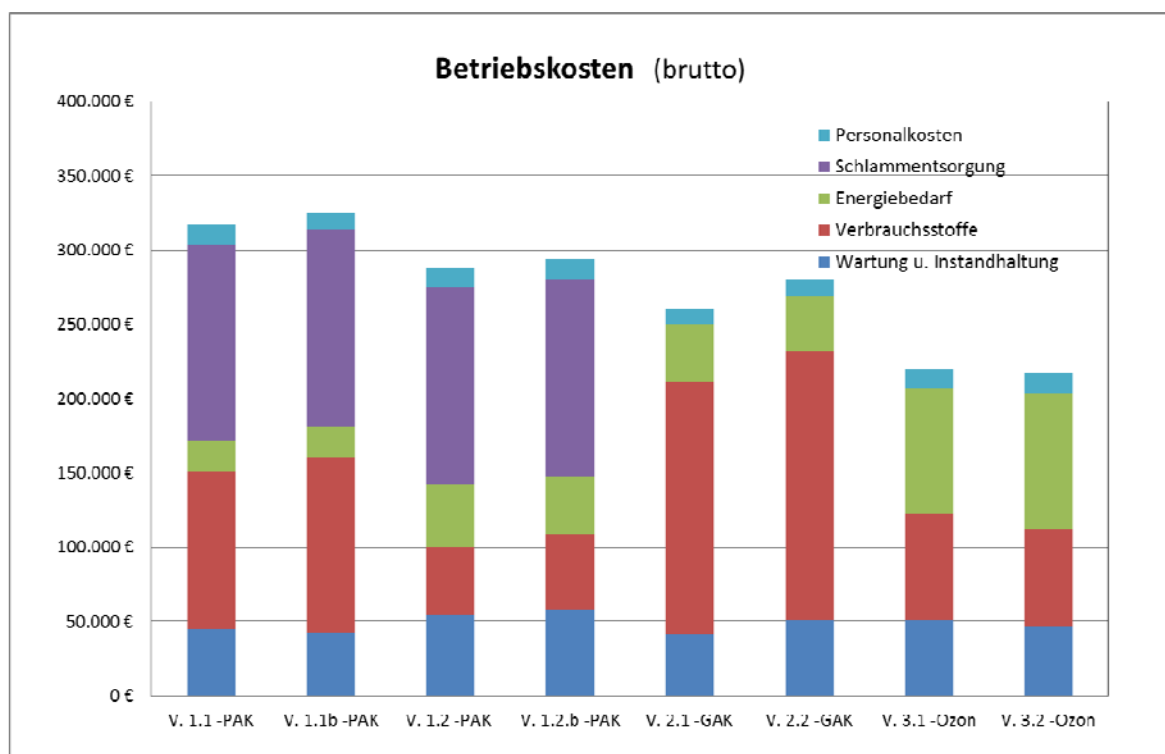


Bild 50: Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

Wie oben angeführt, 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 18 angegebenen Betriebskosten.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 18: Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlammensorgungskosten

	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.
Wartung u. Instandhaltung	37.941 €	35.028 €	45.333 €	48.282 €
Verbrauchsstoffe	88.653 €	99.766 €	38.853 €	43.081 €
Energiebedarf	17.607 €	17.388 €	35.137 €	32.849 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	155.451 €	162.026 €	130.573 €	135.462 €
Mehrwertsteuer 19%	29.536 €	30.785 €	24.809 €	25.738 €
Summe Betriebskosten (brutto)	184.987 €	192.811 €	155.382 €	161.200 €
Prozente	119%	124%	100%	104%
	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö-nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	34.803 €	42.694 €	42.999 €	39.064 €
Verbrauchsstoffe	143.028 €	152.195 €	59.806 €	55.551 €
Energiebedarf	32.705 €	31.149 €	71.014 €	76.409 €
Personalkosten	8.438 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
Mehrwertsteuer 19%	41.605 €	44.818 €	35.163 €	34.632 €
Summe Betriebskosten (brutto)	260.579 €	280.700 €	220.232 €	216.906 €
Prozente	168%	181%	142%	140%

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

Der hohe Kostenanteil der Verbrauchsmaterialien (GAK) an den Betriebskosten der Varianten 2.1 und 2.2 wird in Bild 51 deutlich. Die Schwankungen des Einkaufspreises für GAK auf die

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Jahreskosten der Varianten wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersucht (Abschnitt 9.3).

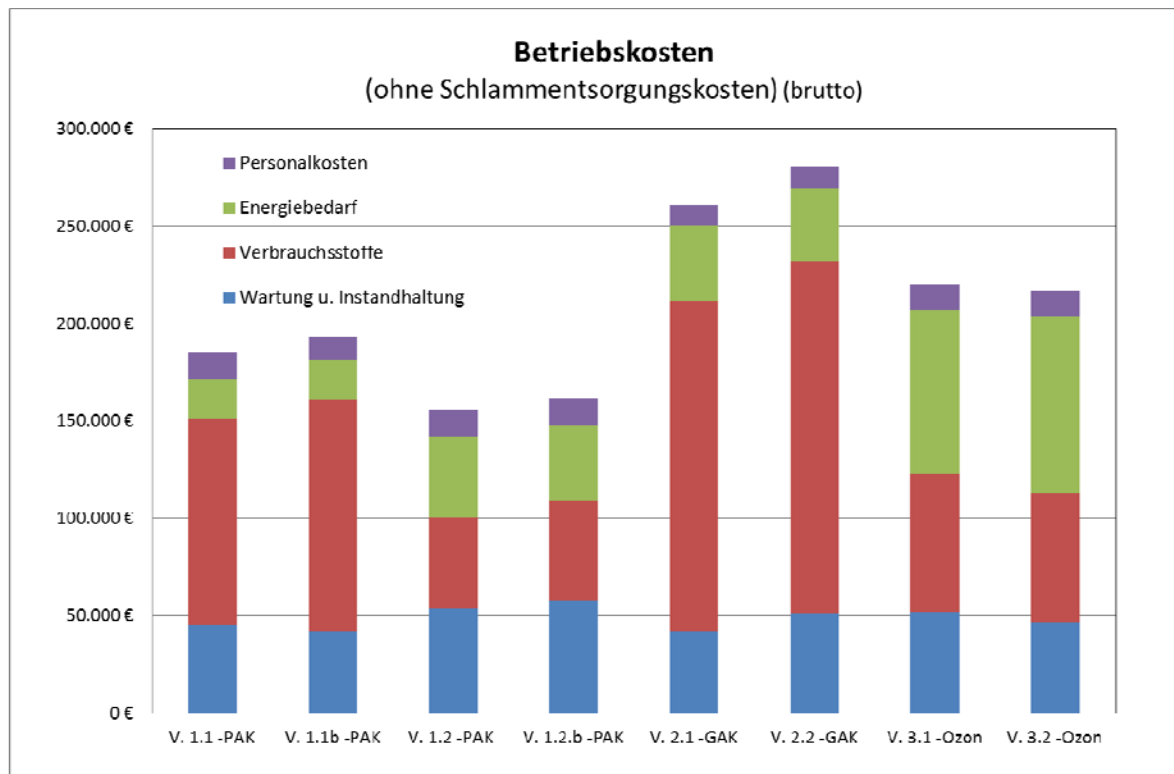


Bild 51: Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammensorgungskosten (brutto)

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

Die Tabelle 19 faßt die Ergebnisse der Jahreskostenermittlung und die daraus abgeleiteten spezifischen Kosten zusammen.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 19: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)

	Variante 1 - PAK			
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	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.
Baukosten (gesamt)	813.645 €	589.035 €	1.403.573 €	1.223.545 €
Baukosten (ohne GAK Erstbef.)	813.645 €	589.035 €	1.403.573 €	1.223.545 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Jahreskosten Bau	41.512 €	30.053 €	71.610 €	62.425 €
Maschinentechnik Kosten	943.500 €	921.250 €	952.575 €	1.110.900 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR _{3,15}	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
Jahreskosten MT	79.037 €	77.173 €	79.797 €	93.060 €
EMSR-Technik Kosten	75.000 €	75.000 €	136.000 €	136.000 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR _{3,10}	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
Jahreskosten EMSR	8.792 €	8.792 €	15.943 €	15.943 €
Jahreskosten Invest (netto)	129.341 €	116.018 €	167.351 €	171.429 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	25.868 €	23.204 €	33.470 €	34.286 €
Jahreskosten Invest,NK (netto)	155.210 €	139.222 €	200.821 €	205.714 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	266.666 €	273.241 €	242.299 €	247.188 €
Jahreskosten Gesamt(netto)	421.876 €	412.463 €	443.120 €	452.902 €
Mehrwertsteuer 19%	80.156 €	78.368 €	84.193 €	86.051 €
Jahreskosten Gesamt(brutto)	502.032 €	490.830 €	527.313 €	538.954 €
Prozente	121%	119%	127%	130%

ohne Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.1b	Variante 1.2	Variante 1.2.b
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	9,03 €/EW/a	8,82 €/EW/a	9,48 €/EW/a	9,69 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m ³ /a	0,19 €/m ³	0,18 €/m ³	0,20 €/m ³	0,20 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m ³ /a	0,35 €/m ³	0,34 €/m ³	0,36 €/m ³	0,37 €/m ³



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 2.1 - GAG in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAG in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schönungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten (gesamt)	1.062.243 €	914.208 €	815.608 €	941.333 €
Baukosten (ohne GAK Erstbef.)	960.843 €	762.108 €	815.608 €	941.333 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Jahreskosten Bau	49.022 €	38.883 €	41.612 €	48.027 €
Maschinentechnik Kosten	721.350 €	1.033.725 €	1.086.750 €	910.350 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR _{3,15}	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
Jahreskosten MT	60.427 €	86.595 €	91.037 €	76.260 €
EMSR-Technik Kosten	127.000 €	127.000 €	112.000 €	117.000 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR _{3,10}	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
Jahreskosten EMSR	14.888 €	14.888 €	13.130 €	13.716 €
Jahreskosten Invest (netto)	124.338 €	140.366 €	145.779 €	138.003 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	24.868 €	28.073 €	29.156 €	27.601 €
Jahreskosten Invest,NK (netto)	149.205 €	168.439 €	174.935 €	165.603 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
Jahreskosten Gesamt(netto)	368.179 €	404.321 €	360.004 €	347.877 €
Mehrwertsteuer 19%	69.954 €	76.821 €	68.401 €	66.097 €
Jahreskosten Gesamt(brutto)	438.134 €	481.142 €	428.405 €	413.974 €
Prozente	106%	116%	103%	100%

ohne Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	7,88 €/EW/a	8,65 €/EW/a	7,70 €/EW/a	7,44 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m³/a	0,16 €/m³	0,18 €/m³	0,16 €/m³	0,16 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m³/a	0,30 €/m³	0,33 €/m³	0,30 €/m³	0,29 €/m³

Die ermittelten Jahreskosten variieren zwischen brutto rd. 413.000,-- € der Variante 3.2 mit Ozonierung und Nachbehandlung in einem Dyna-Sand Filter und rd. 539.000,-- € für Variante 1.2b mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe.

Der Unterschied der Jahreskosten der untersuchten Varianten beträgt maximal 30 %.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

Die spezifischen Kosten pro angeschlossenen Einwohner bei Annahme von 55.625 EW betragen minimal 7,44 €/EW/a (Variante 3.2) und maximal 9,69 €/EW/a (Variante 1.2b). Es ergibt sich für die behandelte Wassermenge (Trockenwetter) ein spezifischer Preis von brutto 0,16 €/m³ (Variante 3.2) und maximal 0,20 €/m³ (Variante 1.2b).

Die Kosten pro m³ Frischwasser betragen für die günstigste Variante 3.2 0,29 €/m³ bei Vernachlässigung einer möglichen Förderung der Maßnahme.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten der untersuchten Varianten zeigt Bild 52.

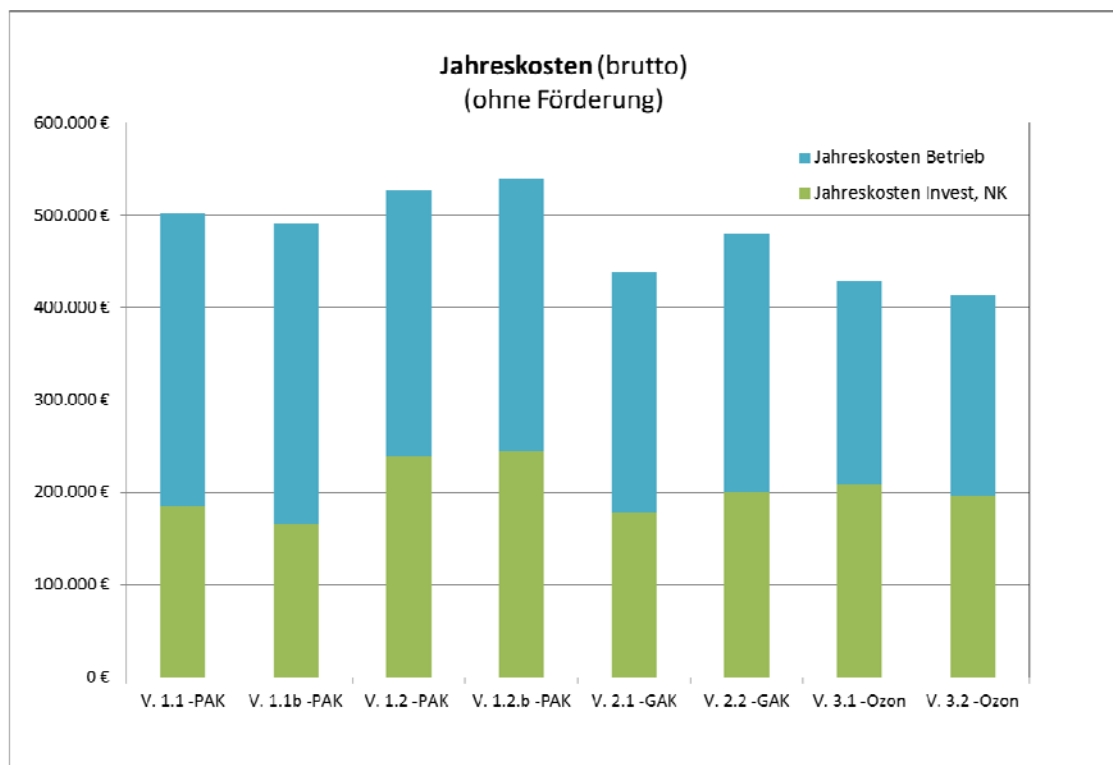


Bild 52: Jahreskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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 potentiell wirtschaftlich günstiger, sofern man die Fördersumme nicht in die Betrachtung einbezieht.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 20 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70%.

