



Gemeinde Langenberg

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Elimination von Spurenstoffen

August 2017

gefördert durch:

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



Ingenieuresellschaft Dr. Knollmann mbH

Groß-Buchholzer Kirchweg 30
30655 Hannover
+0049 511 54750-0
info@knollmann.de
www.knollmann.de

Impressum

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

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Spurenstoffe – Herkunft, Eigenschaften	3
3	Rechtliche Belange und Grenzwerte	7
3.1	EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	8
3.2	Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	10
3.3	Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen	11
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung	14
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination	16
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	16
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	20
5.3	Oxidation mit Ozon (O ₃)	22
5.3.1	Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung	24
5.4	Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe	25
5.5	Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen	27
5.5.1	Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination	28
5.6	Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination	32
6	Kläranlage Langenberg	38
6.1	Kurzbeschreibung Kanalnetz, Kläranlage	38
6.2	Weitergehende Abwasseruntersuchungen	50
6.3	Situation Gewässersystem Ems (Forthbach), Trinkwassergewinnung	54
7	Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse	58
8	Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination	62
8.1	Vorhandene Erweiterungsfläche	63
8.2	Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen	64
8.3	Variante 1. 1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe	64
8.3.1	Verfahrensbeschreibung	64
8.3.2	Vordimensionierung	69

Inhaltsverzeichnis

8.3.3	Diskussion Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung	69
8.4	Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	70
8.4.1	Verfahrensbeschreibung	70
8.4.2	Vordimensionierung	75
8.4.3	Diskussion Variante 1.2 PAK - Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	76
8.5	Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter	77
8.5.1	Verfahrensbeschreibung	77
8.5.2	Vordimensionierung	81
8.5.3	Diskussion Variante 2.1 - Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)	82
8.6	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe	83
8.6.1	Verfahrensbeschreibung	83
8.6.2	Vordimensionierung	85
8.6.3	Diskussion Variante 2.2 - Festbett Adsorberstufe (GAK)	85
8.7	Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich, vorgeschalteter Tuchfilter	86
8.7.1	Verfahrensbeschreibung	86
8.7.2	Vordimensionierung	92
8.7.3	Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Schönungsteich	93
8.8	Variante 3.2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter	94
8.8.1	Vordimensionierung	96
8.8.2	Diskussion Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	97
9	Wirtschaftlichkeitsvergleich	98
9.1	Investitionskosten	98
9.2	Betriebskosten	101
9.3	Jahreskosten	107
9.4	Sensitivitätsanalyse	113
10	Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination	117
11	Zusammenfassung und Empfehlung	121
12	Literatur	123

Inhaltsverzeichnis

13	Anhang	128
13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	128
13.2	Abwassertechnische Berechnungen	131
13.3	Kostenannahme	148
13.4	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	203
13.5	Becherglasversuche zur Adsorption von CSB an Aktivkohle	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 [Benstörn et al., 2015]	17
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	18
Bild 5:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]	19
Bild 6:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]	20
Bild 7:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)	21
Bild 8:	Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration	22
Bild 9:	Schema GAK Festbett – Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration	22
Bild 10:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage	23
Bild 11:	Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	25
Bild 12:	Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	26
Bild 13:	Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	27
Bild 14:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]	27
Bild 15:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]	28
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungwassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	34
Bild 17:	Luftbild Kläranlage Langenberg (Google Earth)	39
Bild 18:	Lageplan Kläranlage Langenberg	41
Bild 19:	Nachklärbecken	42
Bild 20:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (nördl. Nachklärbecken (Blick n. Norden)	42
Bild 21:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (nördl. Nachklärbecken, westl. Belebungsbecken (Blick n. Süden)	43
Bild 22:	Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (Blick n. Osten)	43

Abbildungsverzeichnis

Bild 23:	Schönungsteich	44
Bild 24:	Forthbach – stromab der Einleitungsstelle	44
Bild 25:	Mittlerer stündlicher Abfluss Kläranlage Langenberg, Regen-, Trockenwetter (1.2014, 11.2014)	45
Bild 26:	CSB-Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2014 - 11.2014)	46
Bild 27:	P_{ges} -Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2014 – 11.2014)	46
Bild 28:	Adsorptionsisotherme	52
Bild 29:	Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_EMSr_1400 [MKULNV NRW, 2015]	54
Bild 30:	Gewässerzustand Forthbach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]	56
Bild 31:	Spurenstoff-Screening - Nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage Langenberg (03.05.2016 – 06.05.2016; 09.05.2017 – 12.05.2017)	60
Bild 32:	Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Langenberg (Luftbild - Quelle: Google-Earth)	63
Bild 33:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1	65
Bild 34:	Lageplan KA Langenberg - Variante 1.1 – Dosierstelle PAK im Zulauf zur Belebung	66
Bild 35:	Lageplan KA Langenberg - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung	66
Bild 36:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	68
Bild 37:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2	71
Bild 38:	Lageplan KA Langenberg - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	73
Bild 39:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	74
Bild 40:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1	77
Bild 41:	Draufsicht , Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster) (Quelle: Fa. Nordic Water)	78
Bild 42:	Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)	79
Bild 43:	Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)	80
Bild 44:	Lageplan KA Langenberg - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	80
Bild 45:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2	83

Abbildungsverzeichnis

Bild 46:	Lageplan KA Langenberg - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorgeschalteter Dyna-Sand Filter	84
Bild 47:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1 (ohne Scheibenfilter)	87
Bild 48:	Lageplan KA Langenberg - Variante 3.1 – Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich	88
Bild 49:	Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)	89
Bild 50:	Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)	90
Bild 51:	Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)	91
Bild 52:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2	94
Bild 53:	Lageplan KA Langenberg - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration	95
Bild 54:	Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)	100
Bild 55:	Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	104
Bild 56:	Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlamm Entsorgungskosten (brutto)	106
Bild 57:	Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	109
Bild 58:	Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)	111
Bild 59:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten (netto)	115

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [BAFU, 2012]	14
Tabelle 2:	Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]	35
Tabelle 3:	Planungsdaten, Einwohnerwerte Kläranlage Langenberg [Elwas-Web]	45
Tabelle 4:	Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Langenberg (2011 – 2015)	47
Tabelle 5:	Auslegung – Spurenstoffelimination	49
Tabelle 6:	Becherglasversuche – Verminderung der S_{CSB} -Konzentration durch Adsorption an Pulveraktivkohle	52
Tabelle 7:	Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Langenberg (03.05.2016 – 06.05.2016; 09.05.2017 – 12.05.2017) und im Gewässer (04.05.2016, 09.05.2017)	59
Tabelle 8:	Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen	61
Tabelle 9:	Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe	64
Tabelle 10:	Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)	69
Tabelle 11:	Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe	75
Tabelle 12:	Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	81
Tabelle 13:	Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe	85
Tabelle 14:	Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	92
Tabelle 15:	Auslegung Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	96
Tabelle 16:	Zusammenstellung Investitionskosten	98
Tabelle 17:	Zusammenstellung Betriebskosten	103
Tabelle 18:	Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlammentsorgungskosten	105
Tabelle 19:	Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)	108
Tabelle 20:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)	110
Tabelle 21:	Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%) und ohne Schlammentsorgungsmehrkosten	112
Tabelle 22:	Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter	113
Tabelle 23:	Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) (Förderung 70%)	114
Tabelle 24:	Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	117

1 Veranlassung

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

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

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

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

1. Veranlassung

Für prioritäre Stoffe deren Einleitung zu erheblichen Gewässerbeeinträchtigungen führen kann wurden 2008 Umweltqualitätsnormen in die EU Wasserrahmenrichtlinie aufgenommen. Die 2013 fortgeschriebene Liste wurde 2016 in die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) übernommen. Zur Erreichung der Qualitätsziele für Oberflächengewässer werden u.a. für die 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, Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW).

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

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

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

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

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

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 Kläranlagenerneuerungen zur Spurenstoffelimination abgeschätzt wurden [Götz et al., 2012].

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

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

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

2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

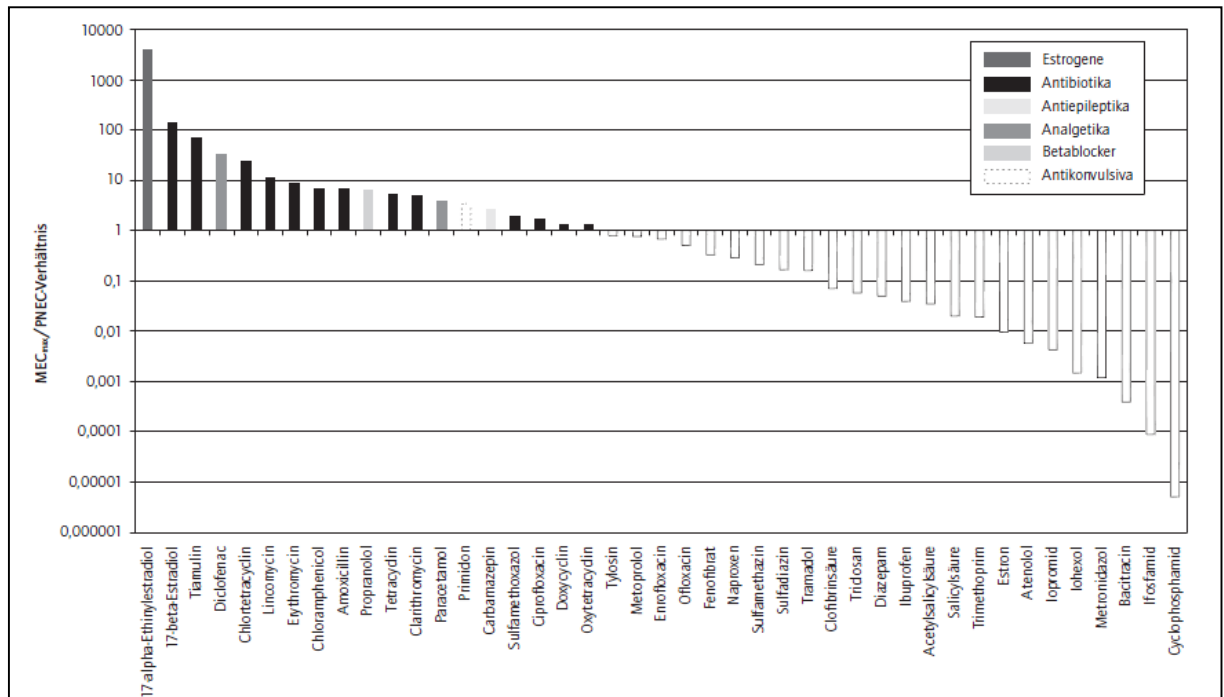


Bild 1: MEC/PNEC-Verhältnis für Arzneistoffe in deutschen Oberflächengewässern [Bergmann, 2011]

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

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

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

Eintragspfade von Spurenstoffen werden in Bild 2 dargestellt.

2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

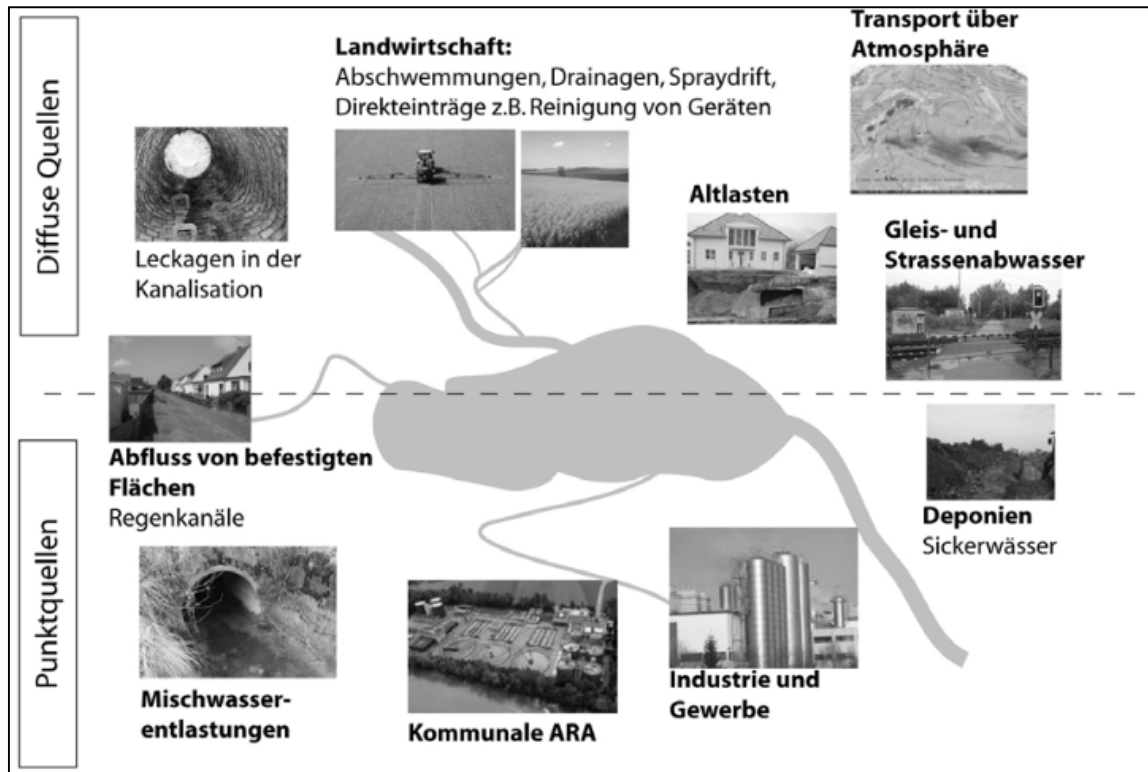


Bild 2: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [Götz et al., 2010]

3 Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

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

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

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

3.1 EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

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

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 mußten bis zum 14.9.2015 in nationales Recht umgesetzt werden [BMLFUW, 2015].

3.2 Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen

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

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

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

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

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

3.3 Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen

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

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

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

Die aktuelle D4 Liste vom April 2014 unterscheidet in:

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

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

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

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

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

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

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

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

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

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

Mit einem weiteren Erlass vom 04.07.2013 wird verfügt:

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

4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

4 Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

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

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

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

Stoff	Gruppe	Zulauf	Ablauf	Elim Micropoll	Elim Studien	Anz. Literaturwerte
		ng/l	ng/l	%	%	#
Atenolol	Betablocker	1650 ± 550	920 ± 380	44 ± 18	65 ± 27	10
Bezafibrat	Lipidsenker	370 ± 270	240 ± 250	61 ± 24	68 ± 27	14
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 Regensdorf und ARA Lausanne; ^{b)} ARA Regensdorf; 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, Spongberg & Witter 2008, Ternes 1998, Ternes et al. 2007, Wick et al. 2008, Yu et al. 2006, Zuehlke et al. 2006

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

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

4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

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

Eine Adsorption von Spurenstoffen an der 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].