Tabelle 20: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe - ST Filtr.
Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)	2.198.574 €	1.902.342 €	2.990.578 €	2.964.534 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	1.539.002 €	1.331.639 €	2.093.404 €	2.075.174 €
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)	78.520 €	67.940 €	106.805 €	105.875 €
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	76.690 €	71.281 €	94.015 €	99.839 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	266.666 €	273.241 €	242.299 €	247.188 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	343.356 €	344.522 €	336.314 €	347.027 €
Mehrwertsteuer 19%	65.238 €	65.459 €	63.900 €	65.935 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	408.593 €	409.982 €	400.214 €	412.962 €
Prozente	130%	131%	128%	132%

mit Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.1b	Variante 1.2	Variante 1.2.b
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	7,35 €/EW/a	7,37 €/EW/a	7,19 €/EW/a	7,42 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m³/a	0,18 €/m³	0,18 €/m³	0,18 €/m³	0,18 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m³/a	0,28 €/m³	0,28 €/m³	0,28 €/m³	0,28 €/m³



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö- nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna- Sand Filtration
Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)	2.292.712 €	2.489.920 €	2.417.230 €	2.362.420 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	1.604.898 €	1.742.944 €	1.692.061 €	1.653.694 €
KFAKR ^{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)	81.882 €	88.925 €	86.329 €	84.371 €
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	67.324 €	79.514 €	88.606 €	81.232 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	286.298 €	315.396 €	273.675 €	263.506 €
Mehrwertsteuer 19%	54.397 €	59.925 €	51.998 €	50.066 €
Jahreskosten Gesamt (brutto)	340.694 €	375.322 €	325.673 €	313.572 €
Prozente	109%	120%	104%	100%

mit Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	6,12 €/EW/a	6,75 €/EW/a	5,85 €/EW/a	5,64 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m ³ /a	0,15 €/m ³	0,17 €/m ³	0,15 €/m ³	0,14 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m ³ /a	0,23 €/m ³	0,26 €/m ³	0,22 €/m ³	0,22 €/m ³

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung ebenfalls die Varianten 3.1 und 3.2 mit einer Ozonierung die günstigsten Jahreskosten aufweisen. Die Jahreskosten der übrigen Varianten zeigen Mehrkosten von 9 % - 32 %.

Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,14 €/m³ behandeltes Schmutzwasser gegenüber 0,16 €/m³ ohne Förderung (Variante 3.2). Die spezifischen Kosten pro m³ Frischwasser betragen 0,22 €/m³ für Variante 3.2.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

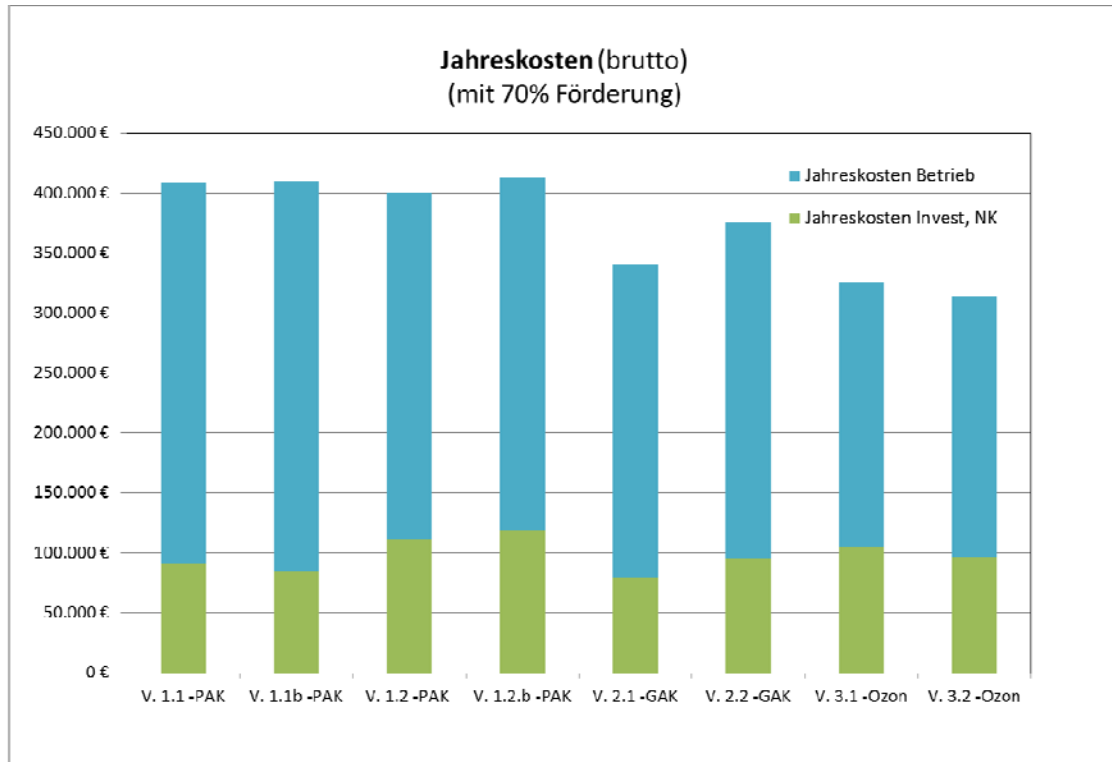


Bild 53: Jahreskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)

Will man berücksichtigen, dass ab 2025 voraussichtlich die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab Größenklasse 4 entfällt oder dass ein dauerhafter Umstieg von der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung zu einer thermischen Klärschlammverwertung vorgesehen werden soll, sind die Schlamm Entsorgungskosten aus der Kostenvergleichsrechnung heraus zu nehmen.

Tabelle 21 zeigt die Jahreskosten ohne Schlamm Entsorgungsmehrkosten einschließlich einer möglichen Förderung der Investitionskosten von 70%.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 21: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%) und ohne Schlammensorgungsmehrkosten

	Variante 1 - PAK			
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	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.
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	76.690 €	71.281 €	94.015 €	99.839 €
Jahreskosten Betrieb ohne Schlammensorgung (netto)	155.451 €	162.026 €	130.573 €	135.462 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	232.141 €	233.307 €	224.588 €	235.301 €
Mehrwertsteuer 19%	44.107 €	44.328 €	42.672 €	44.707 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	276.248 €	277.636 €	267.260 €	280.008 €
Prozente	103%	104%	100%	105%

mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.1b	Variante 1.2	Variante 1.2.b
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	4,97 €/EW/a	4,99 €/EW/a	4,80 €/EW/a	5,03 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m ³ /a	0,12 €/m ³	0,12 €/m ³	0,12 €/m ³	0,13 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m ³ /a	0,19 €/m ³	0,19 €/m ³	0,18 €/m ³	0,19 €/m ³

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö- nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna- Sand Filtration
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	67.324 €	79.514 €	88.606 €	81.232 €
Jahreskosten Betrieb ohne Schlammensorgung (netto)	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	286.298 €	315.396 €	273.675 €	263.506 €
Mehrwertsteuer 19%	54.397 €	59.925 €	51.998 €	50.066 €
Jahreskosten Gesamt (brutto)	340.694 €	375.322 €	325.673 €	313.572 €
Prozente	127%	140%	122%	117%

mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 55.625 EW	6,12 €/EW/a	6,75 €/EW/a	5,85 €/EW/a	5,64 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 2.239.696 m ³ /a	0,15 €/m ³	0,17 €/m ³	0,15 €/m ³	0,14 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 1.449.808 m ³ /a	0,23 €/m ³	0,26 €/m ³	0,22 €/m ³	0,22 €/m ³



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammensorgungsmehrkosten die Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe mit rd. 267.000,- €/a die günstigste Varianten ist.

Die mit Berücksichtigung der Schlammensorgung günstigste Variante 3.2 weist rd. 17% höhere Jahreskosten auf.

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 Schlammensorgung (thermisch)

sowie als betrieblicher Parameter:

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

Die untersuchten Variationen der wirtschaftlichen Parameter zeigt Tabelle 22.

Tabelle 22: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter

Parameter	Kostenbasis	Variation - Mindestwert	Variation - Maximalwert
Energiekosten	0,18 €/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. Schlammensorgung	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)	25 mg/l	20 mg/l	35 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 23 werden aus den variierten Betriebskosten maximale Jahreskosten ermittelt. Die Variante 1.1b und 1.2b werden aufgrund der Ähnlichkeit mit den Varianten 1.1 bzw. 1.2 vernachlässigt.

Tabelle 23: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto)

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB, DS-Filter	Variante 1.2 - PAK Adsorpt. Stufe	Variante 2.1 - GAK DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK Adsorber	Variante 3.1 - Ozon, Schönung.	Variante 3.2 - Ozon, DS Filter
Energiekosten	0,14 €/kWh	-3.913 €/a	-7.804 €/a	-5.416 €/a	-5.071 €/a	-15.781 €/a	-16.980 €/a
	0,28 €/kWh	9.782 €/a	18.941 €/a	21.872 €/a	17.635 €/a	39.452 €/a	42.449 €/a
Kosten Aktivkohle PAK	1.200 €/t	-17.484 €/a	-7.024 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.800 €/t	16.111 €/a	6.415 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Aktivkohle GAK	1.100 €/t	0 €/a	0 €/a	-23.475 €/a	-24.885 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.600 €/t	0 €/a	0 €/a	30.868 €/a	32.983 €/a	0 €/a	0 €/a
Differenz Kosten therm. Schlammensorgung	30 €/tfs	-37.027 €/a	-37.242 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	60 €/tfs	37.027 €/a	37.242 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Sauerstoff	150 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-13.293 €/a	-13.293 €/a
	300 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	26.587 €/a	26.587 €/a
Standzeit GAK, behandelte BV	13.000 BV	0 €/a	0 €/a	-34.343 €/a	-36.459 €/a	0 €/a	0 €/a
	7.000 BV	0 €/a	0 €/a	58.816 €/a	62.744 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	20 mg/l	-17.484 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	35 mg/l	32.909 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.2)	8 mg/l	0 €/a	-7.024 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	20 mg/l	0 €/a	33.291 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten Sauerstoff	8 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-17.724 €/a	-17.724 €/a
	16 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	17.724 €/a	17.724 €/a
maximale Veränderung Betriebskosten	min	-75.908 €/a	-59.094 €/a	-63.234 €/a	-66.415 €/a	-46.798 €/a	-47.997 €/a
	max	95.829 €/a	95.889 €/a	111.556 €/a	113.362 €/a	83.763 €/a	86.760 €/a
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	266.666 €	242.299 €	218.974 €	235.882 €	185.069 €	182.274 €
min. Betriebskosten	min	190.758 €	183.205 €	155.740 €	169.467 €	138.271 €	134.277 €
max. Betriebskosten	max	362.495 €	338.188 €	330.530 €	349.244 €	268.832 €	269.034 €
Jahreskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	421.876 €	443.120 €	368.179 €	404.321 €	360.004 €	347.877 €
min. Jahreskosten	min	345.968 €	384.026 €	304.945 €	337.906 €	313.206 €	299.880 €
max. Jahreskosten	max	517.705 €	539.009 €	479.735 €	517.683 €	443.767 €	434.637 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	82%	87%	83%	84%	87%	86%
	max	123%	122%	130%	128%	123%	125%

Die günstigsten Jahreskosten (Annahme: ohne Förderung) ergeben sich bei Annahme minimaler Betriebskosten für Variante 3.2 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration.

Die Jahreskosten können bei günstiger Kostenannahme der Betriebskosten um 13 % bis 18 % unter den mittleren Kostenannahmen liegen und bei ungünstiger Kostenannahme um 22 % bis 30 % darüber.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

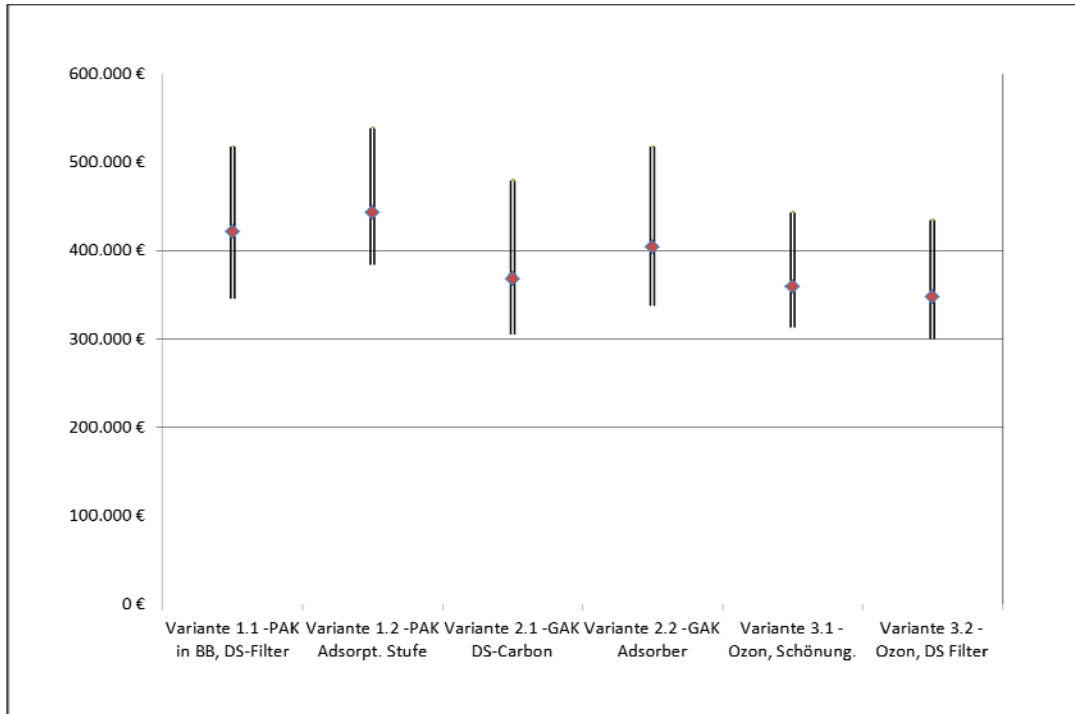


Bild 54: Minimale und maximale Jahreskosten ohne Förderung der Investitionen bei Variation der Betriebskosten (netto)

Die Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung der verminderten Jahreskosten bei Förderung der Investitionskosten (Förderhöhe 70%) zeigt Bild 55.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

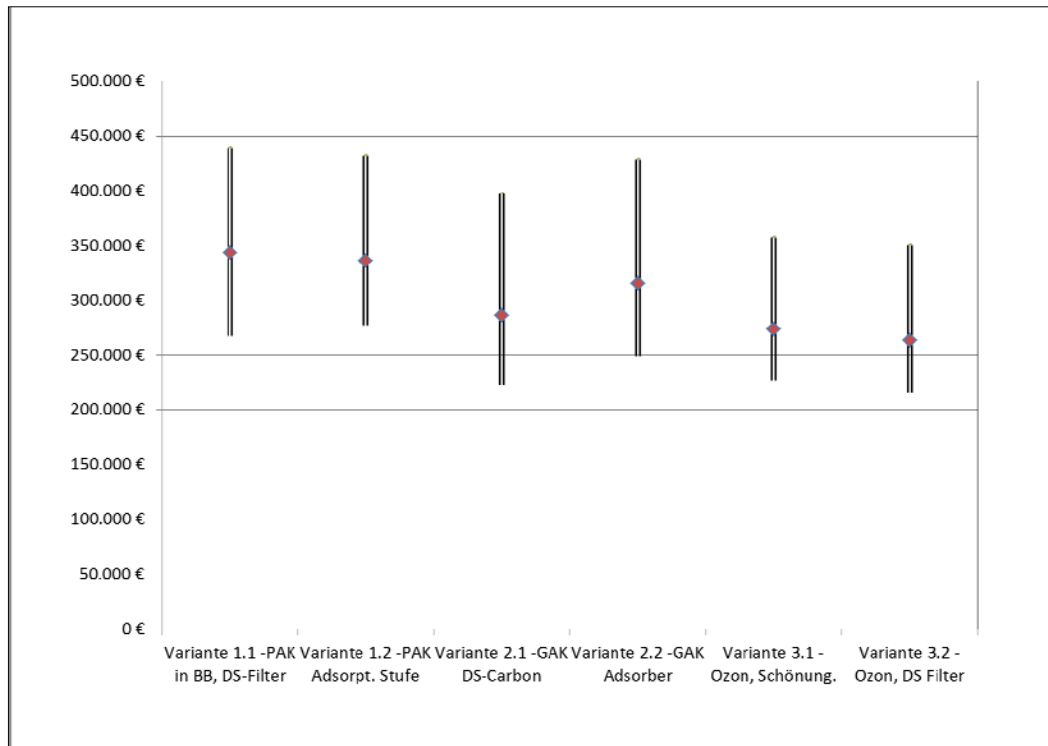


Bild 55: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten, mit erhöhten Schlammmentsorgungskosten (netto)

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

Ein kostenrelevanter Faktor, der hier zunächst nicht weiter diskutiert wird, ist die Annahme der Zinsentwicklung für die Kostenvergleichsrechnung. Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist ein realer Zinssatz von $i_r = 3\%$. Aufgrund der insgesamt niedrigen Zinsentwicklung erscheint die Annahme hinreichend genau. Eine Variationsrechnung findet auch aufgrund der anzunehmenden Förderung der Maßnahme und der damit verminderten Relevanz zunächst nicht statt. Ebenfalls wird vereinfachend die Preisentwicklung zu null angenommen.

Da bisher keine gesetzlichen Grenzwerte für bestimmte Spurenstoffe vorliegen sind Ozonkonzentration, spezifische PAK Dosiermengen oder bei GAK Filtration, der Zeitpunkt für den Austausch der Aktivkohle, nicht eindeutig zu definieren. Hier können letztlich nur Empfehlung, etwa zur mindestens zu eliminierenden Fracht bestimmter Spurenstoffe vorgegeben werden.

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

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

10 Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

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

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

In der nachfolgenden Tabelle 24 werden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. Dabei werden die Jahreskosten ohne und mit Förderung 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 ähneln.

Tabelle 24: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung	Variante 1.1 -PAK in BB, DS-Filter		Variante 1.2 -PAK Adsorpt. Stufe		Variante 2.1 -GAK DS-Karbon		Variante 2.2 -GAK Adsorber		Variante 3.1 -Ozon, Schönung.		Variante 3.2 -Ozon, DS Filter	
		[%]	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte
Jahreskosten ohne Förderung	30%	3	0,90	4	1,20	5	1,50	4	1,20	5	1,50	5	1,50
Jahreskosten mit Förderung	30%	3	0,90	3	0,90	5	1,50	3	0,90	5	1,50	5	1,50
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlamments.	30%	5	1,50	5	1,50	3	0,90	3	0,90	3	0,90	4	1,20
Reinigungsleistung Spurenstoffe	15%	3	0,45	5	0,75	4	0,60	4	0,60	5	0,75	5	0,75
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	10%	4,5	0,45	5	0,50	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45
Reinigungsleistung Mikroplastik	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	5	0,25	4	0,20
Reduzierung von Legionellen, Keimen im KA Ablauf	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	5	0,25
Bildung Nebenprodukte (Transformationsprodukte)	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	3	0,15	4	0,20
Wartungsaufwand, Betriebsaufwand	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20
Betriebssicherheit	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	2	0,10	3,5	0,18	3,5	0,18
Sensitivität Kostensteigerung	5%	3	0,15	4	0,20	3	0,15	3	0,15	4	0,20	4	0,20
Klimarelevanz, CO ₂ -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	4	0,20	1	0,05	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20
Summe ohne Förderung	100%		3,50		4,00		4,30		3,85		4,38		4,48
Summe mit Förderung	100%		3,50		3,70		4,30		3,55		4,38		4,48
Summe - Förderung, ohne Schlamments.	100%		4,10		4,30		3,70		3,55		3,78		4,18

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

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

Die **Jahreskosten** werden als wichtigstes Kriterium mit 30% angesehen. Das Verfahren mit der günstigsten Jahreskosten wird mit 5 Punkten bewertet (Bereich 0 – 9% Abweichung). Verfahren mit 10 – 19% Abweichung von der Variante mit den günstigsten Jahreskosten werden mit 4 Punkten bewertet, Verfahren mit 20 – 44% Abweichung mit 3 Punkten und Verfahren mit 45 – 59% Abweichung mit 2 Punkten und Verfahren mit 60% oder höherer Abweichung mit 1 Punkt.

Die **Reinigungsleistung für Spurenstoffe** wird als weiteres wesentliches Kriterium mit 15% bewertet. Die Analytik zu vorhandenen Spurenstoffen auf der KA Versmold hat keine wesentlichen Auffälligkeiten hinsichtlich der gefundenen Spurenstoffe gezeigt. Die Reinigungsleistung der Verfahren wird nach Bewertung von Literaturangaben für alle Verfahren als gut angesehen, auch wenn die Leistung für unterschiedliche Spurenstoffe variieren kann. Die Leistungsfähigkeit ist bei allen Verfahren bei Bedarf zu steigern, etwa durch höhere Ozondosierungen oder erhöhte PAK-Dosierung (Bewertung 5 Punkte). Die Steigerung der Leistung bei GAK Verfahren ist nur durch frühzeitigen Austausch von Filtermaterial möglich. Aufgrund der geringeren Flexibilität zur Leistungssteigerung wird eine Bewertung mit 4 Punkten vorgenommen. Als Nachteilig wird Variante 1.1 angesehen, da durch die direkte Zugabe in die Belebung 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** wird für Verfahren 1.2 – PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe erreicht. Ein vermehrter Rückhalt von AFS und P im Absetzbecken, nach Fäll- und Flockungsmittelzugabe ist anzunehmen, wie entsprechende Betriebserfahrungen großtechnischer Anlagen zeigen (KA Sindelfingen u.a.) (Ansatz: 5 Punkte). Da die übrigen Verfahren ebenfalls mit einer Filtration und P-Fällung ausgelegt sind, sind ähnliche Reinigungsleistungen zu erwarten. Die Dimensionierung der Filterstufe ist leicht ungünstiger gewählt als für Variante 1.1 (geringere PAK-Beladung), so dass eine leicht abgeschwächte Bewertung von 4,5 Punkten erfolgt.

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

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

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

rensstufen, 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** ist beim Einsatz von Oxidativen Verfahren gegeben. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte weitgehend abgebaut werden. Verfahren 3.2 berücksichtigt hierzu einen Sandfilter. Auch ein Schönungsteich ist als Behandlungsstufe anzusehen. Die Gleichwertigkeit ist zu diskutieren. Nachteile von Einleitungen nach Ozonbehandlung und biologischer Stufe für das Ökosystem des Gewässers in das eingeleitet wird sind bisher nicht bekannt. Bromid sollte bei Anwendung einer Ozonung nur in geringen Konzentrationen im Abwasser vorliegen (hier: unterhalb Nachweisgrenze).

Verfahren ohne Ozonung werden mit 5 Punkten bewertet. Abhängig von der nachgeschalteten biologischen Stufe werden Ozonverfahren mit 4 (Dyna-Sand) bzw. 3 Punkten (Schönungsteich) bewertet.

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

Erfahrungen und Referenzen liegen für alle Varianten vor. Ozonanlagen werden als Pilotanlagen in NRW u.a. eingesetzt und bevorzugt in der Schweiz angewendet. Zur Kombination mit einer Dyna-Sand Anlage liegen derzeit keine Erfahrungen vor. Die Bewertung wird hier nur geringfügig abgemindert, da Dyna-Sand Filter in hoher Zahl auf Kläranlagen eingesetzt werden (4 Punkte). Erfahrungen mit Anlagen mit PAK Adsorptionsstufe liegen u.a. aus Baden-Württemberg vor. Eine GAK Filtration als Dyna-Sand-Carbon Anlage wird seit fast einem Jahr in Rietberg erfolgreich eingesetzt. Eine weitere Anlage besteht in Süddeutschland. Erfahrungen in Kombination mit Dyna-Sand Filtern sind nicht bekannt (4 Punkte). Erfahrungen mit GAK Adsorbern 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).

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

Die **Betriebssicherheit** betrifft u.a. das Verhalten bei Ausfall eines Aggregates und inwieweit ein redundanter Weiterbetrieb möglich ist. Die höchste Betriebssicherheit wird der PAK Dosierung sowie der Dyna-Sand Carbon Filtration angenommen (4 Punkte). Die GAK Adsorber (Variante 2.2) werden aufgrund der vorerst angenommenen Spülwasserversorgung aus dem Schönungsteich hinsichtlich Betriebssicherheit niedriger eingeschätzt (3 Punkte). PAK Adsorptionsstufe und Ozonstufen werden durch den hohen Technikanteil im mittleren Bereich (3 bzw. 3,5 Punkte) eingeschätzt.

Die **Sensitivität** der Verfahren hinsichtlich **Betriebskosten** 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.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die **CO₂-Bilanz** 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.

Eine mögliche „Null-Variante“, also Verzicht auf einen Ausbau, würde zu CO₂-Einsparungen führen. Allerdings wäre die Bewertung 5 Punkte gegenüber der Bewertung 0 Punkte aufgrund des Bewertungsansatzes von 5% nicht entscheidend für eine Verfahrensauswahl.

Der **Platzbedarf** ist für die KA Versmold für den Fall weitgehend zu vernachlässigen, dass ein weiterer Ausbau der Kläranlage auszuschließen ist. Eine Flächenerweiterung ist nicht vorgesehen. Die Bewertung geht von geringem, mittlerem und hohem Flächenbedarf aus.

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass keine (Teil-) Verfüllung des Schönungsteiches oder ein Ankauf weiterer Flächen im Bereich des Schönungsteiches möglich ist. Insbesondere für die Variante 1.2 mit separater Adsorptionsstufe, ist damit die Verfügbarkeit der hier vorgesehenen Kläranlagenfläche zwingend für die Realisierung erforderlich.

Diskussion zum Nutzen der Spurenstoffelimination im Verhältnis zum finanziellen Aufwand und zur ökologischen Verträglichkeit der Maßnahme

In die vorangehende Bewertung der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination wurde eine Null-Variante, also ein Vergleich mit dem Ist-Zustand nicht einbezogen.

Dies würde eine Güterabwägung zwischen dem Aufwand für die Errichtung und den Betrieb einer entsprechenden Reinigungsstufe und dem Verzicht erfordern. Neben den fiskalischen Aufwendungen ist der Bau- und Betrieb mit potentiellen Beeinträchtigungen für die Umwelt verbunden, u.a. zur Erzeugung von Energie, Abbau und Produktion von Aktivkohle, von Baumaterialien, der Erzeugung und Bereitstellung von Ozon etc..

Eine entsprechende Güterabwägung ist komplex, letztlich in Teilen subjektiv und unterliegt schwer quantifizierbaren Randbedingungen. So ist alleine zur Bewertung der Energieerzeugung zum Betrieb der Anlagen im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit zwischen der Energieerzeugung aus Kohle, Atomkraft, Gas oder erneuerbaren Energien (Sonne, Wind, Biogas u.a.) zu unterscheiden. Den Beeinträchtigungen der Umwelt durch unterschiedlichste Formen der Energieerzeugung, wären u.a. der Nutzen für aquatische Ökosysteme entgegenzustellen. Die ökotoxikologische Bewertung zum Einfluss der Einbringung unterschiedlichster Spurenstoffe auf Flora und Fauna, über lange Zeiträume, in unterschiedliche Fließgewässer sowie der Nord- und Ostsee, ist Gegenstand umfangreicher Forschungsvorhaben.

Hier muss auf weiterführende Literatur verwiesen werden, bzw. auf zu erstellende ergänzende Gutachten zu dieser Studie. Der volkswirtschaftliche und ökologische Nutzen von Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination wird u.a. von Türk et al. in einem Gutachten des MKULNV NRW mit dem Titel: „Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren (TP 9)“ (MKUNLV NRW, 2013 (2)) untersucht.

Die Entscheidung für oder gegen den Bau einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination ist letztlich auch eine politische Entscheidung, die unter Berücksichtigung nationaler und supranationaler Gesetzgebung erfolgt, die wiederum auf Basis fiskalischer, ökologischer und z.B. Aspekten der Daseinsvorsorge (Trinkwassergewinnung, Gesundheitsvorsorge etc.) erlassen wurden.

In Bezug auf die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Spurenstoffelimination wird auf Kapitel 3 dieser Studie verwiesen.

Bewertung – Empfehlung

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt sowohl bei Vernachlässigung einer Förderung, als auch bei Berücksichtigung einer Förderung, für das Verfahren 3.2 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration mit 4,48 die höchste Bewertung. Variante 3.1 Ozonung und Schönungsteich und vorgeschalteter Tuchfiltration folgt mit geringem Abstand mit 4,38 Punkten.

Als Ergebnis erscheint die Variante 3.2 mit Ozonung und Filtration zur Realisierung einer Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Versmold als vorteilhafteste Varianten.

Ein anderes Bild ergibt sich wenn man die erhöhten Kosten für eine thermische Klärschlamm-sorgung nicht berücksichtigt, weil ab 2025 nicht nur die mit PAK durchsetzten Klärschlämme der Verfahrensvarianten 1 einer thermischen Verwertung zugeführt werden müssen, sondern alle Klärschlämme.