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

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

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

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

5 Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

5.1 Pulveraktivkohle (PAK)

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

Vorteile beim Einsatz von Aktivkohle sind:

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

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

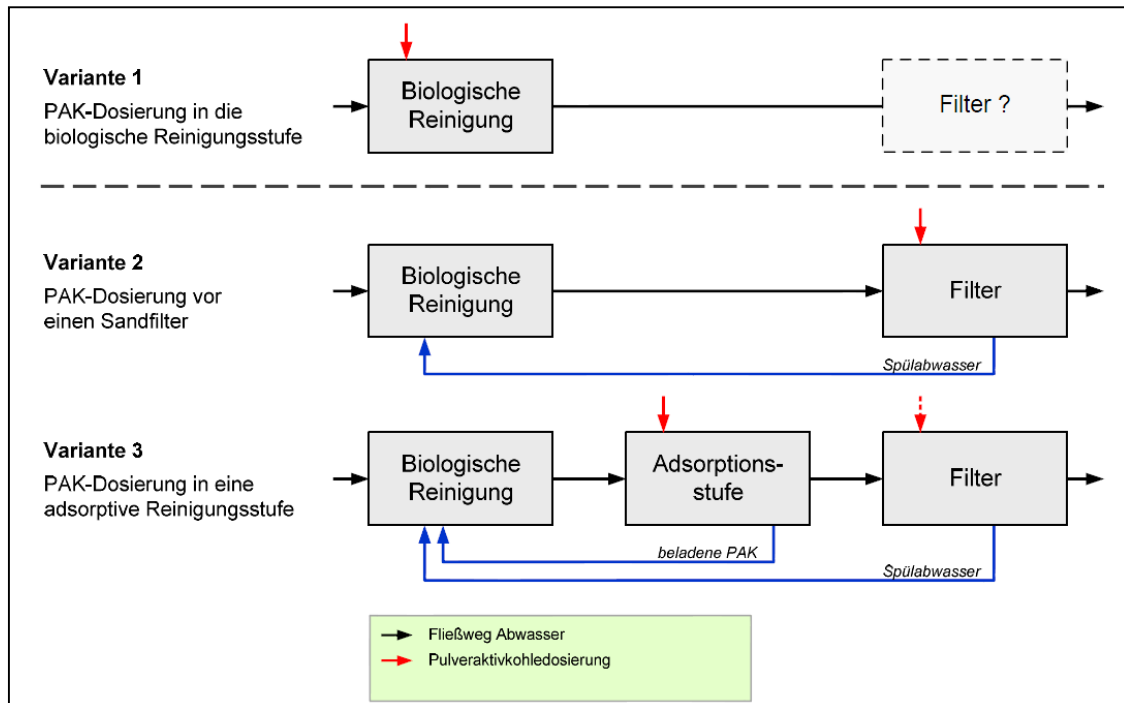


Bild 3: Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung
Quellen [Benstörn et al., 2015]

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

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

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

Kennzeichen der PAK-Dosierung in das Belebungsbecken sind:

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

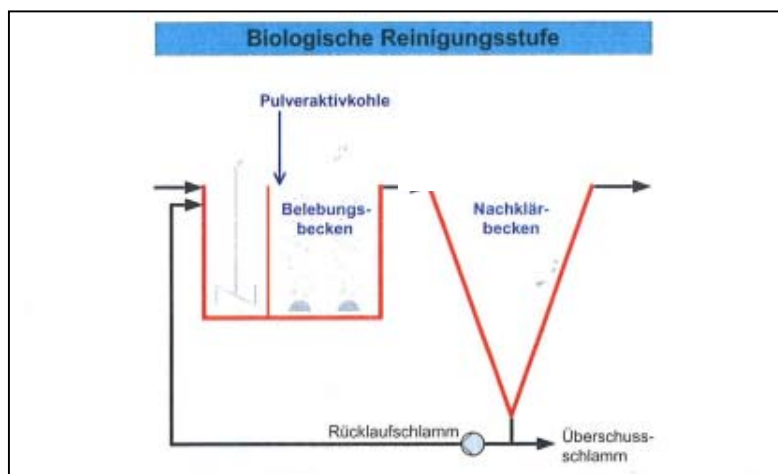


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

b) PAK-Dosierung vor/in einem Sandfilter

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

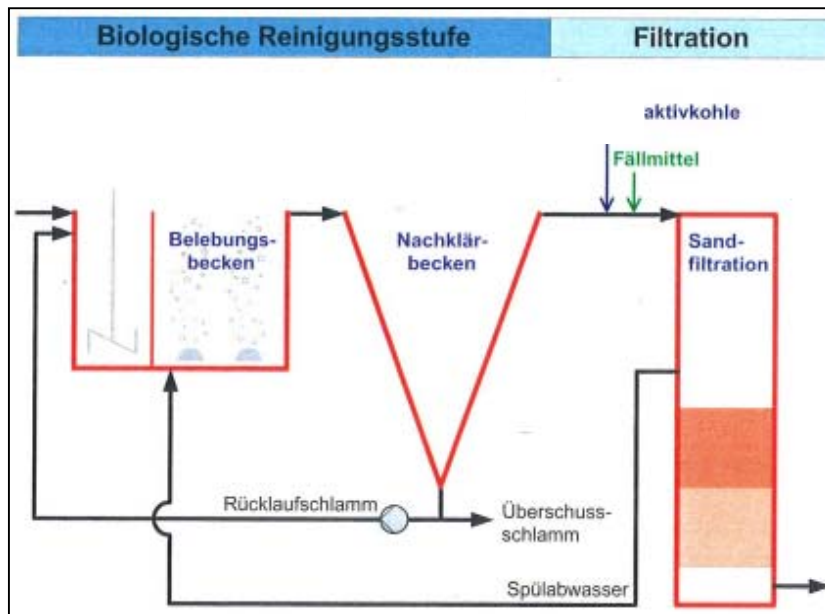


Bild 5: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [Metzger, 2010]

c) PAK-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

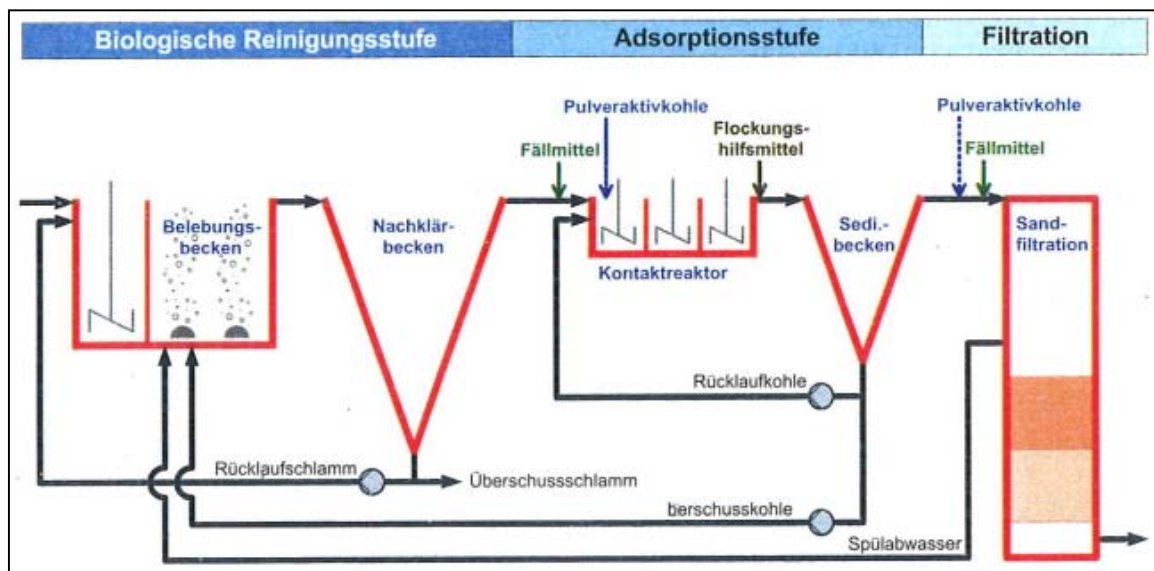


Bild 6: Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [Metzger, 2010]

5.2 Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

durchbruch, wobei die adsorbierten Schadstoffe wieder aus dem Filterbett gespült werden können.

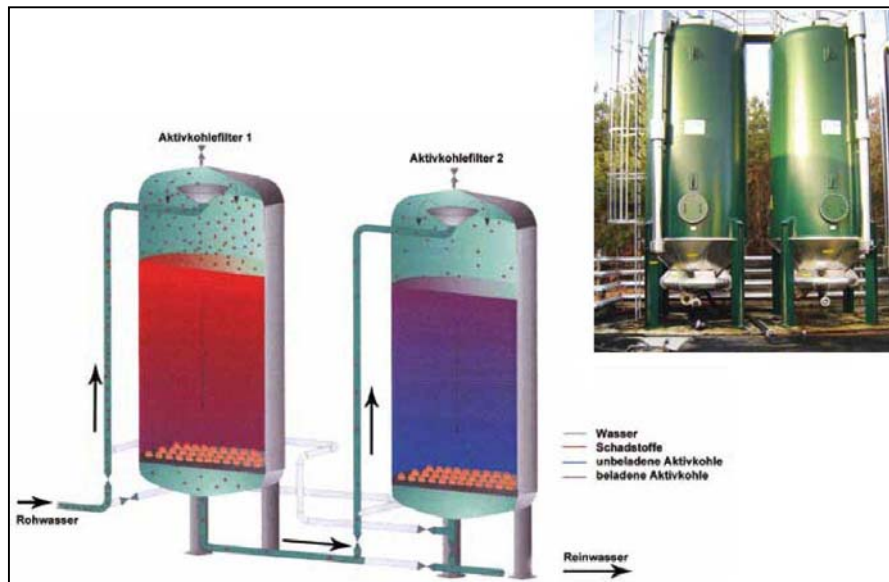


Bild 7: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

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

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

Kennzeichen zum Einsatz granulierte Aktivkohle in Festbettssystemen sind:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

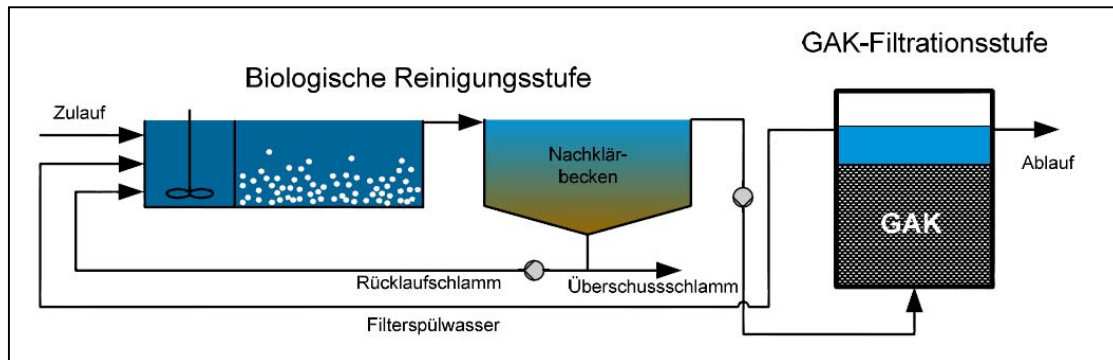


Bild 8: Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration

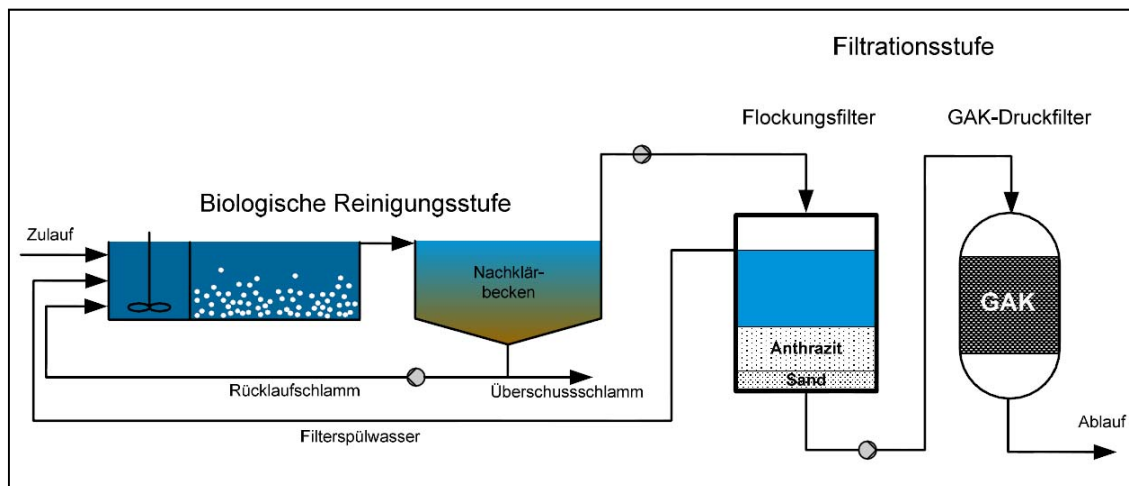


Bild 9: Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration

5.3 Oxidation mit Ozon (O₃)

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

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

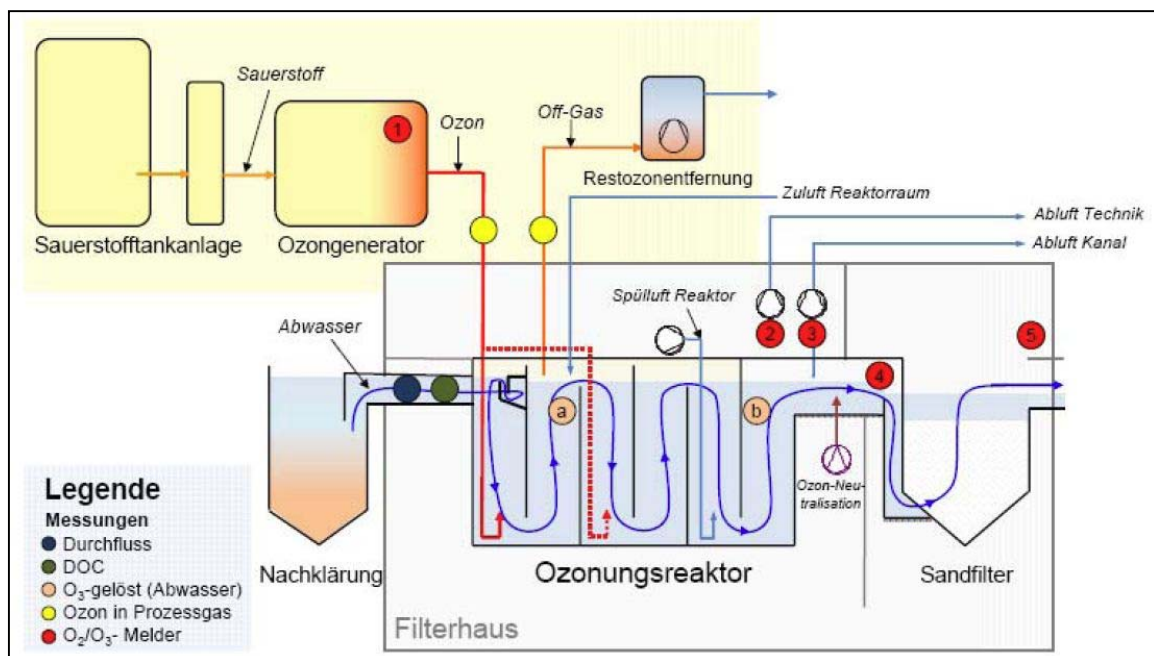


Bild 10: Schematische Darstellung einer Ozonanlage

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.