Hier ist die Variante 1.2 mit 4,30 Punkten am höchsten bewertet. Das Verfahren weist allerdings auch den größten Platzbedarf auf. Da für die Kläranlage Versmold nicht ausgeschlossen werden kann, dass die hier vorgesehene Kläranlagenfläche für einen weiteren Ausbau der Kläranlage einzusetzen ist, ist die Variante nur eingeschränkt zu empfehlen.

Vorzugsvariante ist unter den o.a. Voraussetzungen die Variante 3.2 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration die bei Szenarien ohne thermische Schlammentsorgung die höchsten Bewertung erzielte.

11 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt sechs verfahrenstechnische Varianten sowie zwei Untervariante hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Versmold 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 zwei Verfahren mit Einsatz von Ozon als Oxidationsmittel.

Folgende Varianten werden weitergehend 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 sowie Dyna-Sand-Filter[®]
- Variante 2.2: GAK in Festbett Adsorberstufe sowie Dyna-Sand-Filter[®]
- Variante 3.1: Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich
- Variante 3.2: 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 mögliche Förderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten, ergeben sich Jahreskosten von rd. 313.000,-- € (brutto) für die günstigste Variante 3.2 mit Ozonung und Dyna-Sand-Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 5,64 €/EW/a bzw. 0,22 € 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 Versmold 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/ohne Förderung der Investitionen sowie mit voraussichtlichem Entfall der gesetzlich erlaubten landwirtschaftlichen Klärschlammensorgung ab 2025.

11. Zusammenfassung

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante 3.2 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration mit einer Bewertung von 4,48 Nutzwertpunkten weiter zu verfolgen.

Vernachlässigt man die hohen Mehrkosten für eine thermische Klärschlamm Entsorgung bei PAK-Verfahren, ist ebenfalls die Variante 1.2 mit einer separaten Adsorptionsstufe mit der für diesen Fall höchsten Bewertung zu betrachten. Das Verfahren erfordert jedoch den höchsten Platzbedarf und würde eine Erweiterung der Kläranlage im Fall zunehmender Abwasserzuläufe erschweren.

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 in Vertretung durch die Bezirksregierungen Detmold empfohlen.

Bei Umsetzung der Maßnahme und Betrieb einer Filtration mit Phosphat-Fällung wird eine Reduzierung der Phosphat-Konzentrationen und -Frachten im Ablauf der Kläranlage erreicht. Aufgrund der bestehenden Gewässerbelastung u.a. mit Phosphaten, ist zukünftig eine Auflage der Aufsichtsbehörde zur Verminderung der P-Einleitungen möglich.

Sollte sich die Stadt Versmold zu der Nachrüstung einer Stufe zur Spurenstoffbehandlung auf der Kläranlage Versmold entschließen, wird empfohlen die Variante 3.2 Ozonierung und Dyna-Sand Filtration zu verfolgen.

Eine grundsätzliche Abwägung zwischen Kosten und Nutzen einer Behandlungsstufe zur Spurenstoffelimination und einem Verzicht eines entsprechenden Ausbaus der Kläranlage Versmold, etwa in Form einer Ökobilanz, war im Rahmen der Untersuchungen nicht durchzuführen. Hier wird auf weiterführende Literatur und allgemein auf aktuelle Forschungsvorhaben verwiesen.

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH
Hannover, im Mai 2018
Dr.-Ing. Jens Knollmann

12 Literatur

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

Abschlussbericht Ozonung von gereinigtem Abwasser. Pilotversuch Regensdorf. Dübendorf.

Abegglen, C., Siegrist, H. (2012)

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

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.

Bergmann, A. (2011)

Organische Spurenstoffe im Wasserkreislauf. Acatech Materialien - Nr. 12. Diskussionspapier für die acatech Projektgruppe „Georessource Wasser – Herausforderung Globaler Wandel“. München 2011

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

BAFU (2012)

Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, BAFU, Bern

Bode, H. (2014)

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

Cornel, P. (2007)

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

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

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

DWA (2008)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Hiller, G. (2011)

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

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

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

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

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

KomS (2016)

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

KOMS (2016)

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

KOMS / Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW (2016)

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

LAWA (2012)

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

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

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

Metzger, S. (2010)

Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Berlin: Oldenburg IndustrieVersmoldag 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 (2013) (2)

Türk, J., Dazio, M., Dinkel, F., Ebben, T., Hassani, V., Herbst, H., Hochstrat, R., Matheja, A., Montag, D., Remmler, F., Schaefer, S., Schramm, E., Vogt, M., Werbeck, N., Wermter, P., Wintgens, T. (2013): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren (TP 9)“, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), AZ IV-7-042 600 0011, Vergabenummer 08/0581. 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. Oberflächengewässer und Grundwasser. Teileinzugsgebiete Ems/Ems NRW (Entwurf,

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>

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).

Stadt Versmold (1999)

Erweiterung der Kläranlage Versmold – Mit allen Wassern gewaschen. Informationsschrift zur Einweihung der Kläranlage. Versmold 1999 (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 Mitteilungen, E-Mails: 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.

UBA - Umweltbundesamt (2012)

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

UBA - Umweltbundesamt (2014)

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

13 Anhang

13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

Untersuchungen vom 30.09.2015 – 02.10.2015, 72h-Mischprobe

(1) = Endablauf (Ablauf Schönungsteich), Kläranlage Versmold

<i>Analysennummer:</i>		56391 175190	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m ³	20908	
Bromid (Br)	mg/l	< 0,05	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Bezafibrat	µg/l	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	1,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,260	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,480	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	0,280	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,370	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	2,70	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,320	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,170	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	0,300	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iomeprol	µg/l	1,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l	1,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l	0,120	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	6,30	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

Anhang

Untersuchungen vom 01.10.2015, 09:05 Uhr bis 09:25 Uhr qualifizierte Stichprobe

(1) = Aabach oberhalb Einleitungsstelle (rd. 350 m oberhalb Einleitungsstelle)

(2) = Aabach unterhalb Einleitungsstelle (rd. 350 m unterhalb Einleitungsstelle)

Analysennummer:		175973	175974	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Bezafibrat	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	0,110	0,610	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	< 0,05	0,085	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	< 0,2	< 0,2	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,200	0,290	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	< 0,05	0,081	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	< 0,05	0,130	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	< 0,2	0,640	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	< 0,05	0,084	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	0,077	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	0,07	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,1	< 0,1	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iomeprol	µg/l	< 0,05	0,360	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l	0,075	0,500	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l	< 0,05	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	0,400	2,20	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	3	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	ng/l	< 5	< 5	Fl.-Extr., GC-MSD É

13.2 Datenauswertung – Zufluss, Fracht KA Versmold

Jahresschmutzwassermengen (JSM) 2014 – 2016

Einwohnerwerte (EW) 2014 – 2016

Abflussmengen 2014 – 2016

Anhang

Jahresschmutzwassermengen (JSM) 2014 – 2016

		Stadt/Gemeinde: Versmold Abwasserbehandlungsanlage: Zentralkläranlage Versmold Jahr: 2014											
Tag	Januar h _n Q _a	Februar h _n Q _a	März h _n Q _a	April h _n Q _a	Mai h _n Q _a	Juni h _n Q _a	Juli h _n Q _a	August h _n Q _a	September h _n Q _a	Oktober h _n Q _a	November h _n Q _a	Dezember h _n Q _a	
1	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
2	1,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
3	2,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
4	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
5	1,6 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
6	0,4 RWiNL	1,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
7	0,2 RWiNL	3,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
8	2,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
9	0,2 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
10	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
11	1,6 RWiNL	1,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
12	0,0 RWiNL	3,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
13	0,0 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
14	0,0 RWiNL	2,8 RWiNL	2,8 RWiNL	0,4 RWiNL	1,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
15	1,6 RWiNL	0,8 RWiNL	1,8 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
16	1,8 RWiNL	0,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
17	0,0 RWiNL	0,2 RWiNL	3,4 RWiNL	1,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
18	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	1,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
19	0,0 RWiNL	0,8 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
20	0,0 RWiNL	0,2 RWiNL	0,8 RWiNL	2,8 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
21	0,5 RWiNL	3,8 RWiNL	1,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
22	0,0 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
23	1,8 RWiNL	0,0 RWiNL	1,0 RWiNL	0,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
24	0,6 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,4 RWiNL	2,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
25	0,6 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
26	7,8 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	1,4 RWiNL	0,3 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
27	2,0 RWiNL	0,8 RWiNL	0,0 RWiNL	1,4 RWiNL	2,0 RWiNL	3,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
28	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,8 RWiNL	0,0 RWiNL	4,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
29	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,4 RWiNL	1,0 RWiNL	5,4 RWiNL	2,5 RWiNL	2,8 RWiNL	2,0 RWiNL	3,0 RWiNL	0,0 RWiNL	1,0 RWiNL	
30	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,4 RWiNL	0,0 RWiNL	2,6 RWiNL	2,0 RWiNL	1,2 RWiNL	0,2 RWiNL	0,0 RWiNL	1,1 RWiNL	
31	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,4 RWiNL	15,4 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	0,0 RWiNL	
TW	4	4	4	4	11	10	12	1	10	11	10	8	
m3	45316	48425	114001	43328	58927	73770	65351	5945	83963	58669	104178	21482	

Auswertung
der Jahresschmutzwassermenge nach dem Verfahren
"Hochrechnung aus Tagesmeßergebnissen bei Trockenwetter"

Stadt/Gemeinde: Versmold
Abwasserbehandlungsanlage: Zentralkläranlage Versmold
Jahr: 2014

	N = 0,3 mm			Anzahl Regenwettertage
	Anzahl der Trockenwettertage	Abfluß Trocken- wettertage	Abfluß gesamt	
Januar	8	45316	197250	23
Februar	8	48425	183363	20
März	20	114001	178011	11
April	7	43328	188488	23
Mai	11	58927	221068	20
Juni	13	73770	190408	17
Juli	12	65351	208090	19
August	1	5945	212336	30
September	10	83963	180952	14
Oktober	11	58669	198526	20
November	10	104178	193689	11
Dezember	8	51482	237523	22
Anzahl der Trockenwettertage	136	748976	2388718	230
Anzahl der Regenwettertage	230			
errechnete Jahresschmutzwassermenge		2028888 m³		
Mittlere Tagesmenge		5651 m³		
gemessene Jahresschmutzwassermenge		2388718 m³		

Anhang

Stadt/Gemeinde: Versmold												
Abwasserbehandlungsanlage: Zentralkläranlage Versmold												
Jahr: 2015												
Tag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$	\bar{h}_N $Q_{t,N}$
-1	0,7	612	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0,6	587	2,2	7,0	1,8	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	2,0
2	0,0	0	1,2	3,6	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,6	587	1,2	3,6	0,0	0,4	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	3,8
4	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	4,0
5	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
7	1,4	1174	0,2	0,6	0,6	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1,4	1174	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	1,0
9	3,8	3086	0,8	2,9	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	4,4	3520	0,4	1,5	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
11	1,4	1174	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,6	587	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	5,8	4686	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	2,0
14	5,6	4528	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0
15	2,4	1920	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,8
17	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,6	587	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	1,8	0,0	0,0	0,0	0,2
19	0,0	0	0,0	0,0	2,2	1,8	0,0	2,6	0,0	0,2	0,0	0,0
20	0,0	0	3,2	2,4	1,8	0,0	0,0	3,6	0,2	0,0	0,0	0,0
21	0,2	159	2,4	1,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	3,8
22	0,0	0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	1,0
23	0,0	0	4,6	3,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,6
24	4,2	3366	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2
25	0,8	652	0,4	1,2	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,4
26	5,8	4686	0,4	1,2	0,0	0,0	1,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
27	2,0	1590	6,4	4,8	0,0	12,4	0,0	5,0	0,0	4,154	0,0	5,558
28	5,4	4302	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0
29	4,2	3366	0,0	0,0	1,4	0,0	4,4	0,2	0,0	0,0	12,4	0,0
30	4,8	3840	0,0	0,0	5,6	0,0	0,6	8,2	0,0	7,302	15,2	0,0
31	2,8	2232	1,4	1,0	3,8	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
TW	7	5224	12	16	19	9	11	6	6	0	17	5
ms	5224	86164	110595	133465	51103	59828	21411	30912	51180	107104	32916	48467

Auswertung
der Jahresabmüßwassermenge nach dem Verfahren
"Hochrechnung aus Tagesmeßergebnissen bei Trockenwetter"

Stadt/Gemeinde: Versmold
Abwasserbehandlungsanlage: Zentralkläranlage Versmold
Jahr: 2015

		N = 0,3 mm		
		Anzahl der Trockenwettertage	Abfluß Trockenwettertage	Anzahl Regenwettertage
			Abfluß gesamt	
Januar	7	5224	289528	24
Februar	12	86164	223388	16
März	16	110595	246131	15
April	18	133465	246745	12
Mai	9	51103	189725	22
Juni	11	59828	167802	19
Juli	6	31411	198850	25
August	6	30912	261471	25
September	8	51180	230526	22
Oktober	17	107104	227641	14
November	5	32916	292658	25
Dezember	7	48467	286538	24
Anzahl der Trockenwettertage	122	796380	2880074	243
Anzahl der Regenwettertage	243			
		N = 0,3 mm		
errechnete Jahresabmüßwassermenge		2378681 m³		
Mittlere Tagesmenge		8619 m³		
gemessene Jahresabmüßwassermenge		2880074 m³		

Anhang

 Stadt Versmold - Zentralkläranlage Versmold
 Zulauffrachten KA Versmold
 Zulauf Zentralkläranlage - 01/2014 bis 12/2016