5.3.1 Bildung von Transformationsprodukten in der Ozonung

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

5.4 Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe

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

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

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

Dyna-Sand® Filter

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

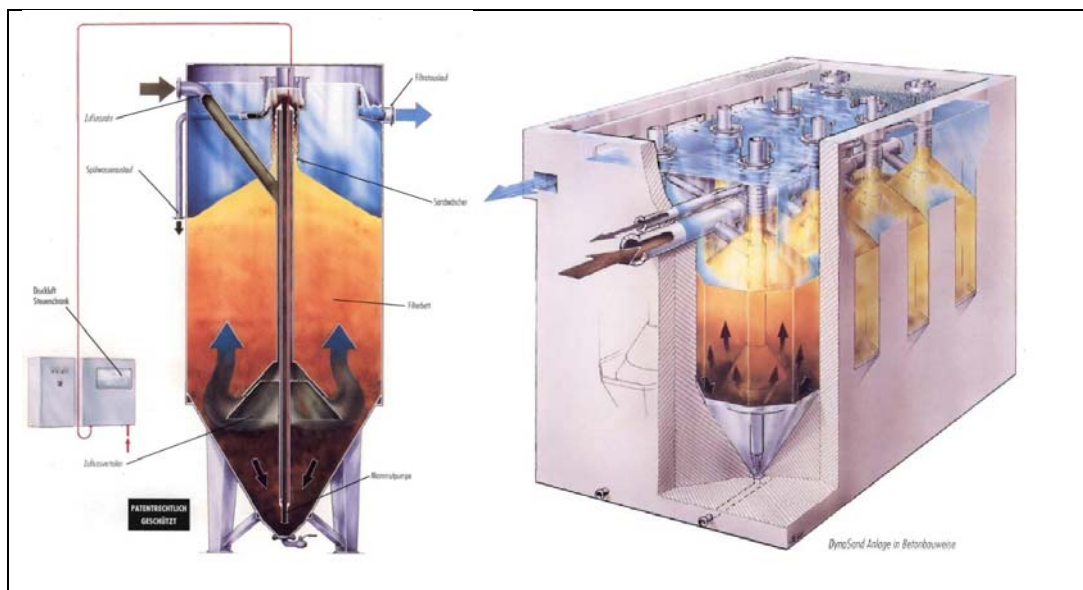


Bild 11: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Polstoff-Scheibentuchfilter

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

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

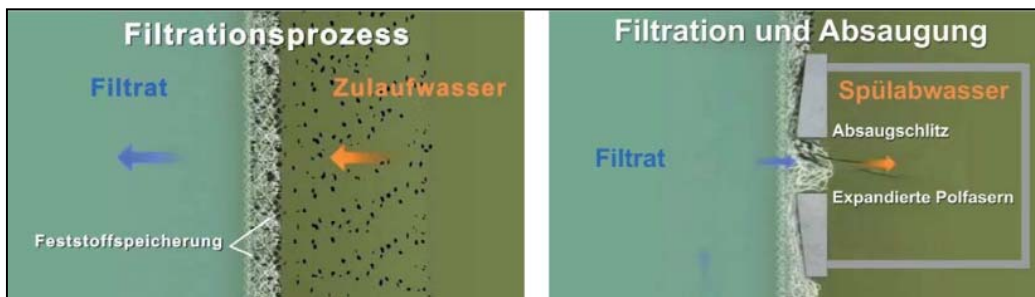
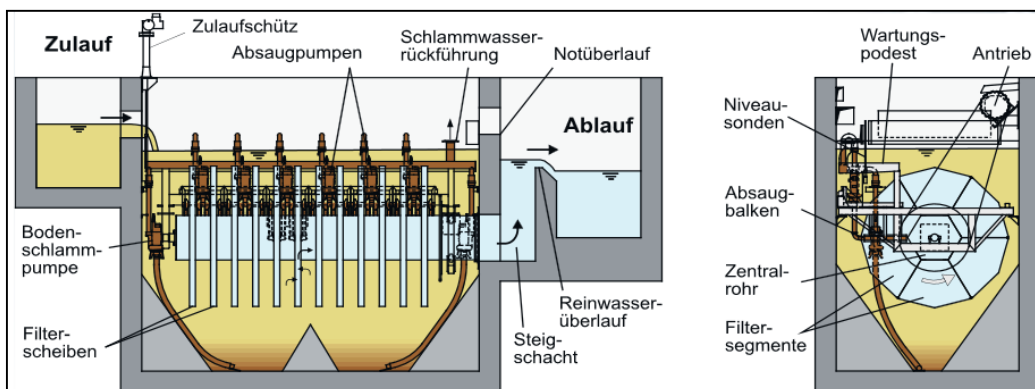


Bild 12: Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

Das Filtertuch ist bei 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).



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

5.5 Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

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

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

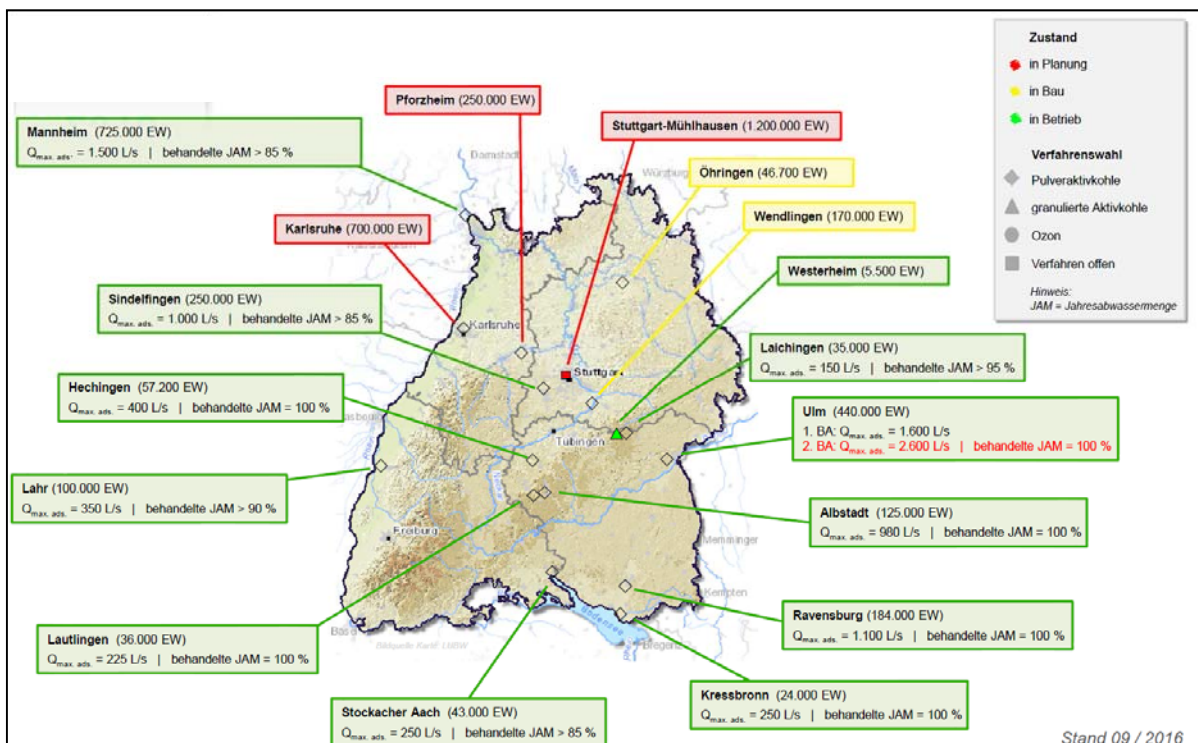


Bild 14: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [KomS, 2016]

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

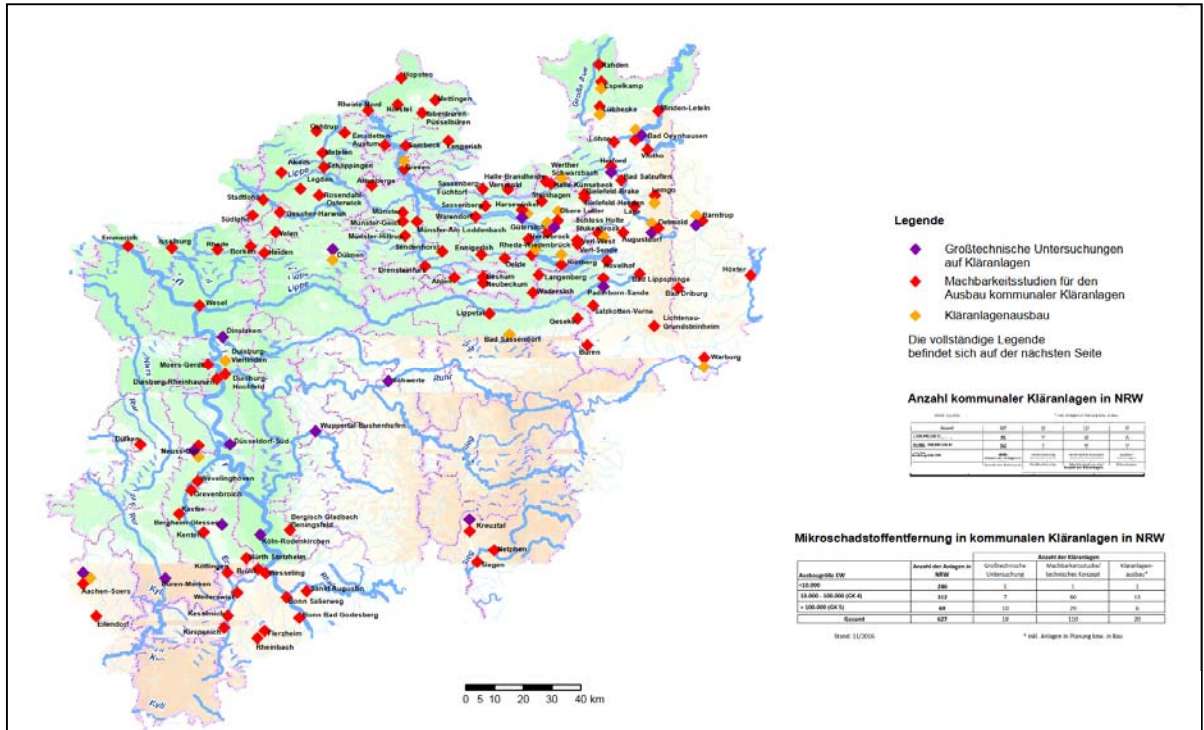


Bild 15: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 11/2016) [KOMS, 2016]


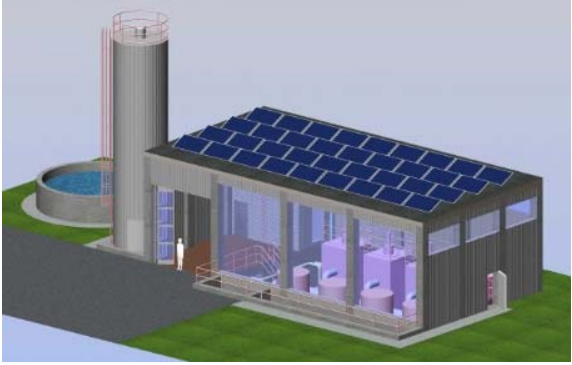
5.5.1 Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination

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

Mikroschadstoffelimination auf Basis von Pulveraktivkohle (PAK)

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



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

Mikroschadstoffelimination auf Basis von granulierter Aktivkohle (GAK)

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Kläranlage Rietberg (Stadt Rietberg)		
		
(Foto: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH)		
Grunddaten	Technik	Kosten
60.000 EW (Ausbau KS) $Q_{TW, max} = 468 \text{ m}^3/\text{h}$ $Q_a = 1,5 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ 2-straßige Auslegung Kontaktzeit: 0,33 – 1h Betrieb seit 2014	Dyna-Sand Carbon Filtration, (Umbau Dyna-Sand Filtration zu Betrieb mit GAK)	ca.0,7 Mio. Euro netto

Mikroschadstoffelimination auf Basis von Ozonierung

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Kläranlage Düsburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Düsburg)



(Foto: Wirtschaftsbetriebe Duisburg)

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

Kläranlage Bad Sassendorf (Lippeverband)



(Foto: Emschergenossenschaft / Lippeverband)

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Kläranlage Schwerte (Ruhrverband)



(Foto: Ruhrverband)

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

5.6 Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination

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

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Auslegungswassermenge:

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

Bei Kläranlagen mit angeschlossenem Kanalnetz im Mischsystem ist einzuhalten:

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

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

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

Bei Kläranlagen mit angeschlossenem Kanalnetz im Trennsystem ist einzuhalten:

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

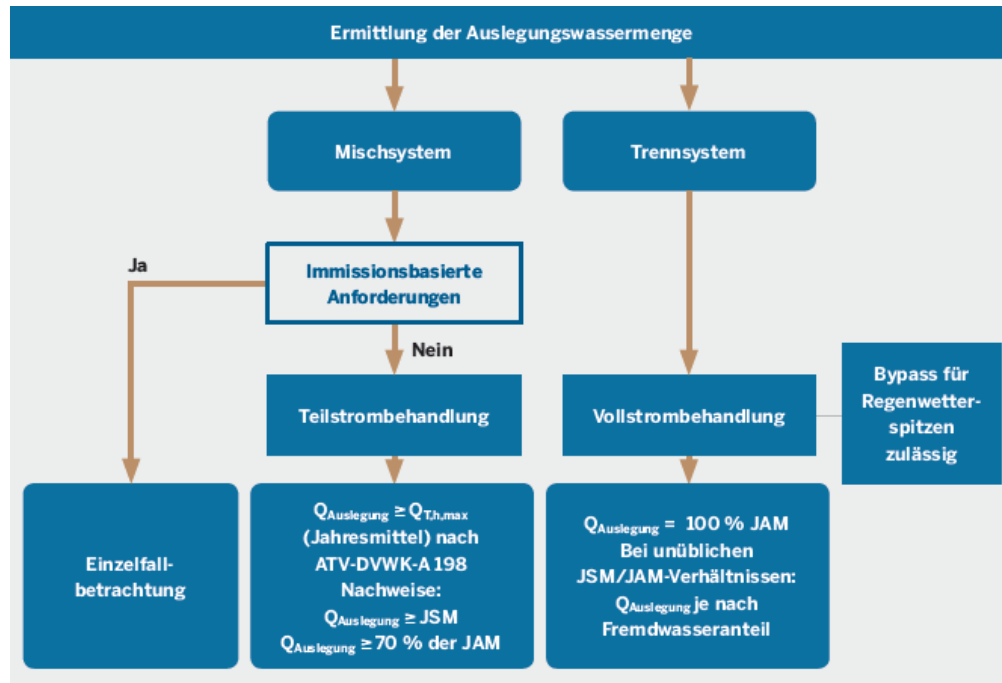


Bild 16: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW, 2016]

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

Standortspezifische Abwassereigenschaften für Verfahrensauswahl:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Kriterien der Verfahrensauswahl:

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

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

Eliminationsziel:

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

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Auslegung Ozonanlage:

Ozonerzeugung

- Maximale Ozonmenge, empfohlene Dosis als Auslegungsgröße in Abhängigkeit von der DOC Konzentration: $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,8 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [Bajenbruch et al., 2014].
Maximale Ozonmenge zur Elimination der meisten Spurenstoffe gemäß schweizerischem Bundesamt für Umwelt $z_{\text{spez}} = 0,7 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ [Abegglen et al., 2012]
Empfohlener Auslegungsbereich: $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$,
im Mittel: $z_{\text{spez}} = 0,75 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$
Die angegebenen Ozonkonzentrationen setzen eine stabile Nitrifikation voraus und geringe Feststoffablaufwerte der Nachklärung.
- Festlegung der applizierten Ozonkonzentration:
 $C_{\text{O}_3} = z_{\text{spez}} \times C_{\text{DOC}}$
- Ermittlung der benötigten Produktionskapazität:
 $B_{\text{O}_3, \text{max}} = Q_{\text{Bem}} \times C_{\text{O}_3}$
Bemessungswassermenge Q_{Bem} entspricht dem Spitzenabfluss bei Trockenwetter ($Q_{\text{T,h,max}}$ oder $Q_{\text{T,2h,max}}$)
- Ozonerzeugung über flüssigen Sauerstoff (LOX), komprimierte Luft, Sauerstoff aus PSA-Anlage. LOX-Anlagen wandeln ca. 10 M.% in O_3 um.

Ozonreaktor

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

Ozoneintrag

- Ozoneintrag über Diffusoren oder Pumpe-Injektorsystem
- Bei Ozoneintrag über Diffusoren ist eine Beckentiefe min. 5 m erforderlich
- Bei Eintrag über Injektorsystem, Eintrag in Abwasserteilstrom, Treibwasserpumpe erforderlich. Wahl Eintragungssystem nach wirtschaftlichen, betrieblichen Faktoren
- Steuerung proportional zur Zulaufmenge. Zusätzlich ggf. SAK-, UV-Vis-Sonden, DOC-Messung, O_3 -Konzentration im Off-Gas oder in der gelösten Phase

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

- O₃ ggf. O₂-Messungen in Betriebsräumen (Arbeitssicherheit)
- Empfohlene Anwendung der zulaufmengenproportionalen Ozondosierung für Kläranlagen unter 100.000 EW und ohne starke Schwankungen des DOC [Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe, 2016]

Nachbehandlung - Ozonungsanlagen

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

Auslegung Pulveraktivkohleanlage (PAK):

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

Auslegung GAK-Filter:

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

6 Kläranlage Langenberg

6.1 Kurzbeschreibung Kanalnetz, Kläranlage

Kanalnetz

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Langenberg umfasst das gesamte Gebiet der Gemeinde Langenberg mit den Ortsteilen Langenberg und Benteler mit einer Fläche von 38,3 km².

Das Kanalnetz der Gemeinde Langenberg entwässert im reinen Trennsystem zur Kläranlage.

Der Bereich nördlich des Forthbachs ist über das Pumpwerk Merschweg, das in die Freigefällekanalisation Hohlweg / Strothgarten fördert an das Zulaufpumpwerk der Kläranlage angeschlossen. Hierüber entwässert auch der von Süden kommende Kanal in der Mühlenstraße. Die Gebiete Benteler und der südliche Bereich von Langenberg werden über Freigefällekanäle entwässert. Das Pumpwerk Benteler fördert zum Pumpwerk Wellstraße, das das Abwasser über eine Druckrohrleitung DN 250 zum Zulaufpumpwerk der Kläranlage fördert. Das Schmutzwasser des nördlichen Bereiches von Langenberg fließt in freiem Gefälle der Kläranlage zu.

Von den ca. 8.200 Einwohnern der Gemeinde Langenberg sind zurzeit ca. 7.600 Einwohner an die Kläranlage angeschlossen. Etwa 600 Einwohner werden über Kleinkläranlagen oder Abwassersammelgruben entsorgt. Dieses entspricht einem Anschlussgrad von rd. 93 %.

Neben der kanalisierten Siedlungsfläche von rd. 654 ha sind derzeit rd. 50 ha an Gewerbe- und Industrieflächen in Langenberg vorhanden, die als Indirekteinleiter zur Kläranlage entwässern. Größter Einzeleinleiter ist die Firma SWL Tischlerplatte Betriebs-GmbH an der Lippstädter Straße, durch deren Produktion leimhaltige Abwässer zur Kläranlage gelangen.

Kläranlage

Die Kläranlage wurde Anfang der 1960er Jahre errichtet, mit Verfahrensstufen zur mechanischen Vorreinigung, zum biologischen Abbau von Kohlenstoff und zur Schlammbehandlung. Sie umfasste damals ein Zulaufpumpwerk, einen unbelüfteten Langsandfang, eine Vorklärung, ein Nachklärbecken, einen Voreindicker, einen Faulturm, Schlamm-trockenbeete sowie ein Betriebsgebäude.

Aus dieser Zeit sind noch folgende Anlagenteile, teilweise umgebaut oder in veränderter Nutzung, vorhanden:

- Zulaufpumpwerk
- Vorklärung, derzeit genutzt als Speicherbecken 1
- Voreindicker
- Faulturm, derzeit genutzt als Schlammbehälter 1
- Betriebsgebäude, derzeit genutzt für die Gebläsestation und die sanitären Einrichtungen
- Nachklärbecken, derzeit genutzt als Speicherbecken 2

6. Kläranlage Langenberg

Die Kläranlage Langenberg wurde Mitte der 1990er Jahre auf 10.000 Einwohnerwerte als einstufige Belebungsanlage mit simultaner aerober Schlammstabilisation zur weiterführenden Stickstoff- und Phosphatelimination ausgebaut.

Ein Luftbild der Kläranlage zeigt Bild 17.



Bild 17: Luftbild Kläranlage Langenberg (Google Earth)

Folgende abwassertechnische Anlagenteile sind derzeit vorhanden:

Zulaufbereich

- Zulaufpumpwerk (Zulauf Siedlung „Hohlweg / Strothgarten / Merschweg“) mit zwei trocken aufgestellten Kreiselpumpen mit je 118 m³/h Förderleistung (1 + 1 Reserve)
- Zulaufbauwerk (Zulauf „Langenberg / Benteler“) mit Wirbeldrossel max. 280 m³/h und Abschlag in die Speicherbecken bei Regenwetter
- Speicherbecken I und II mit 230 m³ und 530 m³ Volumen, Entleerung über das Zulaufpumpwerk

Mechanische Stufe

- Rechenanlage mit 2 mm Spaltweite und Rechengutwaschpresse
- Zulaufmengenmessung mit Venturi-Gerinne
- Belüfteter Sand- und Fettfang, Länge 13 m, mit Sandsilo und Fettpumpwerk

6. Kläranlage Langenberg

Biologische Stufe

- Zwei Belebungsbecken mit $2 \times 1.575 \text{ m}^3 = 3.150 \text{ m}^3$ Gesamtvolumen, intermittierende Denitrifikation über feinblasige Druckbelüftung
- Nachklärbecken mit 27 m Durchmesser und 3 m Beckentiefe, Volumen ca. 1.720 m^3
- Schönungsteich mit ca. 3.500 m^3 Volumen
- Ablaufmengenmessung mit MID und Probenahmestelle
- Rücklaufschlammumpwerk mit einer Tauchmotorpumpe (max. $315 \text{ m}^3/\text{h}$) und einer Schneckenpumpe (max. $216 \text{ m}^3/\text{h}$) als Reserve
- Fällmittelstation zur Simultanfällung in der Belebung, Fällmittel Eisen-III-Chlorid
- Gebläsestation, vier Gebläse mit je $1.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luftleistung, Gesamtluftleistung $3.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (3 + 1 Reserve)

Schlammbehandlung

- Überschussschlammumpwerk mit Tauchmotorpumpe und max. $108 \text{ m}^3/\text{h}$ Förderleistung
- Zwei Schlammbehälter mit 590 m^3 und 670 m^3 Volumen
- Maschinelle Schlamm entwässerung (Zentrifuge) mit einer Durchsatzleistung von $5 \text{ m}^3/\text{h}$ und Nachkalkung
- Schlamm lagerplatz
- Fäkalschlammbehälter

Gebäude

- Betriebsgebäude mit Werkstatt und Labor
- Ehemaliges Betriebsgebäude mit Gebläsestation und sanitären Einrichtungen
- Rechengebäude

Das gereinigte Abwasser wird dem Forthbach zugeleitet.

Ein Lageplan der Kläranlage ist in Bild 18 dargestellt.

Anlagenteile:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Zulaufschacht | 10. Probenentnahmepumpe |
| 2. Zulaufgerinne | 11. Verteilschacht |
| 3. Sand- und Fettfang | 12. Schlammstapelbehälter 2 |
| 4. Fettpumpwerk | 13. Schlammstapelbehälter 1 |
| 5. Fettspeicher | 14. Ablaufbauwerk |
| 6. Verteilerbauwerk mit Gerinne | 15. Fäkalschlammbehälter |
| 7. Rücklauf- und Überschussschlamm pumpwerk | 16. Eindicker |
| 8. Belebungsbecken 1 | 17. Zulaufpumpwerk |
| 9. Belebungsbecken 2 | 18. Speicherbecken I |
| | 19. Speicherbecken II |
| | 20. Nachklärbecken |

6. Kläranlage Langenberg

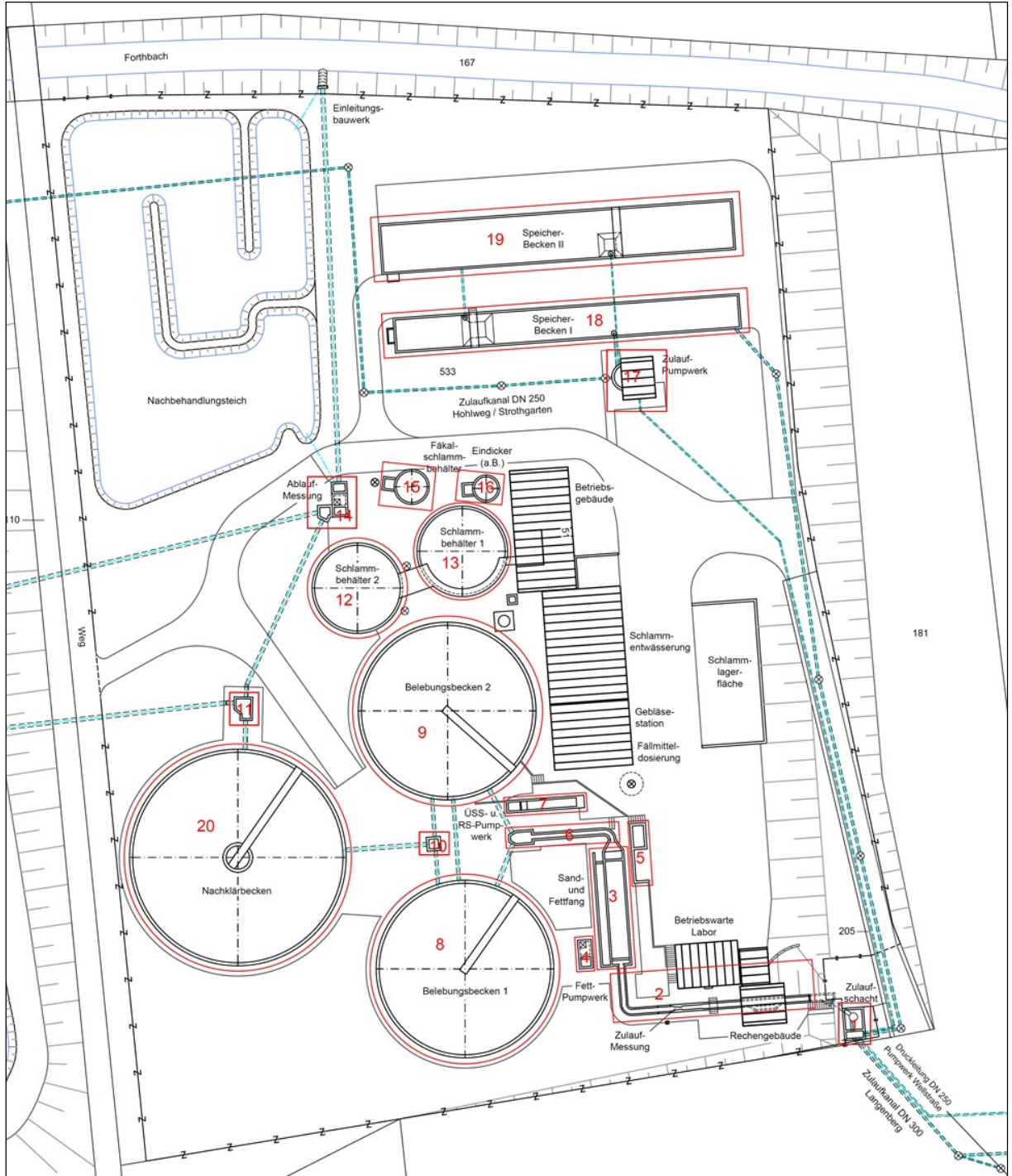


Bild 18: Lageplan Kläranlage Langenberg

6. Kläranlage Langenberg

Nachfolgende Bilder der Kläranlage Langenberg zeigen Anlagenteile (Nachklärung, Schönungs-
teich), die potentielle Erweiterungsfläche zur Errichtung der 4. Reinigungsstufe.



Bild 19: Nachklärbecken



Bild 20: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (nördl. Nachklärbecken (Blick n. Norden))

6. Kläranlage Langenberg



Bild 21: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (nördl. Nachklärbecken, westl. Belebungsbecken (Blick n. Süden)



Bild 22: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (Blick n. Osten)

6. Kläranlage Langenberg



Bild 23: Schönungsteich



Bild 24: Forthbach – stromab der Einleitungsstelle

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Langenberg sowie der derzeitig angeschlossenen Einwohnerwerte werden in Tabelle 3 zusammengefasst (Daten aus Elwas-Web).

6. Kläranlage Langenberg

Tabelle 3: Planungsdaten, Einwohnerwerte Kläranlage Langenberg [Elwas-Web]

KA Langenberg	EW - Planung 1992 / Ist			Quelle / Bemerkung
	10.000 EW	1.900 EGW	8.100 E	
Auslegung KA - Anschlussgröße	10.000 EW	1.900 EGW	8.100 E	Elwas-Web
Auslegung KA - max Trockenwetterzufluss	110 m³/h			Elwas-Web
Auslegung KA - max Regenwetterzufluss	280 m³/h			Elwas-Web
Einwohnerwerte 2012	7.996 EW	450 EGW	7.546 E	Elwas-Web
Einwohnerwerte 2013	9.028 EW	1.467 EGW	7.561 E	Elwas-Web
Einwohnerwerte 2014	9.149 EW	1.512 EGW	7.637 E	Elwas-Web
Einwohnerwerte Mittelw.	8.723 EW			rd. 87 % mittlere Auslastung

Legt man die derzeitige mittlere Auslastung von 8.723 EW zu Grunde, ergibt sich eine Ausbaureserve von rd. 13 %.

Das nachfolgende Bild zeigt beispielhaft den Zufluss der Kläranlage bei Trocken- und Regenwetter (2014). Im Mittel beträgt der Zufluss rd. 1.290 m³/d.

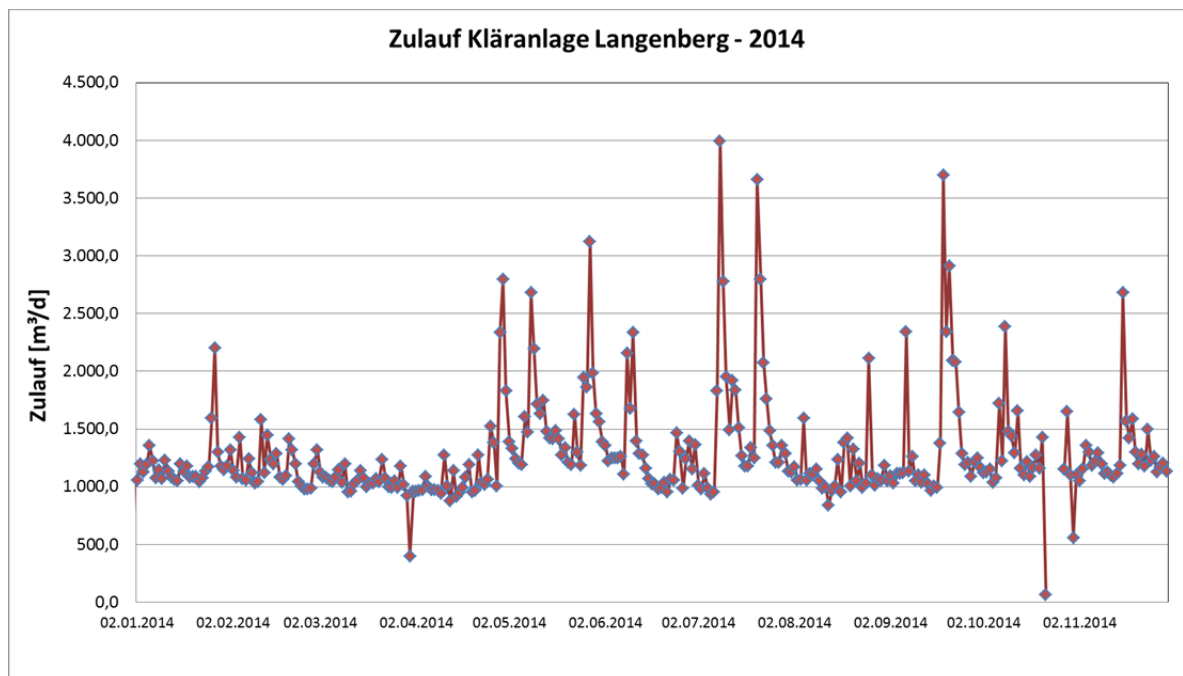


Bild 25: Mittlerer stündlicher Abfluss Kläranlage Langenberg, Regen-, Trockenwetter (1.2014, 11.2014)

6. Kläranlage Langenberg

Die CSB- und PO₄-P-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage zeigen Bild 26 und Bild 27 beispielhaft für den Zeitraum 1.2014 bis 11.2014.

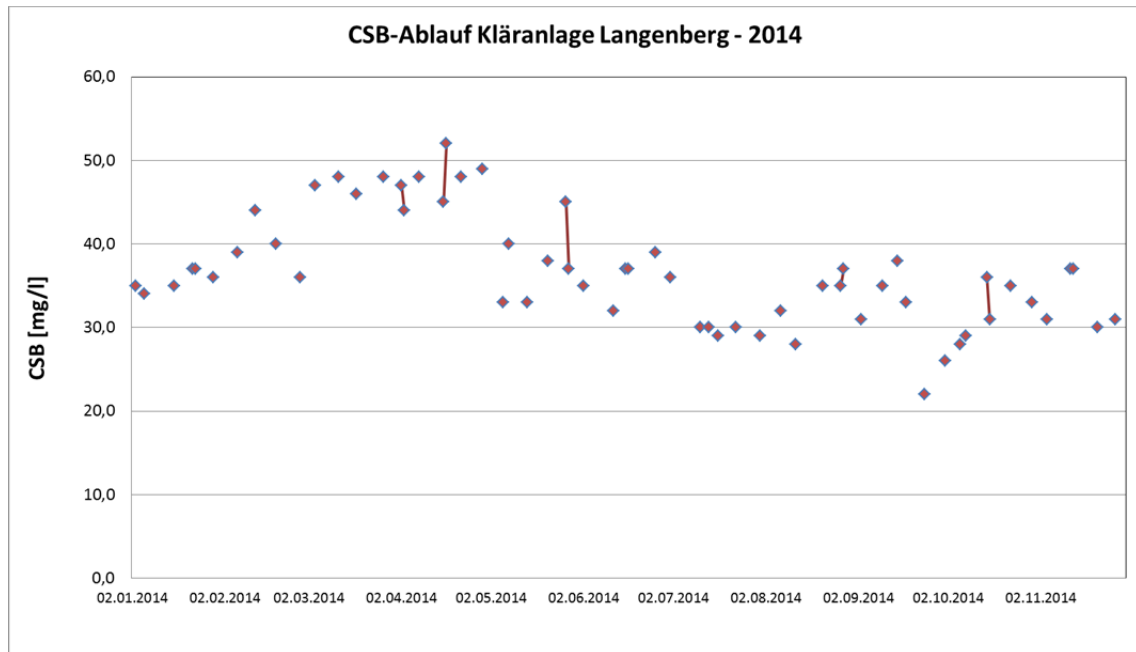


Bild 26: CSB-Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2014 - 11.2014)

Im Mittel beträgt die CSB- Ablaufkonzentration rd. 37 mg/l.

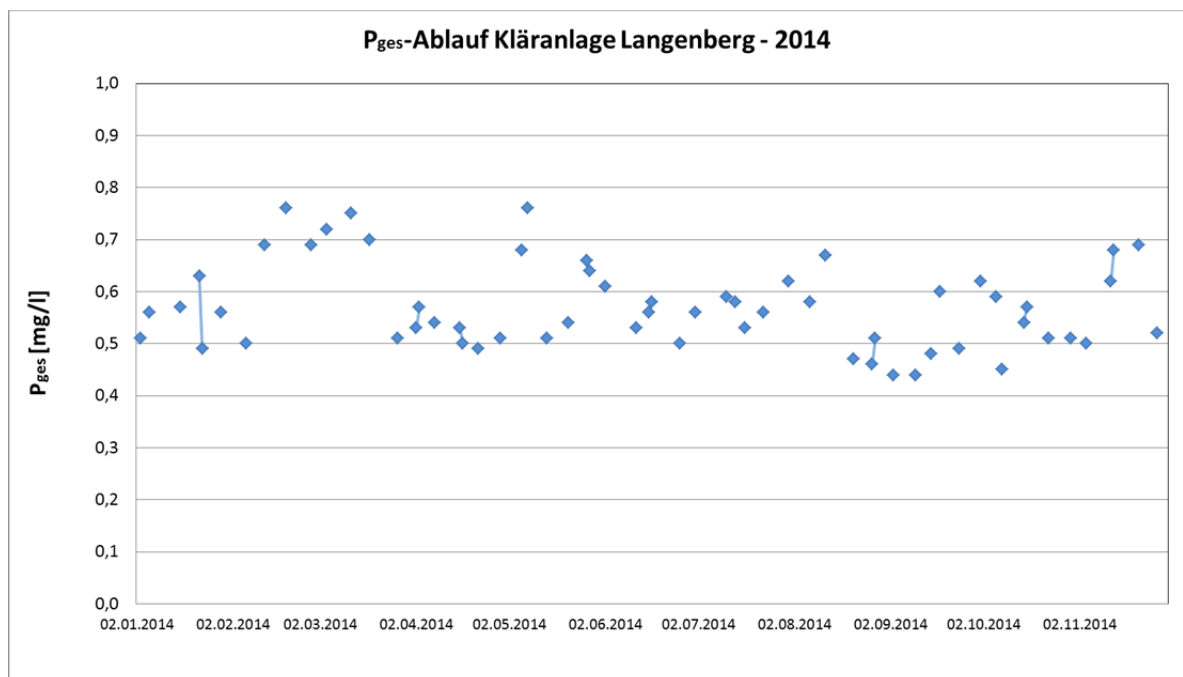


Bild 27: P_{ges}-Konzentration Ablauf Kläranlage (1.2014 – 11.2014)

6. Kläranlage Langenberg

Im Mittel beträgt die P_{ges} - Ablaufkonzentration rd. 0,57 mg/l. Der Überwachungswert für Phosphor (gesamt) beträgt derzeit $P_{ges} = 1,2$ mg/l.

Aktuelle Betriebsdaten zum Abwasseranfall sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Betriebsdaten – Abwasseranfall - Kläranlage Langenberg (2011 – 2015)

Zulauf	Jahr	Abwassermenge				Quelle / Bemerkung
Jahresschmutzwassermenge (JSM)	2011	376.722 m³/a	1.032 m³/d	43 m³/h	12 l/s	Betriebsdaten
	2012	374.534 m³/a	1.026 m³/d	43 m³/h	12 l/s	Betriebsdaten
	2013	363.662 m³/a	996 m³/d	42 m³/h	12 l/s	Betriebsdaten
	2014	374.974 m³/a	1.027 m³/d	43 m³/h	12 l/s	Betriebsdaten
	2015	387.561 m³/a	1.062 m³/d	44 m³/h	12 l/s	Betriebsdaten
	2011-2015	375.491 m³/a	1.029 m³/d	43 m³/h	12 l/s	Mittelwert

Jahresabwassermenge (JAM)	2011	443.108 m³/a	1.214 m³/d	51 m³/h	14 l/s	Betriebsdaten
	2012	443.456 m³/a	1.215 m³/d	51 m³/h	14 l/s	Betriebsdaten
	2013	407.132 m³/a	1.115 m³/d	46 m³/h	13 l/s	Betriebsdaten
	2014	439.908 m³/a	1.205 m³/d	50 m³/h	14 l/s	Betriebsdaten
	2015	445.314 m³/a	1.220 m³/d	51 m³/h	14 l/s	Betriebsdaten
	2011-2015	435.784 m³/a	1.194 m³/d	50 m³/h	14 l/s	Mittelwert

Jahresfrischwassermenge	2011	310.469 m³/a	851 m³/d	35 m³/h	10 l/s	Betriebsdaten
	2012	307.409 m³/a	842 m³/d	35 m³/h	10 l/s	Betriebsdaten
	2013	308.841 m³/a	846 m³/d	35 m³/h	10 l/s	Betriebsdaten
	2014	311.236 m³/a	853 m³/d	36 m³/h	10 l/s	Betriebsdaten
	2015	313.107 m³/a	858 m³/d	36 m³/h	10 l/s	Betriebsdaten
	2011-2015	310.212 m³/a	850 m³/d	35 m³/h	10 l/s	Mittelwert

Fremdwassermenge	2011	66.253 m³/a	182 m³/d	8 m³/h	Fremdw.anteil	17,6%
	2012	67.125 m³/a	184 m³/d	8 m³/h	Fremdw.anteil	17,9%
	2013	54.821 m³/a	150 m³/d	6 m³/h	Fremdw.anteil	15,1%
	2014	63.738 m³/a	175 m³/d	7 m³/h	Fremdw.anteil	17,0%
	2015	74.454 m³/a	204 m³/d	8 m³/h	Fremdw.anteil	19,2%
	2011-2015	65.278 m³/a	179 m³/d	7 m³/h	Fremdw.anteil	17,4%

Auf Basis der mittleren Jahresschmutzwassermenge und der mittleren Jahresfrischwassermenge der Jahre 2011 - 2015 ergibt sich folgende Fremdwassermenge:

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

6. Kläranlage Langenberg

$$Q_{F,a} = 375.491 \text{ m}^3/\text{a} - 310.212 \text{ m}^3/\text{a} = 65.279 \text{ m}^3/\text{a} \text{ bzw. } \mathbf{178,8 \text{ m}^3/\text{d}; 7,45 \text{ m}^3/\text{h}; 2,06 \text{ l/s}}$$

Der mittlere Fremdwasseranteil (FWA) bzw. Fremdwasserzuschlag (FWZ) im Zeitraum 2011 bis 2015 beträgt rd. 17,4% bzw. rd. 21%.