Datum	Jahr	Wochentag	Wetter	Zuflüsse	Konzentrationen				TW		Frachten			
				Abfluss Q_t	CSB, homog. C_{CSB}	N_{ges} , homog. C_N	P_{ges} , homog. C_P	C_N/C_{CSB}	C_P/C_{CSB}	Trockenwetter CSB-Fracht $B_{t,CSB}$	CSB-Fracht $B_{c,CSB}$	N_{ges} -Fracht B_N	P_{ges} -Fracht B_P	
-	-	-	-	m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l	-	-	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	
8. Dez.	2016	Do		6.262	908	61,0	7,2	0,067	0,008		5.683	382,0	45,2	
9. Dez.	2016	Fr		6.728	774	60,5	7,2	0,078	0,009		5.203	406,9	48,5	
10. Dez.	2016	Sa		6.394	512	57,5	7,6	0,112	0,015		3.274	367,7	48,7	
11. Dez.	2016	So		7.927	413	42,0	5,2	0,102	0,012		3.270	332,9	40,8	
15. Dez.	2016	Do	TW	6.262	836	55,0	8,1	0,066	0,010	5.235	5.235	344,4	51,0	
16. Dez.	2016	Fr	TW	6.265	945	58,5		0,062		5.911	5.911	365,9		
17. Dez.	2016	Sa	TW	4.882	648	51,5	7,9	0,080	0,012	3.161	3.161	251,4	38,6	
18. Dez.	2016	So	TW	4.192	470	59,5	6,7	0,127	0,014	1.970	1.970	249,4	28,1	
19. Dez.	2016	Mo	TW	5.983	691	61,0	8,9	0,088	0,013	4.134	4.134	365,0	53,2	
27. Dez.	2016	Di		5.568	592	67,0	7,3	0,113	0,012		3.296	373,1	40,6	
Mittelwert aM*				7.189	693,58	63,23	9,49	0,1005	0,0148	4.587,3	4.861,1	433,0	65,6	
Fracht über 50%-Wert										4.578	4.692	393,2	64,0	
Fracht über 85%-Wert										6.114,1	6.675,0	592,2	88,5	

Einwohnerwerte	2014	2015	2016	2014 bis 2016
Größenklasse (TW-Tage)	54.559	53.173	44.411	50.950
Belastung (alle Tage)	59.036	55.229	53.650	55.625

13.3 Abwassertechnische Berechnungen

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich und vorgeschaltetem Scheibentuchfilter
- Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Anhang

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

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbauabschnitt
Bemessungsbelastung			55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F			2.164 m³/d	
Jahresabwassermenge		2.680.498 m³/a	7.344 m³/d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.239.696 m³/a	6.136 m³/d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		270 l/s	972 m³/h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

Auslegung PAK Dosierung

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK		20 - 30 mg/l	25 mg/l	Dosierate bezogen auf TW-Zulauf
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			9 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			218 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			7 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			163 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			5.059 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			60.710 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)			425 kg/m³	
erf. Lagervolumen pro Monat			11,9 m³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			35,71 m³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			80 m³	rd. 7 Monate PAK Versorgung

Auslegung Dyna-Sand Filtration

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

Anhang

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Variante 1.1b - PAK in Belebung mit Polstoff-Tuchfiltration

Auslegung Tuchfiltration

Polstoff-Tuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 16/80-B-240-3-PMF-A4			32	Bem./Ausl. Mecana
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			160 m ²	
Stundendurchfluss mittel			363 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			972 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			6,1 m/h	bei QM, Bem. = 970 m ³ /h --> 8,8 m/h
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/m ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) - 2 straßig			216 m ³	3,0 m x 8 m x 4,5 m * 2 Stk.

Kontaktbecken - Nachfällung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{KB}		5 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB, erf.}		81 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB, gew.}		100 m ³	
Tiefe, gewählt	T _{KB, gew.}		2,5 m	
Oberfläche	A _{KB, gew.}		40 m ²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		8,0 m	
Breite Becken	B _{KB}		5,0 m	Oberfläche Ist: 40 m ²
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		2	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		1,0 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P _{RW}		0,5 kW	

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Anhang

Kläranlage Versmold

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			72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbauabschnitt
Bemessungsbelastung			55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F			2.164 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		2.680.498 m ³ /a	7.344 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.239.696 m ³ /a	6.136 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		270 l/s	972 m ³ /h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

Auslegung Kontaktbecken

Kontaktbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t_{KB}		30 min	
Beckenvolumen, erforderlich	$V_{KB,erf.}$		182 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	$V_{KB,gew.}$		206 m³	
Tiefe, gewählt	$T_{KB,gew.}$		2,5 m	
Oberfläche	$A_{KB,gew.}$		82 m ²	
Anzahl Becken	n_{KB}		1	
Länge Becken	L_{KB}		15,0 m	
Breite Becken	B_{KB}		5,5 m	Oberfläche Ist: 82,5 m ²
Rührwerk - Anzahl	$n_{Rühr}$		3	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	$E_{spez.}$		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	$E_{ges.}$		2,1 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P_{Rw}		0,7 kW	

Auslegung Absetzbecken

Absetzbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t_{AB}		120 min	
Beckenvolumen, erforderlich	$V_{KB,erf.}$		726 m ³	
Tiefe, gewählt	$T_{KB,gew.}$		3,5 m	
Oberflächenbeschickung	q_{AB}		2,0 m/h	
Oberfläche erforderlich	$A_{AB,erf.}$		182 m ²	
Oberfläche gewählt	$A_{AB,gew.}$		210 m ²	
Volumen gesamt - gewählt	$V_{AB,ges.}$		735 m ³	
Volumen gesamt - ist	$V_{AB,ges.,ist}$		749 m³	
Anzahl Becken, Rundbecken	n_{AB}		1	
Durchmesser	D_{AB}		16,5 m	$V_{ist} = 749 m^3, A_{ist} = 214 m^2$

Anhang

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			101 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			3,6 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei QT,max			87 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,max}		17,4 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT,mittel			2,7 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei QT,mittel			65 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,mittel}		13,1 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei QT,mittel			2.024 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei QT,mittel			24.284 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Anzahl Silo	n _{Silo}		1	
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)	roh		425 kg/m ³	
erf. Lagervolumen pro Monat			4,76 m ³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			14,28 m ³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			80 m³	ca. 18 Monate 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}		0,11 kg/h	
max. FHM Dosierung	Q _{max} x Dos _{max}		2,61 kg/d	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		0,054 kg/h	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		1,31 kg/d	

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}		1,360 kg/h	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		32,64 kg/d	
mittlere Fällmittelmenge pro Jahr			11.914 kg/a	

Anhang

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m ²	
Filterfläche gesamt			60 m ²	
Oberflächenbelastung			16,20 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			447 m³	6,5 m x 12,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

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

Auslegung Scheibentuchfiltration

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 12/60-B-240-3-PMF-A4			24 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			120 m ²	
Stundendurchfluss max			972 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss mittel			363 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			8,1 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) 2 straßig			162 m³	3,0 m x 6,0 m x 4,5 m *2

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Anhang

Kläranlage Versmold

Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA		72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbaubereich
Bemessungsbelastung		55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F		2.164 m³/d	
Jahresabwassermenge	2.680.498 m³/a	7.344 m³/d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$	2.239.696 m³/a	6.136 m³/d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$	101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$	76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m	270 l/s	972 m³/h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

Auslegung Dyna-Sand Carbon Filtration

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B		10-12 Stk.	10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m²	
Filterfläche gesamt			60 m²	
max. Oberflächenbelastung			6 m/h	
mittlere Oberflächenbelastung			5 m/h	
Spülwassermenge			15 m³/h	
Druckluftbedarf			23 Nm³/h	
Schüttichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			7,8 t/Filter	Typ DS 6000
Gesamtmenge Aktivkohle			78 t / 159 m³	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	VGAK gesamt: 159 m³		14.086 BV/a	
mittlere Aufenthaltszeit			0,58 h	
Aufenthaltszeit bei $Q_{T,max}$			0,44 h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)		rd.	447 m³	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m³	

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m²	
Filterfläche gesamt			60 m²	
Oberflächenbelastung			16,20 m/h	
Spülwassermenge			18 m³/h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm³/h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			447 m³	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m³	

Anhang

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Kläranlage Versmold

Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbaubereich
Bemessungsbelastung			55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F			2.164 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		2.680.498 m ³ /a	7.344 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T, mittel}$		2.239.696 m ³ /a	6.136 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T, max}$		101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T, h, max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T, mittel}$		76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T, min}$			124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		270 l/s	972 m ³ /h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

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	$A_{erf, Qmax}$		24 m ²	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qt}$		36 m ²	
Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter, gewählt	$A_{gew.}$		15 m ²	
Anzahl Filter (Betrieb)	n_{Filter}		3	
Anzahl Filter (Betrieb + 1 Rückspülfilter)	n_{Filter}		4	
Anzahl Filter, Reserve / Spülung			-	
Filterfläche gesamt (Betrieb ohne Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges}$		45 m ²	
Filterfläche gesamt (Betrieb mit Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges, einschl. RSF}$		60 m ²	
Filterhöhe	H_{Filter}		4,0 m	
Filtervolumen, pro Filter	V_{filter}		60 m ³	
Filtervolumen, gesamt	$V_{filter, ges.}$		240 m ³	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK gesamt: 240 m^3}$		9.332 BV/a	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m ³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			29,4 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			117,6 t / 240 m ³	
mittlere Kontakt-/ Aufenthaltszeit (ges.) - 3 Filter			0,66 h	
Aufenthaltszeit bei Q_{max}			0,5 h	

Anhang

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m ²	
Filterfläche gesamt			60 m ²	
Oberflächenbelastung			16,20 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			447 m³	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Anhang

Kläranlage Versmold

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbaubereich
Bemessungsbelastung			55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F			2.164 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		2.680.498 m ³ /a	7.344 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.239.696 m ³ /a	6.136 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		270 l/s	972 m ³ /h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{TOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel 2015 1-5/15)
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:				(Mittel 2015 - Überwachung) x
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 TOC	(mittl. Ausl.wert, Empf. [KOMZ])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{DOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel TOC 2015 Überwachung)
erforderliche Ozonkonzentration	C _{O3} = Z _{spez.} x C _{DOC}		12,53 mg O₃ / l	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	C _{O3} = Z _{spez.} x C _{DOC}		12 mg O₃ / l	
maximale Auslegungswassermenge	Q _{Bem.} = Q _{T,h,max}		363 m³/h	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [KOMZ])
minimale Auslegungswassermenge	Q _{T,2h,min}		124 m ³ /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B _{O3,max} = Q _{Bem.} x C _{O3}		4,36 kg O₃/h	
Maximale Ozon Produktionskapazität			104,54 kg O₃/d	
Mittlere Ozon Produktion	B _{O3,mittel} = Q _{T,mittel} x C _{O3}		3,26 kg O ₃ /h	
Mittlere Ozon Produktion			78,34 kg O₃/d	
Minimale Ozon Produktion	B _{O3,min} = Q _{T,2h,min} x C _{O3}		1,49 kg O ₃ /h	
Minimale Ozon Produktion			35,71 kg O ₃ /d	
Jährliche Ozon Produktion			28.593 kg O₃/a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			285.926 kg O₂/a	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

Anhang

Wahl Ozonerzeuger				
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	M. %, 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			3,6 kg O₃/h	
Leistung Generator			3,5 kg O ₃ /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			24,5 Nm ³ /h	
O ₂ /O ₃ Gasdurchsatz			23,6 Nm ³ /h	
Kühlwasserbedarf			9 m ³ /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,1 Nm ³ /h	
Energiebedarf gesamter Konverter			32, 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}		363 m³/h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V _{OR}		121 m ³	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V _{Gas}		61 m ³	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V _{ges., erf.}		182 m ³	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q _{Bem.} x t _{Zehrung} /0,35		173 m ³ /h	Berücksichtigung Ungleichmäßiger Durchmischung
gesamtes Reaktorvolumen gewählt:	V _{ges.}		180 m³	entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 31 min
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A _{OR}		24 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR}		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR}		8 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR}		4 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V _{OR,gew.}		120 m³	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A _{OR,gew.}		24 m²	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h _{OR-A}		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A _{OR-A,gew.}		12 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR-A}		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR-A}		4 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR-A}		4 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V _{OR-A,gew.}		60 m³	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A _{OR-A,gew.}		12 m²	

Ozoneintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Diffusor:				
Eintragsiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	M. %, 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		29 m ³ /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, min.})	B _{O₃, min} / CO ₃ , Produktgas		10 m ³ /h	> min. Diffusorsystem

Anhang

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
maximale Menge O ₂			44 kg O ₂ /h	
maximale Menge O ₂			1045 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			32,64 kg O ₂ /h	
mittlere Menge O ₂			783 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			285.926 kg O₂/a	

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

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit Schönungsteich			1,0 d	mittlerer ST Zufluss
Vorhandenes Volumen			6000 m ³	Ist

Auslegung Scheibentuchfiltration, Kontaktbecken Nach-Fällung

Kontaktbecken - Nachfällung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{KB}		5 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		81 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB,gew.}		100 m³	
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		2,5 m	
Oberfläche	A _{KB,gew.}		40 m ²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		8,0 m	
Breite Becken	B _{KB}		5,0 m	
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		2	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		1,0 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P _{RW}		0,5 kW	

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 12/60-B-240-3-PMF-A4			24 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			120 m ²	
Stundendurchfluss mittel			363 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			972 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			8,1 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) 2 straßig			162 m³	3,0 m x 6,0 m x 4,5 m *2

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DO _{Smittel, FM}		2,7 kg Fe/kg Pfall	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

Anhang

Kläranlage Versmold

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			72.000 EW/ 90.000 EW	1., 2. Ausbaubereich
Bemessungsbelastung			55.625 EW	Zeitraum 2014 - 2016
Fremdwasserzufluss Q_F			2.164 m³/d	
Jahresabwassermenge		2.680.498 m³/a	7.344 m³/d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		2.239.696 m³/a	6.136 m³/d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		101 l/s	363 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		76 l/s	272 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			124 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		270 l/s	972 m³/h	Ansatz Leistung Zulaufpumpwerk

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C_{TOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel 2015 1-5/15)
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:				(Mittel 2015 - Überwachung)
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 TOC	(mittl. Ausl.wert, Empf. [KOMZ])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C_{DOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel TOC 2015 Überwachung)
erforderliche Ozonkonzentration	$C_{O3} = Z_{spez} \times C_{DOC}$		12,53 mg O₃ / l	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	$C_{O3} = Z_{spez} \times C_{DOC}$		12 mg O₃ / l	
maximale Auslegungswassermenge	$Q_{Bem.} = Q_{T,h,max}$		363 m³/h	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [KOMZ])
minimale Auslegungswassermenge	$Q_{T,2h,min}$		124 m³/h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	$B_{O3,max} = Q_{Bem.} \times C_{O3}$		4,36 kg O₃/h	
Maximale Ozon Produktionskapazität			104,54 kg O₃/d	
Mittlere Ozon Produktion	$B_{O3,mittel} = Q_{T,mittel} \times C_{O3}$		3,26 kg O ₃ /h	
Mittlere Ozon Produktion			78,34 kg O₃/d	
Minimale Ozon Produktion	$B_{O3,min} = Q_{T,2h,min} \times C_{O3}$		1,49 kg O ₃ /h	
Minimale Ozon Produktion			35,71 kg O ₃ /d	
Jährliche Ozon Produktion			28.593 kg O₃/a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			285.926 kg O₂/a	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

Anhang

Wahl Ozonerzeuger				
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	M. %, 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			3,6 kg O₃/h	
Leistung Generator			3,5 kg O ₃ /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			24,5 Nm ³ /h	
O ₂ /O ₃ Gasdurchsatz			23,6 Nm ³ /h	
Kühlwasserbedarf			9 m ³ /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,1 Nm ³ /h	
Energiebedarf gesamter Konverter			32, 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}		363 m³/h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V _{OR}		121 m ³	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V _{Gas}		61 m ³	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V _{ges., erf.}		182 m ³	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q _{Bem.} x t _{Zehrung} /0,35		173 m ³ /h	0,35 = Faktor zur Berücksichtigung entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 31 min
gesamtes Reaktorvolumen gewählt:	V _{ges.}		180 m³	
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A _{OR}		24 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR}		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR}		8 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR}		4 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V _{OR,gew.}		120 m³	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A _{OR,gew.}		24 m²	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h _{OR-A}		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A _{OR-A,gew.}		12 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR-A}		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR-A}		4 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR-A}		4 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V _{OR-A,gew.}		60 m³	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A _{OR-A,gew.}		12 m²	

Ozoneintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Diffusor:				
Eintragstiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	M. %, 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		29 m ³ /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, min.})	B _{O₃, min.} / CO ₃ , Produktgas		10 m ³ /h	> min. Diffusorsystem

Anhang

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
maximale Menge O ₂			44 kg O ₂ /h	
maximale Menge O ₂			1045 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			32,64 kg O ₂ /h	
mittlere Menge O ₂			783 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			285.926 kg O₂/a	

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

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit Schönungsteich			1,0 d	mittlerer ST Zufluss
Vorhandenes Volumen			6000 m ³	Ist

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 E			10 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			6 m ²	
Filterfläche gesamt			60 m ²	
Oberflächenbelastung			16,2 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			160 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			447 m³	12,5 m x 6,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg P/Fall	DWA A-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			6,1 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			16,6 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			6047,2 kg/a	

13.4 Kostenannahme

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
 - Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
 - Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
 - Variante 1.2b PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Polstoff-Tuchfilter
 - Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
 - Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
 - Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich und vorgeschaltetem Scheibentuchfilter
 - Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Zusammenfassung: Jahreskosten, Investitionskosten, Betriebskosten

Anhang

Kläranlage Versmold

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: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	900 €	4.500 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 600	20	m	900 €	18.000 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Ablaufleitung, DN 600	30	m	900 €	27.000 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	250 €	25.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				74.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	15.000 €	15.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Reaktor	722	m ³	700 €	505.400 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				550.400 €

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

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.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m ²	120 €	48.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				100.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				774.900 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		38.745 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				813.645 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000 B-D, 20 Stk.	1	psch.	440.000 €	440.000 €
	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.	28.000 €	28.000 €
2.1.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	20.000 €	20.000 €
	Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration				488.000 €

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

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				943.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

3	EMSR Kosten				
3.1.1	MID DN 600	1	Stk.	15.000 €	15.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.3	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage, PAK Anlage	1	Stk.	50.000 €	50.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				75.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				75.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				813.645 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				943.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				75.000 €
	Summe Investkosten (netto)				1.832.145 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				366.429 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.198.574 €
	Mehrwertsteuer 19%				417.729 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.616.303 €

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				813.645 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				943.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				75.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.832.145 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				8.136 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				28.305 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.500 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				37.941 €/a

Anhang

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5,982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	56,5 t/a		1500 €/t	84.675 €/a
	Sand	320 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	3.200 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				88.653 €/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	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,18 €/kWh	12.062 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,18 €/kWh	2.168 €/a
	Dosierpumpen PAK, FM	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,18 €/kWh	1.577 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				17.607 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	56 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	2415 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a		45,00 €/t	111.215 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				111.215 €/a

Anhang

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

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				37.941 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				88.653 €/a
	Summe Energiebedarf				17.607 €/a
	Summe Schlammentsorgung				111.215 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				266.667 €
	Mehrwertsteuer 19%				50.667 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				317.333 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	25 mg/l	1200 €/t	67.191 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				67.191 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.484 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	67.191 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				67.191 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.484 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,14 €/kWh	9.382 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				13.694 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.913 €/a

Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a		30 €/t	74.144 €/a
	Summe Schlammensorgung				74.144 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlere Kostenannahme				-37.072 €/a

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

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m ³ /a	25 mg/l	1800 €/t	100.786 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				100.786 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				16.111 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m ³ /a	35 mg/l	1500 €/t	117.584 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				117.584 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				32.909 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,28 €/kWh	18.763 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,28 €/kWh	3.373 €/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				27.389 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				9.782 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a		60 €/t	148.287 €/a
	Summe Schlammensorgung				148.287 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				37.072 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold

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 ST-Filter: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 600	5	m	900 €	4.500 €
1.1.2	Zulauf Zwischenpumpwerk - ST-Filter, DN 600	20	m	900 €	18.000 €
1.1.3	Ablauf ST-Filter: DS - Ablaufleitung, DN 600	30	m	900 €	27.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser, PE-HD DN 200	100	m	250 €	25.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				74.500 €
1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	15.000 €	15.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Scheibentuchfilter - Becken	216	m³	1.000 €	216.000 €
1.2.5	Kontaktreaktor P-Fällung	100	m³	700 €	70.000 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				331.000 €
1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle / Container - Scheibentuchfilter Technik, EMSR	1	psch.	45.000 €	45.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				45.000 €
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.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m²	120 €	48.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				100.000 €
	Zwischensumme Baukosten:				550.500 €

Anhang

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		38.535 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				589.035 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Scheibentuchfilter, Kontaktbecken P				
2.1.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF16/80, 24 Filterscheiben	1	psch.	420.000 €	420.000 €
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.	20.000 €	20.000 €
2.1.9	Rührwerk Kontaktbecken	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				450.000 €

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

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		20.750 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				921.250 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

3	EMSR Kosten				
3.1.1	MID DN 600	1	Stk.	15.000 €	15.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.3	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Scheibentuchfilter Anlage, PAK Anlage	1	Stk.	50.000 €	50.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				75.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				75.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				589.035 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				921.250 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				75.000 €
	Summe Investkosten (netto)				1.585.285 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				317.057 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.902.342 €
	Mehrwertsteuer 19%				361.445 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.263.787 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				589.035 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				921.250 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				75.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.585.285 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.890 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				27.638 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.500 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				35.028 €/a

Anhang

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5,982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	56,5 t/a		1500 €/t	84.675 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	56,5 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	57.253 €/Tuchwechsel	14.313 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				99.766 €/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	2.680,498 m³/a	5 W/m³·m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67,012 kWh/a		0,18 €/kWh	12.062 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	0,9 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,18 €/kWh	89 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,18 €/kWh	213 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,18 €/kWh	71 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³·m	0,18 €/kWh	1.577 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	100 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,18 €/kWh	1.577 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				17.388 €/a

Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	56 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2415 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a	45,00 €/t		111.215 €/a
	Summe Schlammensorgung				111.215 €/a

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

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				35.028 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				99.766 €/a
	Summe Energiebedarf				17.388 €/a
	Summe Schlammensorgung				111.215 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				273.241 €
	Mehrwertsteuer 19%				51.916 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				325.157 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	25 mg/l	1200 €/t	67.191 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				67.191 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.484 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	67.191 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				67.191 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.484 €/a

Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,14 €/kWh	9.382 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,14 €/kWh	69 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				13.524 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.864 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a		30 €/t	74.144 €/a
	Summe Schlammensorgung				74.144 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-37.072 €/a

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

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	25 mg/l	1800 €/t	100.786 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				100.786 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				16.111 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	35 mg/l	1500 €/t	117.584 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				117.584 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				32.909 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,28 €/kWh	18.763 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,28 €/kWh	138 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,28 €/kWh	331 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	8.760 kWh/a		0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,28 €/kWh	2.453 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				25.822 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				8.434 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2471 t/a		60 €/t	148.287 €/a
	Summe Schlammensorgung				148.287 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				37.072 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold

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 Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	15	m	600 €	9.000 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Dyna-Sand Filter, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.5	Ablauf - Dyna-Sand Filter - Ablaufleitung KA, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung DS Filter: Schacht Abl.leitung - DS-Filter, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	70	m	350 €	24.500 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	250 €	25.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				102.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	180	m³	700 €	126.000 €
1.2.5	Absetzbecken	700	m³	600 €	420.000 €
1.2.6	Dyna-Sand-Reaktor	447	m³	750 €	335.250 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				976.250 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR, FHM	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				50.000 €

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.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	500	m ²	120 €	60.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				183.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				1.311.750 €
--	---------------------------------	--	--	--	--------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		91.823 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				1.403.573 €
----------	-------------------------------	--	--	--	--------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	50	m	100 €	5.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	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 €	90.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000 E, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
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.	22.000 €	22.000 €
2.2.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				272.000 €

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.	330.000 €	330.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				445.000 €

	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				821.500 €
--	--	--	--	--	------------------

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		41.075 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				952.575 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 600	2	Stk.	13.000 €	26.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	35.000 €	35.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				136.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				136.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				1.403.573 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				952.575 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				136.000 €
	Summe Investkosten (netto)				2.492.148 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				498.430 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.990.577 €
	Mehrwertsteuer 19%				568.210 €
	Summe Investkosten (brutto)				3.558.787 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwasserermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				1.403.573 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				952.575 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				136.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				2.492.148 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				14.036 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				28.577 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.720 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				45.333 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	2.239.696 m³/a	5 mg/l	130 €/t	1.456 €/a
	Flockungshilfsmittel	2.239.696 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	1.120 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	5,982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	22,6 t/a	10 mg/l	1500 €/t	33.900 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	22,6 t/a			
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				38.853 €/a

Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerke - Energiebedarf (2 mal. Heb.)	4.920.194 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,18 €/kWh	22.141 €/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	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	20.104 kWh/a		0,18 €/kWh	3.619 €/a
	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	17.870 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	268 kWh/a		0,18 €/kWh	48 €/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	0,18 €/kWh	2.208 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,18 €/kWh	2.168 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,18 €/kWh	315 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	180 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	15.768 kWh/a		0,18 €/kWh	2.838 €/a
	Sonstiges (Mefstechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				35.137 €/a

Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	23 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	45 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % - 30% TR)	2415 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		45,00 €/t	111.726 €/a
	Summe Schlammensorgung				111.726 €/a

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

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				45.333 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				38.853 €/a
	Summe Energiebedarf				35.137 €/a
	Summe Schlammensorgung				111.726 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				242.299 €
	Mehrwertsteuer 19%				46.037 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				288.336 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.680.498 m ³ /a	10 mg/l	1200 €/t	32.166 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				32.166 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.734 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.680.498 m ³ /a	8 mg/l	1500 €/t	32.166 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				32.166 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.734 €/a

Anhang

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,14 €/kWh	17.221 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	20.104 kWh/a		0,14 €/kWh	2.815 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	268 kWh/a		0,14 €/kWh	38 €/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	15.768 kWh/a		0,14 €/kWh	2.208 €/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				27.329 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-7.808 €/a

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		30 €/t	74.484 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				74.484 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-37.242 €/a

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.680.498 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	48.249 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				48.249 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				14.349 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.680.498 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	80.415 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				80.415 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				46.515 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,28 €/kWh	34.441 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	20.104 kWh/a		0,28 €/kWh	5.629 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	268 kWh/a		0,28 €/kWh	75 €/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	15.768 kWh/a		0,28 €/kWh	4.415 €/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				54.078 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				18.941 €/a

Anhang

4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		60 €/t	148.968 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				148.968 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				37.242 €/a

Kläranlage Versmold

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 Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf Kontakreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontakreaktor, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontakreaktor-Absetzbecken, DN 400	15	m	600 €	9.000 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Tuchfilter, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.5	Ablauf - Tuchfilter - Ablaufleitung KA, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung ST Filter: Schacht Abl.leitung - ST-Filter, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	70	m	350 €	24.500 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser, PE-HD DN 200	100	m	250 €	25.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				102.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Kontakreaktor	180	m³	700 €	126.000 €
1.2.5	Absetzbecken	700	m³	600 €	420.000 €
1.2.6	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	162	m³	1.000 €	162.000 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	35.000 €	35.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				813.000 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Tuchfilteranlagen-Technik, EMSR, FHM	1	psch.	45.000 €	45.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				45.000 €

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.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	500	m ²	120 €	60.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	40	t	1.400 €	56.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				183.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				1.143.500 €
--	---------------------------------	--	--	--	--------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		80.045 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				1.223.545 €
----------	-------------------------------	--	--	--	--------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	50	m	100 €	5.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	4.000 €	12.000 €
2.1.4	Absetzbecken techn. Ausrüstung	1	psch.	25.000 €	25.000 €
2.1.5	Räumer Absetzbecken	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung	1	psch.	300.000 €	87.000 €

2.2	Scheibentuchfilter				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF12/60, 24 Filterscheiben	1	psch.	420.000 €	420.000 €
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				423.500 €

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.	330.000 €	330.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				445.000 €

	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				1.058.000 €
--	--	--	--	--	--------------------

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		52.900 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.110.900 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	--------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 600	2	Stk.	13.000 €	26.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	35.000 €	35.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				136.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				136.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				1.223.545 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				1.110.900 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				136.000 €
	Summe Investkosten (netto)				2.470.445 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				494.089 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.964.534 €
	Mehrwertsteuer 19%				563.261 €
	Summe Investkosten (brutto)				3.527.795 €

Anhang

Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasseremenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				1.223.545 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.110.900 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				136.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				2.470.445 €
1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				12.235 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				33.327 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.720 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				48.282 €/a
2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	2.239.696 m³/a	5 mg/l	130 €/t	1.456 €/a
	Flockungshilfsmittel	2.239.696 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	1.120 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	5.982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	22,6 t/a	10 mg/l	1500 €/t	33.900 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	22,6 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	23.419 €/Tuchwechsel	5.855 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				43.108 €/a
3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerke - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf (2 mal. Heb.)	4.920.194 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,18 €/kWh	22.141 €/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	2.239.696 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	16.798 kWh/a		0,18 €/kWh	3.024 €/a

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	223.970 m³/a	5 W/m³·m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.360 kWh/a		0,18 €/kWh	605 €/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	0,18 €/kWh	2.208 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,18 €/kWh	315 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	150 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,18 €/kWh	2.365 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	1,1 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kWh/a		0,18 €/kWh	108 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,6 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,18 €/kWh	213 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,18 €/kWh	71 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				32.849 €/a
4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	23 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	45 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2415 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		45,00 €/t	111.726 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				111.726 €/a