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

Divisor zur Ermittlung des Schmutzwasserabflusses für Kläranlagen 5.000 – 20.000 EW:

$$X_{Q_{\max}}: 12 \text{ h/d}$$

$$\text{Schmutzwassererzufluss } Q_{S,\max}: 850 \text{ m}^3/\text{d} / 12 \text{ h/d} = \mathbf{70,8 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } 71 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Die derzeitige Auslastung beträgt im Mittel (2012 – 2014): 8.723 EW (ELWAS-WEB).

In Bezug auf die Ausbaugröße von 10.000 EW ergibt sich ein möglicher Zuwachs der Jahresfrischwassermenge von rd. 13 % (Verhältnis 8.723 EW zu 10.000 EW).

Die Fremdwassermenge wird als konstant angenommen.

Daraus ergibt sich ein Schmutzwasserbemessungszufluss

$$Q_{S,\max, \text{ Bem.}} \text{ von: } 71 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,13 = 80,23 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{80,5 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Fremdwasserzufluss } Q_F: 179 \text{ m}^3/\text{d} / 24 \text{ h/d} = 7,46 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{7,5 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Maximaler Trockenwetterzufluss:

$$Q_{T,\max}: 80,5 \text{ m}^3/\text{h} + 7,5 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{88 \text{ m}^3/\text{h}, 2112 \text{ m}^3/\text{d} \text{ bzw. } 24,4 \text{ l/s} \text{ rd. } \mathbf{25 \text{ l/s}}$$

$$\text{Mittlerer Trockenwetterzufluss: } Q_{T,\text{mittel}}: \mathbf{1.029 \text{ m}^3/\text{d}, 42,9 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } \text{rd. } \mathbf{12 \text{ l/s}}$$

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

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } Q_{F,aM} + Q_{S,d,aM} \times 20\% = 7,5 \text{ m}^3/\text{h} + (35 \text{ m}^3/\text{h} \times 20\%)$$

$$\text{Minimaler Trockenwetterzufluss: } 14,5 \text{ m}^3/\text{h} \text{ rd. } \mathbf{15 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. rd. } \mathbf{4 \text{ l/s}}$$

Die Auslegung von Anlagenteilen für den Mischwasserzufluss bei Regenwetter wird auf die Auslegungswassermenge von 280 m³/h bzw. 78 l/s festgelegt.

6. Kläranlage Langenberg

Tabelle 5: Auslegung – Spurenstoffelimination

KA Langenberg	Bemessung Spurenstoffelimination			Bemerkung
Trockenwetterzufluss (mittel), $Q_{T,mittel}$	1.029 m ³ /d	43 m ³ /h	12 l/s	JSM 2011-2015
Trockenwetterzufluss (max.) $Q_{T,max}$		88 m³/h	24 l/s	Steigerung $Q_{T,max}$ in Summe: 10%
Trockenwetterzufluss (min.) $Q_{T,min}$		15 m ³ /h	4 l/s	
Regenwetterzufluss (max.)		280 m³/h	78 l/s	KA-Bem. (Elwas-Web)
Fremdwasserzufluss	179 m ³ /d	7 m ³ /h	2 l/s	konstanter FW-Anteil rd. 17,4%
Frischwasser/Schmutzwasser	850 m ³ /d	35 m ³ /h	10 l/s	

Sonstige Angaben:

Klärschlammanfall:

Annahme mittlerer Schlammanfall 1.136 t/a (Mittel: 2013 - 2015).

6. Kläranlage Langenberg

6.2 Weitergehende Abwasseruntersuchungen

Die Kläranlage Langenberg weist einen relativ hohen CSB im Ablauf von teilweise über 50 mg/l auf. Als Ursache werden u.a. Einleitungen eines gewerblich, industriellen Betriebes aus der Holzverarbeitungsbranche vermutet, der leimhaltiges Abwasser einleitet.

Zahn-Wellens-Test

In Batchversuchen ist die Abbaubarkeit dieses organischen Abwassers in herkömmlichen biologischen Kläranlagen untersucht worden. Hierzu wurden Zahn-Wellens-Tests nach DIN EN 9888 über 48 Stunden, mit einer Probe des unverdünnten Leimabwassers und des Zulaufes der Kläranlage durch das Labor OWL Umweltanalytik, Leopoldshöhe, durchgeführt.

Die Abwasserprobe wird hierzu als einzige Kohlenstoffquelle zusammen mit Belebtschlamm (0,2 – 1,0 g/L) einer kommunalen Kläranlage über mehrere Tage inkubiert. Der Abbau wird durch die Bestimmung des DOC oder CSB verfolgt. Der Abbaugrad bzw. die Elimination ergibt sich als prozentuale Verminderung des DOC- oder des CSB-Wertes im Testansatz.

Es zeigt sich eine biologische Abbaubarkeit des Leimabwassers von rd. 50%. Der übliche CSB-Abbaugrad von Kläranlagen liegt über 90%. Ein hoher Anteil des Leimabwassers besteht aus nicht oder nur schwer abbaubarer Kohlenstoffverbindungen, der zu einer Erhöhung des CSB-Ablaufes der Kläranlage beiträgt.

Der gelöste CSB im Zulauf der Kläranlage wies eine Abbaubarkeit von nur 40% auf.

Es zeigt sich, dass in der Stichprobe ein erhöhter Anteil inerter Kohlenstoffverbindungen vorhanden war. Für eine weitere Verifizierung und Quantifizierung sind ergänzende Untersuchungen vorzunehmen.

Zur Abschätzung einer möglichen Reduzierung der CSB-Ablaufkonzentrationen durch eine adsorptive Reinigungsstufe auf Basis von Pulveraktivkohle oder granulierter Aktivkohle, wurden Adsorptionstests vorgenommen.

6. Kläranlage Langenberg

Becherglasversuche - Adsorptionsisotherme

Der angewandte Versuchsaufbau zur Durchführung des Becherglasversuchs zur Aufnahme von Adsorptionsisothermen für die Elimination des CSB war angelehnt an das DVGW-Merkblatt W 239 (2011). Für die Versuche wurde die Pulveraktivkohle Carbopal AP der Fa. Donau Carbon GmbH, Frankfurt, verwendet. Die Versuche wurden im Labor für Siedlungswasserwirtschaft, des Fachbereiches Bauingenieurwesen, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Frau Prof. Dr.-Ing. Austermann-Haun, vorgenommen.

Zu Versuchsbeginn wurden in jedem Reaktionsgefäß 100 ml des zu untersuchenden Abwassers vorgelegt und PAK zugegeben. Die Reaktionsgefäße wurden für die Versuchsdauer von 48 h bei ca. 20 °C und 150 UpM auf einem Schüttelapparat platziert und lichtdicht abgedeckt.

Die Dauer des Versuches wurde auf 48 h begrenzt, da das Einstellen des Adsorptionsgleichgewichtes innerhalb dieser Zeitspanne erwartet werden konnte. Nach Beendigung der Versuchsdurchführung wurde die Flüssigphase vom Aktivkohleanteil durch Filtration mit Membranfilter getrennt und analysiert.

Um die gewünschten Adsorptionsisothermen des Becherglasversuchs zu erhalten, wurde die Restkonzentration c gegen die Beladung q aufgetragen. Die Beladung q wurde dabei in mg Adsorptiv pro g Aktivkohle ermittelt.

Für den Versuch wurden insgesamt sieben Ansätze mit unterschiedlichen Aktivkohleeinwaagen und einem Blindwert mit einer Abwasserzugabe von jeweils 100 ml erstellt.

Der verwendete Kläranlagenablauf (Ablauf Nachklärung) hatte einen C_{CSB} von 54,1 mg/l und einen S_{CSB} von 50,1 mg/l. Das S_{CSB}/C_{CSB} -Verhältnis betrug 0,93. Der CSB lag demnach zum größten Teil in gelöster Form vor.

In Tabelle 6 werden die Ergebnisse der Becherglasversuche, die Verminderung des gelösten CSB durch Adsorption und die entsprechende Beladung der Aktivkohle q dargestellt.

6. Kläranlage Langenberg

Tabelle 6: Becherglasversuche – Verminderung der S_{CSB} -Konzentration durch Adsorption an Pulveraktivkohle

Ansatz Nr.	Abwassermenge	PAK-Konz.	S_{CSB} zu Versuchsende	Beladung q
	ml	mg/l	mg/l	mg/g
1	100	0	49	-
2	100	5	43,9	1.020
3	100	10	42,7	630
4	100	15	43,4	373
5	100	20	39,9	455
6	100	25	39,6	376
7	100	30	36,6	413
8	100	40	35,1	348

Die Adsorptionsisotherme für den CSB zeigt Bild 28 (Darstellung in doppelt-logarithmischem Maßstab).

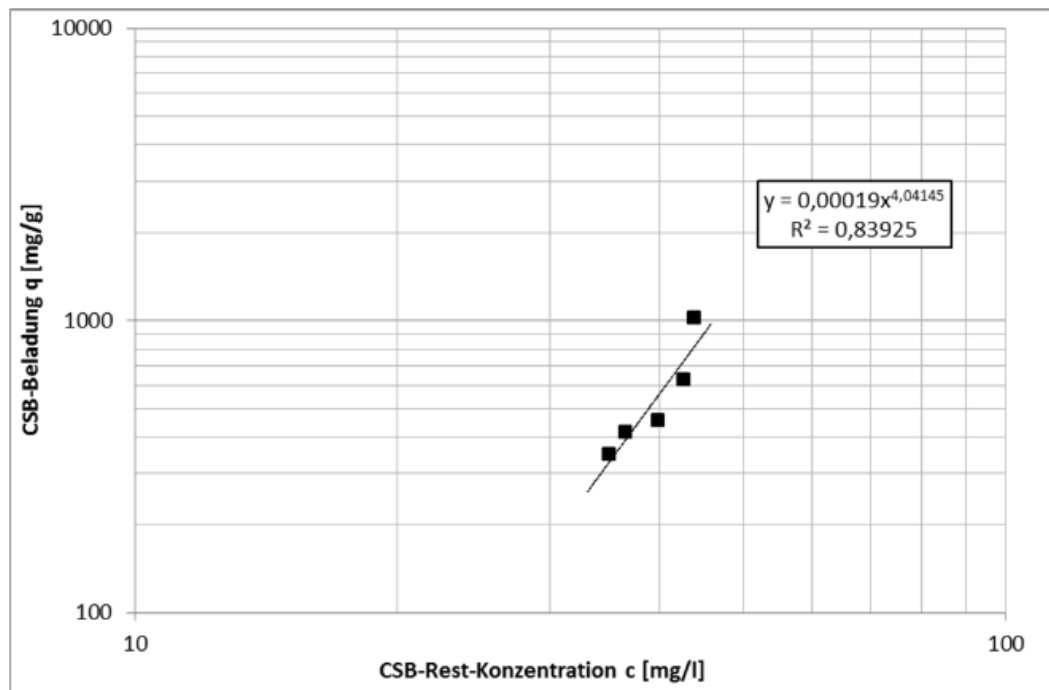


Bild 28: Adsorptionsisotherme – Zulaufprobe Kläranlage, PAK-Zugabe

6. Kläranlage Langenberg

Die erhaltene Isotherme wurde nach der Isothermengleichung nach Freundlich ausgewertet. Für das verwendete Abwasser liegt demnach die mögliche CSB-Beladung bei ca. 1.485 mg/g.

Trotz der vergleichsweise guten theoretischen CSB-Beladung deutet der Verlauf der Adsorptionsisothermen auf einen schlecht oder nicht adsorbierbaren CSB-Anteil hin. Bei diesen schlecht oder nicht adsorbierbaren Abwasserinhaltsstoffen könnte es sich zum Beispiel um unpolare Stoffe handeln, die von Aktivkohlen nur schlecht oder gar nicht adsorbiert werden. Dies lässt den Schluss zu, dass eine weitere Reduktion des CSB nur mit einem verhältnismäßig höheren Aktivkohleeinsatz möglich ist (> 40 mg/l). Die typische PAK-Zugabe für die Elimination von Mikroschadstoffen liegt im Normalfall bei 10-20 mg/l.

Im Ergebnis wird von einer adsorptiven Behandlung mit dem Ziel einer Reduzierung des CSB im Ablauf der KA Langenberg abgeraten und alternativ die Erprobung einer nassoxidativen Behandlung des Ablaufes empfohlen.

Der Bericht zu den Untersuchungen ist der Anlage beigelegt.

6. Kläranlage Langenberg

6.3 Situation Gewässersystem Ems (Forthbach), Trinkwassergewinnung

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Forthbach, der in den Beckumer Bergen östlich des Mackenbergs entsteht, über Sünninghausen und Oelde nördlich an Langenberg vorbeiführt und nördlich des Rietberger Stadtteils Bokel in den in diesem Abschnitt als Bokel-Mastholter-Hauptkanal bezeichneten Grubebach eingemündet. Der Grubebach mündet in die Ems. Das Gewässersystem zeigt Bild 29.

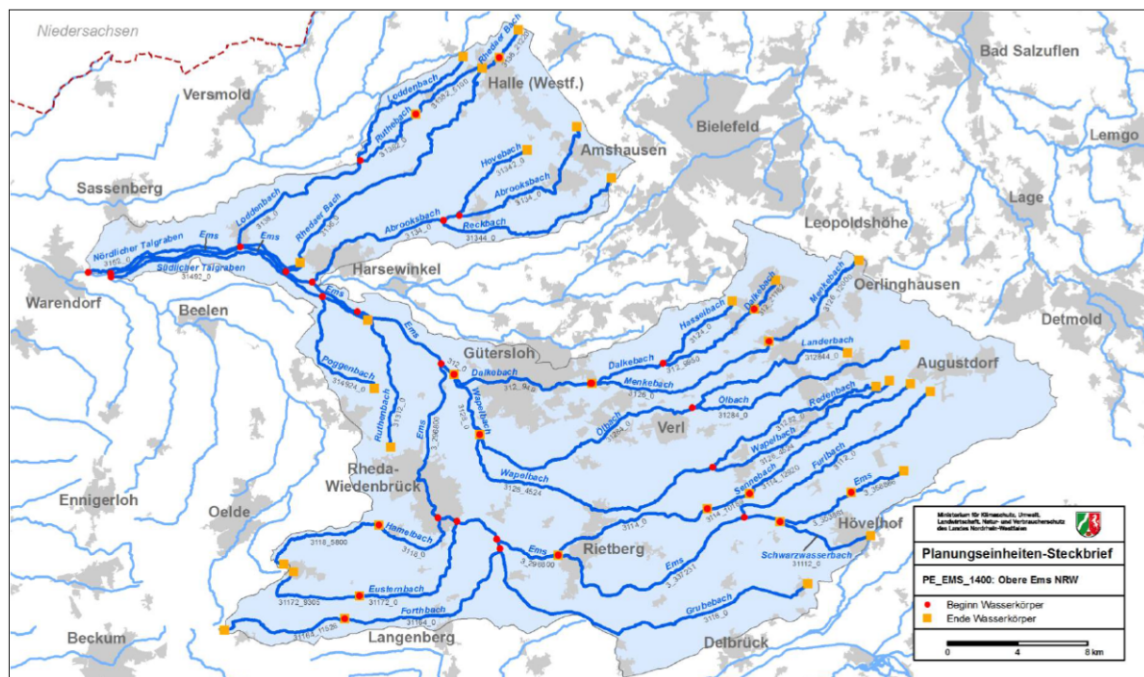


Bild 29: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_EMS_1400 [MKULNV NRW, 2015]

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold am Forthbach (GEWKZ 31164) ergaben ein MNQ von 0,033 m³/s (2012). Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von 1.029 m³/d bzw. 0,012 m³/s (2011-2015) ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von 1 zu 2,7 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 36 %.

Der Abwasseranteil am MQ von 0,262 m³/s beträgt ca. 5 %.

Ein Abwasseranteil von 36% führt überschlägig zu Einzelstoffkonzentrationen von 0,36 µg/l bei NMQ-Abfluss im Gewässer, wenn das Abwasser an der Einleitungsstelle einen Einzelkonzentrationswert von 1 µg/l aufweist.

6. Kläranlage Langenberg

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

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

Ein weiterer Faktor ist der ökologische Gewässerzustand. Den aktuellen ökologischen Gewässerzustand des Forthbaches zeigt die tabellarische Zusammenstellung in Bild 30 [MKULNV NRW, 2015].

Forthbach:

Der ökologische Zustand des Forthbaches wird im 3. Monitoringzyklus im Bereich nördlich von Langenberg bis zur Mündung nördlich Bokel als „schlecht“ bewertet. Die Saprobie und das Phytobenthos (Diatomeen) sowie Makrophyten zeigen einen „mäßigen“ Gewässerzustand. Die allgemeine Degradation für Makrozoobenthos wird insgesamt als „schlecht“ eingestuft, ebenso wie das ökologische Potential.

Der chemische Zustand wird im Forthbach als „nicht gut“ eingestuft. Es wurde unter den allgemeinen chemischen und physikalischen Parametern (ACP) für Kohlenstoff, gesamt (TOC) und Gesamtphosphat-Phosphor Stoffkonzentrationen festgestellt die Grenz- und Orientierungswerte überschritten.

Unter den nicht gesetzlich verbindlich geregelten Metallen wurden erhöhte Werte von Molybdän festgestellt. Eine Erklärung zur Ursache bzw. Herkunft der erhöht festgestellten Metallkonzentration fehlt. Zudem wurde das Pflanzenschutzmittel Isoproturon festgestellt.

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

6. Kläranlage Langenberg


Planungseinheit	PE_EMS_1400		Planungseinheit	PE_EMS_1400
Wasserkörper-ID	31164_0[*]		Wasserkörper-ID	31164_0[*]
Gewässername	Forthbach		Gewässername	Forthbach
Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung nördl. Bokel bis Kreisgrenze westl. Langenberg		Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung nördl. Bokel bis Kreisgrenze westl. Langenberg
LAWA-Fließgewässertyp	14		ACP Gesamt (OW)	Gesamtphosphat-Phosphor; Organischer Kohlenstoff,gesamt (TOC); Sauerstoff; <i>pH-Wert</i> ; <i>Wassertemperatur</i>
Trinkwassergewinnung	nein		Stoffgruppen des ökologisch	
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB		Metalle (Anl. 5 OGewV)	
HMWB-Fallgruppe	LuH-TLB		PBSM (Anl. 5 OGewV)	
Monitoringzyklus	2	3	Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)	
Ökologischer Zustand	unbefr.	schlecht	Gesetzlich nicht verbindlich	
MZB Saprobie	mäßig	mäßig	Metalle n. ges. verb. (OW)	Molybdän
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	schlecht	PBSM n. ges. verb. (OW)	Metolachlor-SA
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.	Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	
MZB Gesamt	unbefr.	schlecht	Stoffgruppen des chemische	
Fische	unbefr.	unbefr.	Metalle (Anl. 7 OGewV)¹	
Makrophyten (PHYLIB)	mäßig	mäßig	PBSM (Anl. 7 OGewV)	Isoproturon
Makrophyten (NRW)	unbefr.	mäßig	Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)	
Phytobenthos (Diatomeen)	mäßig	mäßig		
Phytobenthos o. Diatomeen	gut	mäßig		
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.		
Ökologisches Potenzial	unbefr.	schlecht		
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	schlecht		
MZB Gesamt	unbefr.	schlecht		
Fische	unbefr.	unbefr.		
Metalle (Anl. 5 OGewV)	gut	gut		
PBSM (Anl. 5 OGewV)	gut	gut		
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)				
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.	nicht eing.		
Gewässerstruktur				
Metalle n. ges. verb. (OW)	eing. gut	nicht eing.		
PBSM n. ges. verb. (OW)	eing. gut	nicht eing.		
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	eing. s. gut	eing. gut		
Chemischer Zustand¹	nicht gut	nicht gut		
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut	nicht gut		
Metalle (Anl. 7 OGewV)²		gut		
PBSM (Anl. 7 OGewV)	gut	nicht gut		
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)				
Nitrat (Anl. 7 OGewV)	gut			

Bild 30: Gewässerzustand Forthbach (Wasserkörpertabelle) [MKULNV NRW, 2015]

6. Kläranlage Langenberg

Neben einer hohen Abwasser-Gewässerabflussrelation und dem Gewässerzustand, ist die Nutzung von Gewässern zur Trinkwassergewinnung (Uferfiltration) ein möglicher Faktor der vom Gesetzgeber zur Verpflichtung für eine Errichtung von Reinigungsstufen zur Spurenstoffelimination herangezogen werden kann.

Der Forthbach mündet über Nebengewässer in die Ems. Die Ems wird zur Trinkwassergewinnung nach Entnahme über eine 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 ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage (Ablauf Nachklärung) und im Gewässer vorgenommen.

Untersucht wurden 24 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe (siehe Anhang). Unter anderem wurde analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a..

Es wurde im Zeitraum 03.05.2016 bis 06.05.2016 und 09.05.2017 bis 12.05.2017 jeweils eine 72h-Mischprobe im Ablauf der Kläranlage zeitproportional entnommen (Ablauf Nachklärung, Ablauf Teich). Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vor den Probenahmen trat kein Niederschlag auf.

Zur Abschätzung der bestehenden Spurenstoffbelastung im Gewässer wurde am 04.05.2016 und am 09.05.2017 jeweils eine qualifizierte Stichprobe oberhalb und unterhalb der Einleitungsstelle im Forthbach entnommen und analysiert.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle 7 zeigt die festgestellte Konzentration der Spurenstoffe sowie Prozentangaben zum Auftreten der Stoffe im Unterlauf der Einleitungsstelle im Verhältnis zu den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage.

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

7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 7: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Langenberg (03.05.2016 – 06.05.2016; 09.05.2017 – 12.05.2017) und im Gewässer (04.05.2016, 09.05.2017)

Spurenstoffe:			Spurenstoff-Messwerte			Spurenstoff-Messwerte				D4-Liste OW / PV	OGewV UQN
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA	Unterlauf Ein.stelle	Diff. UL/ Ablauf KA	Ablauf KA	Oberlauf Ein.stelle	Unterlauf Ein.stelle	Diff. UL/ Ablauf KA	LAWA/PNEC, UFO Plan, EU Draft u.a.	Jahresmittel J-MW/Max.
			03.05. - 06.05.2016			09.05. - 12.05.2017					
Antiepileptikum	Carbamazepin	µ g/l	2,20	0,23	10%	1,00	< 0,03	0,16	16%	0,5 J-MW	
Antibiotika	Clarithromycin	µ g/l	0,16	< 0,05	k.A.	0,21	< 0,03	< 0,03	k.A.	0,02 J-MW	
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,34	0,39	115%	0,42	< 0,03	0,05	11%	0,15 J-MW	
Schmerzmittel	Diclofenac	µ g/l	0,88	0,33	38%	3,90	< 0,01	0,50	13%	0,1 J-MW	
	Naproxen	µ g/l	0,16	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
	Phenazon	µ g/l	2,50	0,12	k.A.					1,1 J-MW	
Betablocker	Metoprolol	µ g/l	5,60	0,99	18%	4,40	< 0,03	0,73	17%	7,3 J-MW	
	Sotalol	µ g/l	0,79	0,190	24%	0,38	< 0,03	0,04	9%	0,1 J-MW	
	Atenolol	µ g/l	0,33	0,140	42%					0,1 J-MW	
	Bisoprolol	µ g/l	0,51	0,18	35%					0,1 J-MW	
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	µ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
	Iomeprol	µ g/l	0,11	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
	Iopamidol	µ g/l	0,17	< 0,05	10%					0,1 J-MW	
	Iopromid	µ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
Psychopharmaka	Oxacepam	µ g/l	0,10	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
Lipidsenker	Bezafibrat	µ g/l	0,06	< 0,05	k.A.					0,1 J-MW	
Komplexbildner (Geschirrspülmittel)	Benzotriazol	µ g/l	6,60	1,60	10%	6,50	0,08	1,00	15%	10 J-MW	
Hormon	17-alpha Ethinylestradiol	µ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.					0,000035 (Ethinylestradiol)	
	17-beta-Estradiol	µ g/l	< 0,001	< 0,001	k.A.					0,0004 (für Estron)	
	Estron	µ g/l	< 0,005	< 0,001	k.A.					0,065 J-MW	0,065 J-MW 0,34 Max.
Herbizid	Terbytryn	µ g/l	0,067	< 0,05	k.A.	0,023	0,02	0,02	k.A.	0,3 J-MW	0,3 J-MW 1,0 Max.
	Isoproturon	µ g/l	0,077	0,51	662%	0,44	0,03	0,06	13%	0,2 J-MW	0,2 J-MW 1,8 Max.
	Diuron	µ g/l	< 0,05	< 0,05	k.A.					0,2 J-MW	
	Bromid	µ g/l	0,06		k.A.					k.A.	

J-MW = Jahresmittelwert

Für das Antiepileptikum Carbamazepin, die Antibiotika Clarithromycin und Sulfamethoxazol, die Schmerzmittel Diclofenac, Naproxen und Phenazon, die Betablocker Sotalol, Atenolol und Bisoprolol, die Röntgenkontrastmittel Iomeprol und Iopamidol sowie das Psychopharmaka Oxacepam und das Herbizid Terbytryn fanden sich im Ablauf der Kläranlage Langenberg Konzentrationen oberhalb der Orientierungswerte (J-MW) gemäß D4-Liste.

Deutliche Überschreitungen der Orientierungswerte von 0,1 µg/l fanden sich für Diclofenac (3,9 µg/l).

Für Terbytryn und Isoproturon zeigten sich Überschreitungen der Umweltqualitätsnormen der OGewV.

Oberhalb der Einleitungsstelle waren keine Spurenstoffe mit Konzentrationen über dem Orientierungswert nachweisbar.

7. Screening zu Spurenstoffen

Unterhalb der Einleitungsstelle fanden insbesondere im Zeitraum 03.05.2016 – 06.05.2016 Konzentrationen im Bereich von 24 % bis 42% der Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Langenberg und sogar deutlich höhere Werte für Sulfamethoxazol (115%) und Isoproturon (662%). Höhere Konzentrationen im Gewässer im Verhältnis zur Kläranlage sind mit der abweichenden Probenahme (Stichprobe) zu erklären bzw. Ausreißer. Im Zeitraum 09.05.2017 – 12.05.2017 betrug das Verhältnis von Ablaufkonzentrationen zu den im Gewässer gefundenen Spurenstoffkonzentrationen 9% bis 17%.

In Bild 31 werden die wesentlichen im Ablauf der Kläranlage festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt.