Anhang

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	35 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,25 Stelle			
	Personalkosten	0,25 Stelle		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				48.282 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				43.108 €/a
	Summe Energiebedarf				32.849 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				111.726 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				247.216 €
	Mehrwertsteuer 19%				46.971 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				294.187 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	26.876 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				26.876 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-7.024 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	26.876 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				26.876 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-7.024 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,14 €/kWh	17.221 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	16.798 kWh/a		0,14 €/kWh	2.352 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.360 kWh/a		0,14 €/kWh	470 €/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	13.140 kWh/a		0,14 €/kWh	1.840 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kWh/a		0,14 €/kWh	84 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				25.550 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-7.300 €/a

Anhang

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		30 €/t	74.484 €/a
	Summe Schlammensorgung				74.484 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-37.242 €/a

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

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	40.315 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				40.315 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				6.415 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	2.239.696 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	67.191 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				67.191 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				33.291 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	123.005 kWh/a		0,28 €/kWh	34.441 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	16.798 kWh/a		0,28 €/kWh	4.703 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	3.360 kWh/a		0,28 €/kWh	941 €/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	13.140 kWh/a		0,28 €/kWh	3.679 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kWh/a		0,28 €/kWh	169 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kWh/a		0,28 €/kWh	331 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				51.099 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				18.250 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2483 t/a		60 €/t	148.968 €/a
	Summe Schlammensorgung				148.968 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				37.242 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold
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 DS-Reaktor: Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - DS-C Filter, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.5	Ablauf - DS und DS-C Filter - Ablaufleitung KA, DN 600	35	m	900 €	31.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand-Carbon Anlage, PE-HD DN 200	75	m	250 €	18.750 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				83.250 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schöpfungsteich	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Carbon Reaktor	447	m³	750 €	335.250 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	447	m³	750 €	335.250 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				730.500 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - GAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				50.000 €

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.2	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	12.500 €	12.500 €
1.4.3	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.4	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	35.000 €	35.000 €
1.4.5	Straßen, Wege	450	m²	120 €	54.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				129.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				992.750 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

Anhang

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		69.493 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				1.062.243 €
----------	-------------------------------	--	--	--	--------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Carbon Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000E, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
2.1.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.1.3	Aktivkohlelieferung (78t)				enthalten
2.1.4	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
2.1.5	Verrohrung Innen				enthalten
2.1.6	Waschwasserreduzierung				enthalten
2.1.7	Drucksonde				enthalten
2.1.8	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	20.000 €	20.000 €
2.1.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				270.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	22.000 €	22.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				272.000 €

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	2	psch.	10.000 €	20.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				65.000 €

Anhang

2.4	Dosieranlagen				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €

	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				687.000 €
--	--	--	--	--	------------------

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		34.350 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				721.350 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

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.	12.000 €	12.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	15.000 €	15.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand, Dyna-Sand Carbon Anlage	1	Stk.	55.000 €	55.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				127.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				127.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				1.062.243 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				721.350 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				127.000 €
	Summe Investkosten (netto)				1.910.593 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				382.119 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.292.711 €
	Mehrwertsteuer 19%				435.615 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.728.326 €

Anhang

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasseremenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				1.062.243 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				721.350 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				127.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.910.593 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				10.622 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				21.641 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.540 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				34.803 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5.982 t/a		130 €/t	778 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	13.934 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,4 Füllung/a	1300 €/t	141.291 €/a
	Sand	96 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	960 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				143.028 €/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	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,18 €/kWh	14.475 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.239.696 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.191 kWh/a		0,18 €/kWh	12.094 €/a

Anhang

	Kompressorstationen	11,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,18 €/kWh	4.336 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				32.705 €/a

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

5	Personalkosten				
	Personalaufwand - Wartung etc.	30 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,19 Stelle			
	Personalkosten	0,19 Stelle		45.000 €/Stelle	8.438 €/a
	Summe Personalkosten				8.438 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				34.803 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				143.028 €/a
	Summe Energiebedarf				32.705 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				8.438 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				218.974 €
	Mehrwertsteuer 19%				41.605 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				260.579 €

Anhang

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)	78 t/a	1,4 Füllung/a	1100 €/t	119.554 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				119.554 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-23.475 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,07 Füllung/a	1300 €/t	108.685 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				108.685 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-34.343 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,14 €/kWh	11.258 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,14 €/kWh	11.258 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,14 €/kWh	3.373 €/a
	Sonstiges (Mefstechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				27.289 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.416 €/a

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

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,4 Füllung/a	1600 €/t	173.896 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				173.896 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				30.868 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	78 t/a	1,99 Füllung/a	1300 €/t	201.844 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				201.844 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				58.816 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,28 €/kWh	22.516 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,28 €/kWh	22.516 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,28 €/kWh	6.745 €/a
	Sonstiges (Mefstechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				54.578 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				21.872 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold

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 DS-Reaktor: Schacht Ablaufleitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - Adsorberstufe, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.5	Ablauf: DS Filter, Adsorberstufe - Ablaufleit.KA, DN 600 /400	40	m	750 €	30.000 €
1.1.5	Zulaufleitung Spülwasser Festbettfilter	30	m	350 €	10.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Festbettfilter, PE-HD DN 200	75	m	250 €	18.750 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				92.250 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung KA	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Schacht - Entnahme Spülwasser	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	447	m³	750 €	335.250 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf)	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				415.250 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle, Container - GAK, Festbettfilter Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
1.3.2	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				50.000 €

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.	12.500 €	12.500 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	450	m²	120 €	54.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Adsorber	118	t	1.300 €	153.400 €
	Summe 1.4 Sonstiges				296.900 €

Anhang

	Zwischensumme Baukosten:				854.400 €
1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		59.808 €
1	Summe Baukosten:				914.208 €
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Schwerkraftfilter				
2.1.1	Festbettfilter 4 Stk.	4	Stk.	120.000 €	480.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	30.000 €	30.000 €
	Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration				510.000 €
2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	22.000 €	22.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				272.000 €
2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpwerk, Spülwasserpumpwerk	9	Stk.	7.500 €	67.500 €
2.2.2	Gebläse	4	Stk.	7.500 €	30.000 €
2.2.3	Armaturen, Schieber	1	psch.	25.000 €	25.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				122.500 €
2.3	Dosieranlagen				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €
	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				984.500 €

Anhang

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		49.225 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.033.725 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	--------------------

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.	12.000 €	12.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	15.000 €	15.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Festbettfilter, Dyna-Sand Filter	1	Stk.	55.000 €	55.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				127.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				127.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				914.208 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				1.033.725 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				127.000 €
	Summe Investkosten (netto)				2.074.933 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				414.987 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.489.920 €
	Mehrwertsteuer 19%				473.085 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.963.004 €

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				914.208 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.033.725 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				127.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				2.074.933 €

Anhang

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				9.142 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				31.012 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.540 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				42.694 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5,982 t/a		130 €/t	778 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	9.892 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,0 t/a	1,0 Füllung/a	1300 €/t	150.457 €/a
	Sand	96 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	960 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				152.195 €/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	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,18 €/kWh	14.475 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.239.696 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.191 kWh/a		0,18 €/kWh	12.094 €/a
	Spülwasserpumpen - Förderhöhe	5,0 m			
	Spülwasserpumpen - Verluste	1,0 m			
	Spülwasserpumpen - Manometrische Förderhöhe	6,0 m			
	Laufzeit pro Tag (bezogen auf Filteranlage)	0,5 h/d			
	Spülwassermenge	80 l/s	288 m³/h		
	Fördermenge, spez. Energiebedarf	52.560 m³/a	5 W/m³*m		
	Spülwasserpumpwerk Pumpkosten	1.577 kWh/a		0,18 €/kWh	284 €/a

Anhang

	Spülluftgebläse	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	0,5 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,18 €/kWh	329 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,18 €/kWh	2.168 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				31.149 €/a

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

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

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				42.694 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				152.195 €/a
	Summe Energiebedarf				31.149 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				235.882 €
	Mehrwertsteuer 19%				44.818 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				280.700 €

Anhang

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)	117,0 t/a	1,0 Füllung/a	1100 €/t	127.310 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				127.310 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-24.885 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,0 t/a	0,76 Füllung/a	1300 €/t	115.736 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				115.736 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-36.459 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,14 €/kWh	11.258 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,14 €/kWh	11.258 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,14 €/kWh	256 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,14 €/kWh	221 €/a
	Kompressorstation	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				26.079 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.071 €/a

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,0 t/a	1,0 Füllung/a	1600 €/t	185.178 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				185.178 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				32.983 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	117,0 t/a	1,4 Füllung/a	1300 €/t	214.939 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				214.939 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				62.744 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,28 €/kWh	22.516 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	80.415 kWh/a		0,28 €/kWh	22.516 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,28 €/kWh	511 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,28 €/kWh	442 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,28 €/kWh	2.800 €/a
	Summe Energiebedarf				48.785 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				17.635 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold
Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren
Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich, Scheiben-Tuch-Filter
Kostenannahme - Investitionskosten

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				
1.1.1	Zulauf Scheibenfilter: Schacht Abl.leitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf Scheibenfilter: Zwischenpumpwerk - Scheibenfilter, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.3	Zulauf Ozonreaktor: Scheibenfilter - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.4	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.5	Ablauf Ozonreaktor: Ozonreaktor - Ablaufleitung, Ablauf ST-Filter DN 600/400	40	m	750 €	30.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Scheibenfilter, PE-HD DN 200	75	m	250 €	18.750 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				81.750 €
1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung KA	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Ozonreaktor	180	m³	900 €	162.000 €
1.2.5	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	162	m³	1.000 €	162.000 €
1.2.6	Kontaktreaktor P-Fällung	100	m³	700 €	70.000 €
1.2.7	MID-Schacht	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				454.000 €
1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzellen / Container - Ozonanlage, Scheibenfilter-Technik, EMSR	2	psch.	50.000 €	100.000 €
1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente Silo, Kühler	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Sauerstofftank - Metttank (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.	12.500 €	12.500 €
1.4.5	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.6	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	400	m²	120 €	48.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				126.500 €

Anhang

	Zwischensumme Baukosten:				762.250 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		53.358 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				815.608 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Ozonerzeugeranlage				
2.1.1	Ozongenerator				
	Ozoneintragssystem - Diffusorensysteme, autom. Gasverteilung				
	Stickstoffdotierung, Kompressor				
	Restozonvernichter				
	Kühlwasser Versorgung.				
	Verbindende Rohrleitungen				
	Transport, Inbetriebnahme				
	Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage	1	psch.	460.000 €	460.000 €

2.1	Scheibentuchfilter				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF12/60, 24 Filterscheiben	1	psch.	420.000 €	420.000 €
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, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				430.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	2	psch.	10.000 €	20.000 €
2.2.3	Umlegung Meßstelle Ablauf KA, Ablauf Schönungsteich	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte				65.000 €

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

Anhang

	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				1.035.000 €
--	--	--	--	--	--------------------

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		51.750 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.086.750 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	--------------------

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	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	35.000 €	35.000 €
3.1.3	Ozon-, Sauerstoff-Umgebungsmessung				in 2.1 enthalten
3.1.4	C(O3) - Messung Abgas				in 2.1 enthalten
3.1.5	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.6	Lokale SPS				in 2.1 enthalten
3.1.7	MID DN 400	1	Stk.	12.000 €	12.000 €
3.1.8	Blitzschutz	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				112.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				112.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				815.608 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				1.086.750 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				112.000 €
	Summe Investkosten (netto)				2.014.358 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				402.872 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.417.229 €
	Mehrwertsteuer 19%				459.274 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.876.503 €

Anhang

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassereremenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				815.608 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				1.086.750 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				112.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				2.014.358 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				8.156 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				32.603 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.240 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				42.999 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5.982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Sauerstoff	265.866 kgO ₂ /a		200 €/t	53.173 €/a
	Ozon	26.587 kgO ₃ /a			
	Filtertücher u.a. Ers.teile		0,25 Ersatztuch/a	23.419 €/Tuchwechsel	5.855 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				59.806 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1. - Förderhöhe	2,5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	4 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	46.909 kWh/a		0,18 €/kWh	8.444 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.239.696 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	55.992 kWh/a		0,18 €/kWh	10.079 €/a
	Ozonng				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	32 kW			
	Lastfaktor (Teillast)		1,00		
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a		0,18 €/kWh	50.300 €/a
	spez. Energiebedarf	11 kWh/kgO ₃			

Anhang

	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	1,1 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,18 €/kWh	108 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,6 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,18 €/kWh	213 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,18 €/kWh	71 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				71.014 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	#BEZUG!		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		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				42.999 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				59.806 €/a
	Summe Energiebedarf				71.014 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				185.069 €
	Mehrwertsteuer 19%				35.163 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				220.232 €

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	265.866 kgO ₂ /a		150 €/t	39.880 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				39.880 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-13.293 €/a

Anhang

2	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff (8 mgO3/l)	177.244 kgO2/a	200 €/t	35.449 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			35.449 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			-17.724 €/a

3	Energiebedarf			
	Zwischenpumpwerk 1. Pumpkosten	46.909 kWh/a	0,14 €/kWh	6.567 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. Pumpkosten	55.992 kWh/a	0,14 €/kWh	7.839 €/a
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a	0,14 €/kWh	39.122 €/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			55.233 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			-15.781 €/a

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff	265.866 kgO2/a	300 €/t	79.760 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			79.760 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			26.587 €/a

2	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff (16 mgO3/l)	354.488 kgO2/a	200 €/t	70.898 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			70.898 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			17.724 €/a

3	Energiebedarf			
	Zwischenpumpwerk 1. Pumpkosten	46.909 kWh/a	0,28 €/kWh	13.134 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. Pumpkosten	55.992 kWh/a	0,28 €/kWh	15.678 €/a
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a	0,28 €/kWh	78.244 €/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			110.467 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			39.452 €/a

Anhang

Kläranlage Versmold
Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren
Variante 3.2 - 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: Schacht Abl. Leitung - Zwischenpumpwerk, DN 600	10	m	900 €	9.000 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.3	Zulauf Dyna-Sandreaktor: Ozonreaktor - Zwischenpumpwerk-DS-Reaktor, DN 400	10	m	600 €	6.000 €
1.1.4	Zulauf RW Dyna-Sand-Reaktor: Abl.leitung - DS-Filter , DN 600	20	m	900 €	18.000 €
1.1.5	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS -Ablauf KA, DN 600	15	m	900 €	13.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	150	m	250 €	37.500 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				90.000 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	15.000 €	30.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.4	Ozonreaktor	180	m³	900 €	162.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	447	m³	750 €	335.250 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				557.250 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
1.3.2	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				100.000 €

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.	12.500 €	12.500 €
1.4.5	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.6	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	450	m²	120 €	54.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				132.500 €

Anhang

	Zwischensumme Baukosten:				879.750 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		61.583 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				941.333 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

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.	460.000 €	460.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 10 Stk.	1	psch.	240.000 €	240.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	22.000 €	22.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				272.000 €

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 €

2.4	Dosieranlagen				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	80.000 €	80.000 €

Anhang

	Zwischensumme Maschinentechnische Kosten:				867.000 €
--	--	--	--	--	------------------

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung 5 %	1	psch.		43.350 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				910.350 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

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.	12.000 €	12.000 €
3.1.7	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.8	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	35.000 €	35.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				117.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				117.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				941.333 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				910.350 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				117.000 €
	Summe Investkosten (netto)				1.968.683 €
	Nebenkosten Ing.-Honorare, Prüfgebühren (20%)				393.737 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				2.362.419 €
	Mehrwertsteuer 19%				448.860 €
	Summe Investkosten (brutto)				2.811.279 €

Anhang

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration
Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassereremenge	2.680.498 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	2.239.696 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				941.333 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				910.350 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				117.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.968.683 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				9.413 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				27.311 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.340 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				39.064 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	5.982 t/a		130 €/t	778 €/a
	Sand	160 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.600 €/a
	Sauerstoff	265.866 kgO2/a		200 €/t	53.173 €/a
	Ozon	26.587 kgO3/a			
	Summe Verbrauchsstoffe				55.551 €/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	2.239.696 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	55.992 kWh/a		0,18 €/kWh	10.079 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	2.680.498 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	67.012 kWh/a		0,18 €/kWh	12.062 €/a

Anhang

	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,18 €/kWh	2.168 €/a
	Ozonung				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	32 kW			
	Lastfaktor (Teillast)		1,00		
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a		0,18 €/kWh	50.300 €/a
	spez. Energiebedarf	11 kWh/kgO ₃			
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,18 €/kWh	1.800 €/a
	Summe Energiebedarf				76.409 €/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		45.000 €/Stelle	11.250 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				39.064 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				55.551 €/a
	Summe Energiebedarf				76.409 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				182.274 €
	Mehrwertsteuer 19%				34.632 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				216.906 €

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	265.866 kgO ₂ /a		150 €/t	39.880 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				39.880 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-13.293 €/a

Anhang

2	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff (8 mgO3/l)	177.244 kgO2/a	200 €/t	35.449 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			35.449 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			-17.724 €/a

3	Energiebedarf			
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	55.992 kWh/a	0,14 €/kWh	7.839 €/a
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a	0,14 €/kWh	39.122 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	67.012 kWh/a	0,14 €/kWh	9.382 €/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			59.429 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			-16.980 €/a

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff	265.866 kgO2/a	300 €/t	79.760 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			79.760 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			26.587 €/a

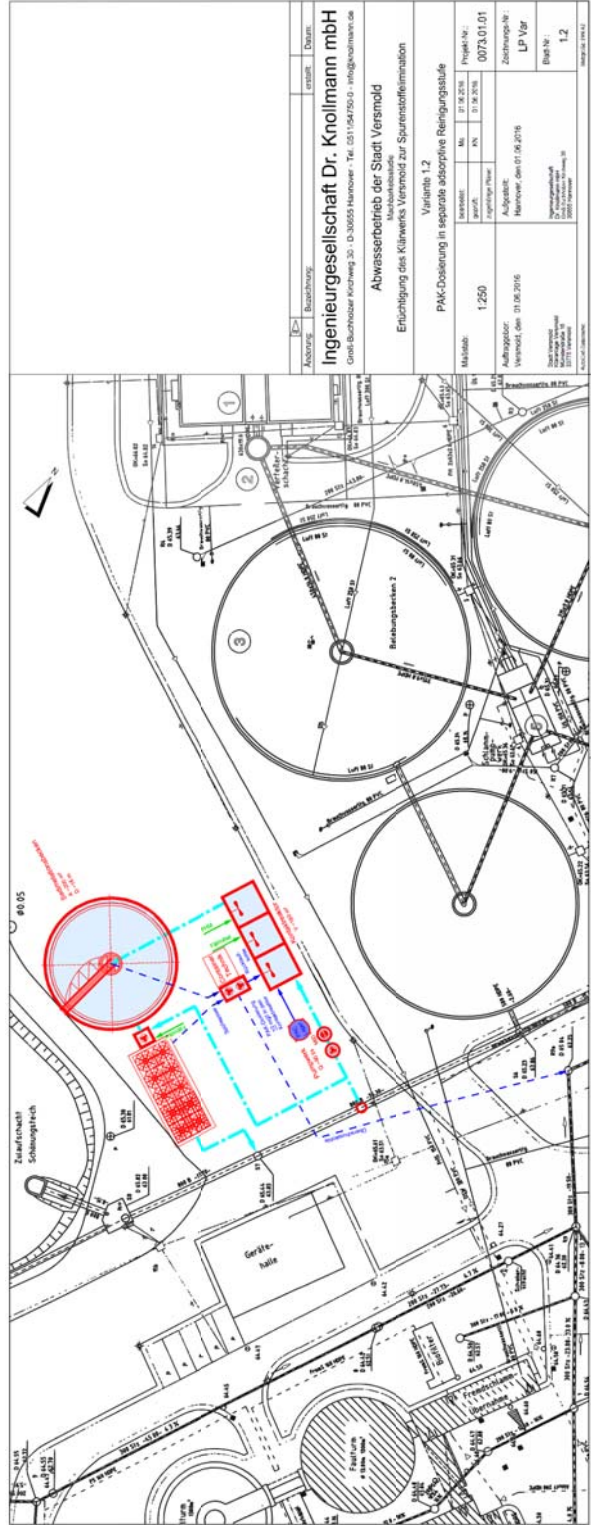
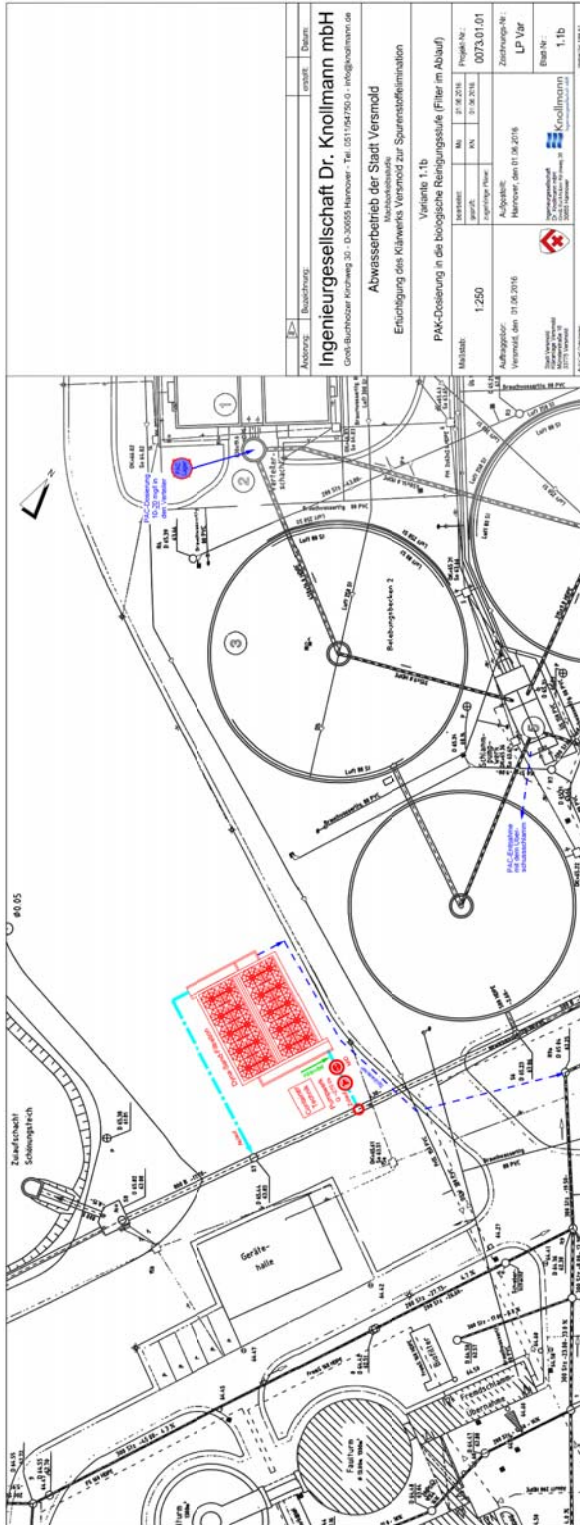
2	Verbrauchsstoffe			
	Sauerstoff (16 mgO3/l)	354.488 kgO2/a	200 €/t	70.898 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			70.898 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			17.724 €/a

3	Energiebedarf			
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	55.992 kWh/a	0,28 €/kWh	15.678 €/a
	Energiebedarf Ozonung	279.444 kWh/a	0,28 €/kWh	78.244 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	67.012 kWh/a	0,28 €/kWh	18.763 €/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			118.858 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme			42.449 €/a

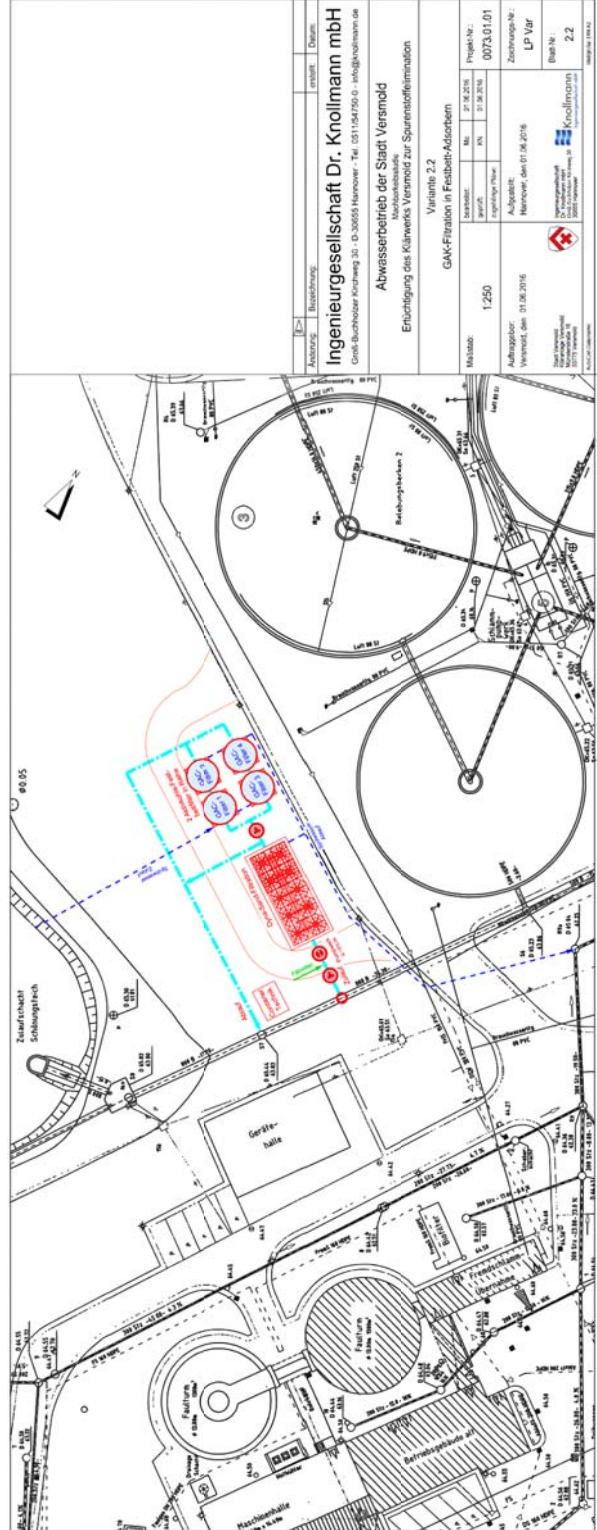
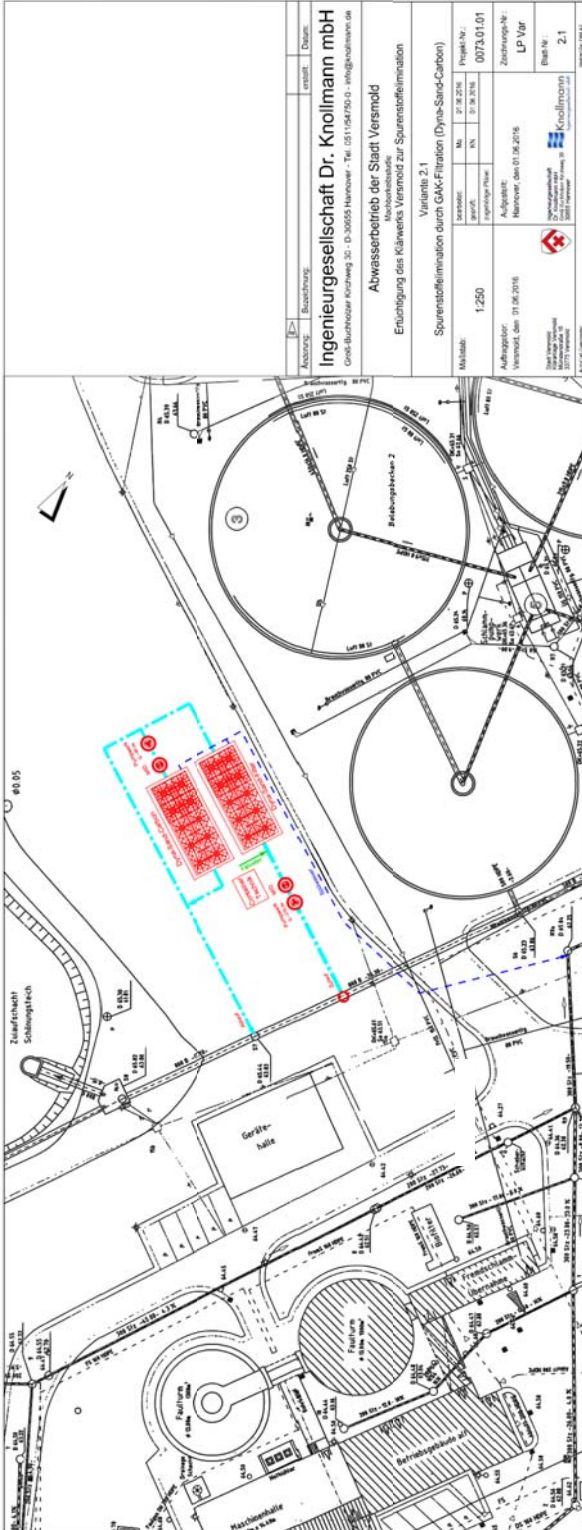
13.5 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter
- Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich und vorgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Planunterlagen



Planunterlagen



Planunterlagen