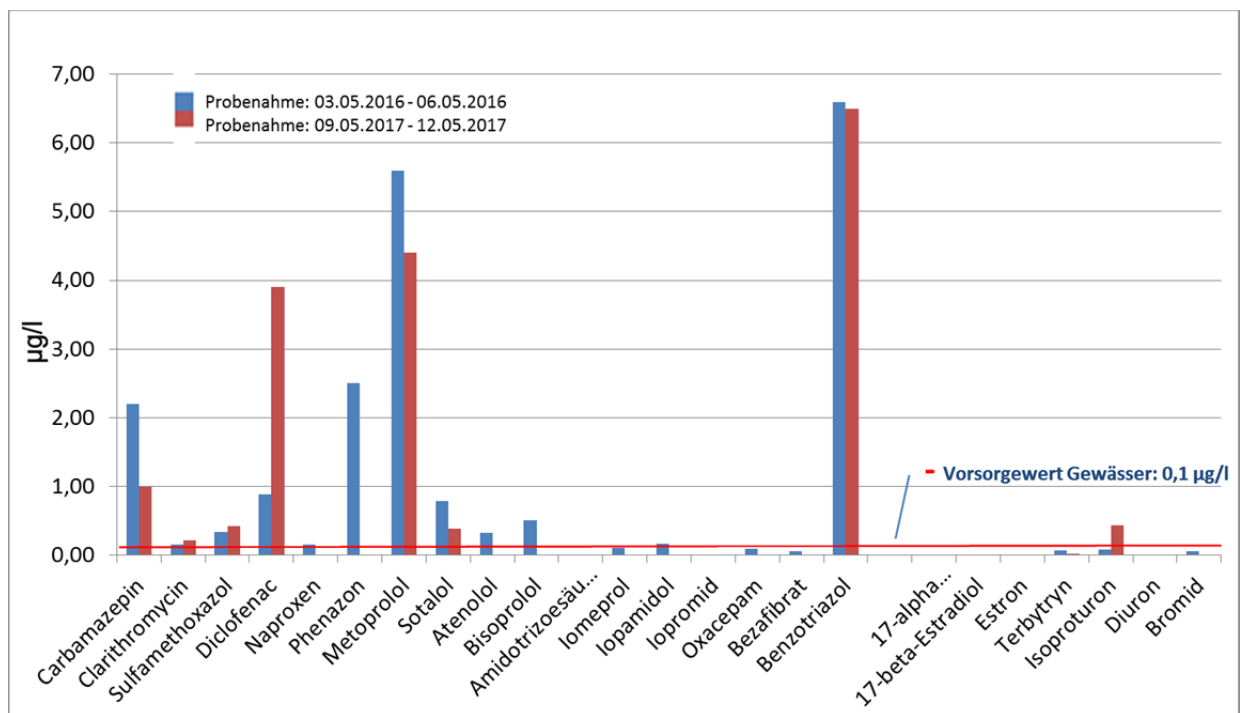


Bild 31: Spurenstoff-Screening - Nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage Langenberg (03.05.2016 – 06.05.2016; 09.05.2017 – 12.05.2017)

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

7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 8: Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen

Spurenstoffe:			Kläranlage Langenberg	Kläranlage Verl-West	Kläranlage Verl Sende	Kläranlage Geseke	Kläranlage Rietberg	KA Neuss / KA Sassendorf
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA	Ablauf KA
Antiepileptikum	Carbamazepin	µ g/l	2,20	0,93	1,30	0,58	1,1 - 2,8	1,4 / 1,3
Antibiotika	Clarithromycin	µ g/l	0,16	0,30	0,56	0,13	< 0,5 - 0,19	0,7 / 0,71
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,34	0,19	0,33	0,56	0,5 - 1,1	0,7 / 0,71
Schmerzmittel	Diclofenac	µ g/l	0,88	3,40	4,40	2,80	1,8 - 3,7	1,1 / 4,9
	Naproxen	µ g/l	0,16	0,27	0,17	k.A.	0,06 - 0,19	k.A.
	Phenazon	µ g/l	2,50	0,09	0,09	k.A.	< 0,05 - 0,09	k.A.
Betablocker	Metoprolol	µ g/l	5,60	3,70	3,70	2,10	1,6 - 3,5	k.A.
	Sotalol	µ g/l	0,79	0,47	0,32	0,94	0,56 - 0,75	k.A.
	Atenolol	µ g/l	0,33	0,13	0,38	k.A.	0,13 - 0,27	k.A.
	Bisoprolol	µ g/l	0,51	0,41	0,54	0,17	k.A.	k.A.
Röntgenkontrast	Amidotrizoesäure	µ g/l	< 0,05	< 0,05	3,40	7,10	< 0,05 - 2,9	10,4 / 0,45
	Iopamidol	µ g/l	0,17	< 0,05	< 0,1	0,18	< 0,05 - 2,8	1,3 / 1,5
	Iopromid	µ g/l	< 0,05	< 0,1	< 0,1	k.A.	< 0,05 - 0,77	k.A.
Psychopharmaka	Oxacepam	µ g/l	0,10	0,15	0,15	k.A.	k.A.	k.A.
Lipidsenker	Bezafibrat	µ g/l	0,06	0,12	0,16	0,46	k.A.	k.A.
Komplexbildner	Benzotriazol	µ g/l	6,60	4,10	7,60	4,30	3,6 - 7,2	k.A.

Der Vergleich der festgestellten Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Langenberg mit Messwerten anderer Kläranlagen zeigt eine relativ große Übereinstimmung.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination

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

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

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

Folgende Verfahren werden betrachtet:

1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAK)

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

2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAK)

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

3. Oxidative Verfahren

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

Die Verfahren werden im Hinblick auf:

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

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

8. Variantenuntersuchung

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

8.1 Vorhandene Erweiterungsfläche

Die unterschiedlichen Varianten zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfordern unterschiedlich große Flächen. Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt im westlichen Kläranlagenbereich, oberhalb der Nachklärung und hat eine Größe von rd. 450 m² (Bild 32).

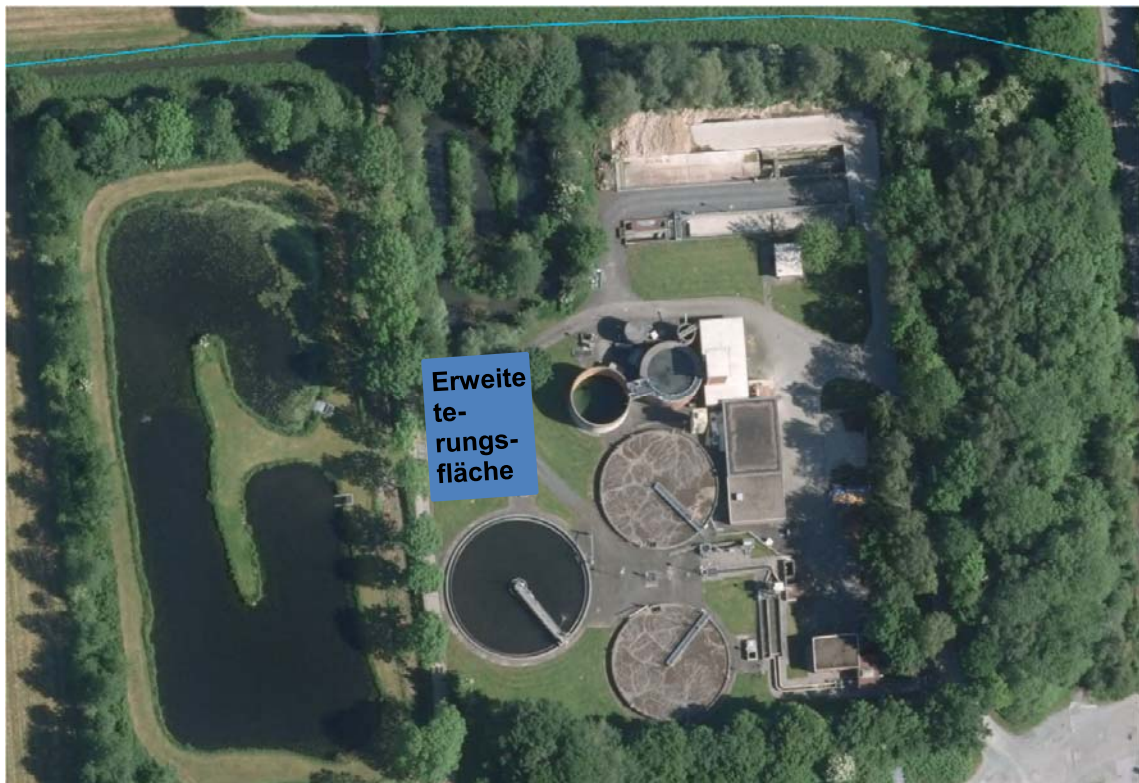


Bild 32: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Langenberg (Luftbild - Quelle: Google-Earth)

8. Variantenuntersuchung

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

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

Die Auslegung erfolgt für die ausgewerteten Abwassermengen der Jahre 2011 bis 2015. Es wird eine rd. 13% Steigerung der Schmutzwassermengen (Frischwasser) berücksichtigt.

Tabelle 9: Bemessung Behandlungsstufe - Spurenstoffe

Zulaufmenge	Trockenwetter
Trockenwetterzufluss - Mittel $Q_{T,mittel}$	43 m ³ /h, 12 l/s
Trockenwetterzufluss - Maximum $Q_{T,max.}$	88 m ³ /h, 24 l/s
Trockenwetterzufluss - Minimum $Q_{T,min}$	15 m ³ /h, 4 l/s
Jahresschmutzwassermenge (JSM) $Q_{S,a}$	0,375 Mio. m ³ /a
Jahresabwassermenge (JAM) $Q_{MW,a}$	0,437 Mio. m ³ /a
Regenwetterzufluss Q_M	280 m ³ /h, 78 l/s

8.3 Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe

8.3.1 Verfahrensbeschreibung

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

Es werden folgenden Analgenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination in Variante 1.1 wird schematisch in Bild 33 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung

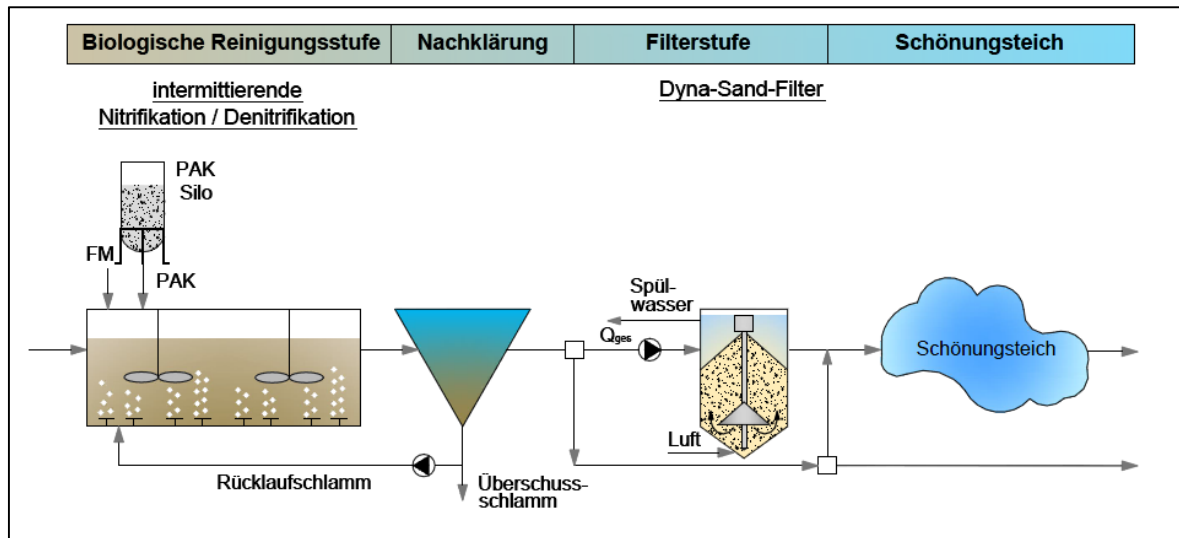


Bild 33: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

Die räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks erfolgt im Bereich der Belebungsbecken, so dass eine Anfahrt für PAK-Lieferfahrzeuge möglich ist.

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

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerieren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird gravimetrisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierler staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen in das Verteilerbauwerk der Belebungsbecken zugeführt.

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

Zum Rückhalt von PAK wird im Ablauf der Nachklärung eine Dyna-Sand Filtration vorgesehen, um aus der Nachklärung ggf. ausgetragene Pulveraktivkohle rückhalten zu können (Variante 1.1). Der Abwasserstrom wird mit einem Zwischenpumpwerk gehoben und über die Filtration geführt (Bild 35). Das Ablaufwasser der Filtration kann in die Ablaufleitung oder die Verbindungsleitung zum Schönungsteich eingeleitet werden.

8. Variantenuntersuchung

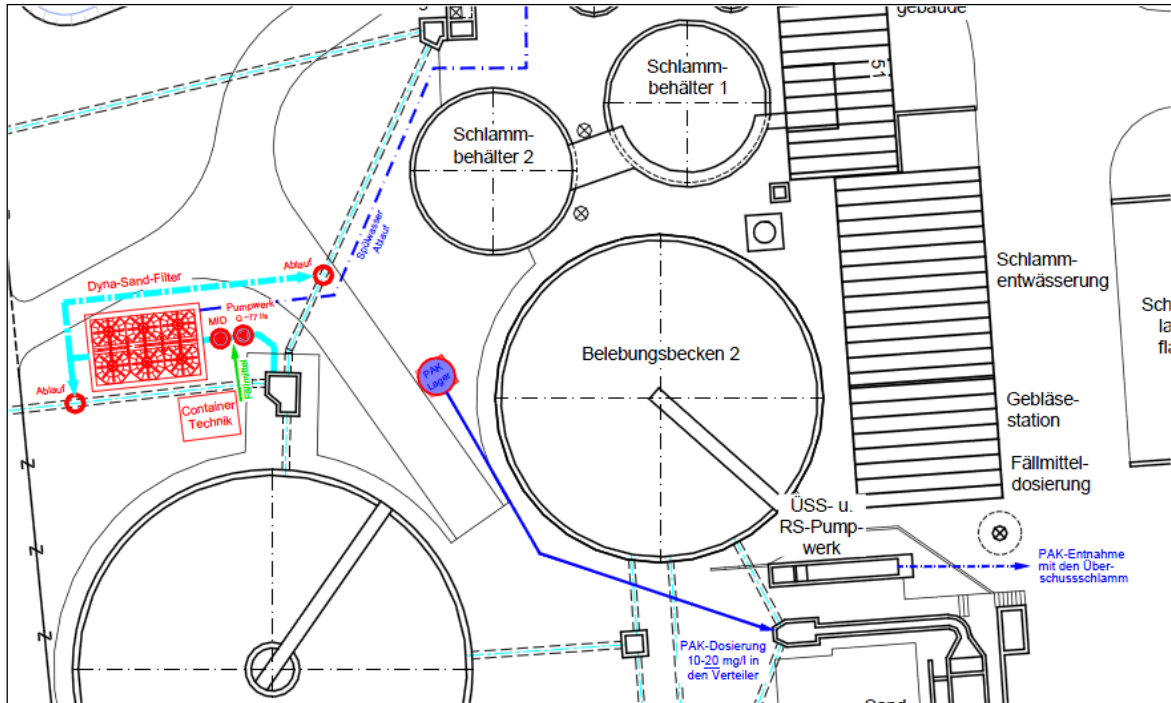


Bild 34: Lageplan KA Langenberg - Variante 1.1 – Dosierstelle PAK im Zulauf zur Belegung

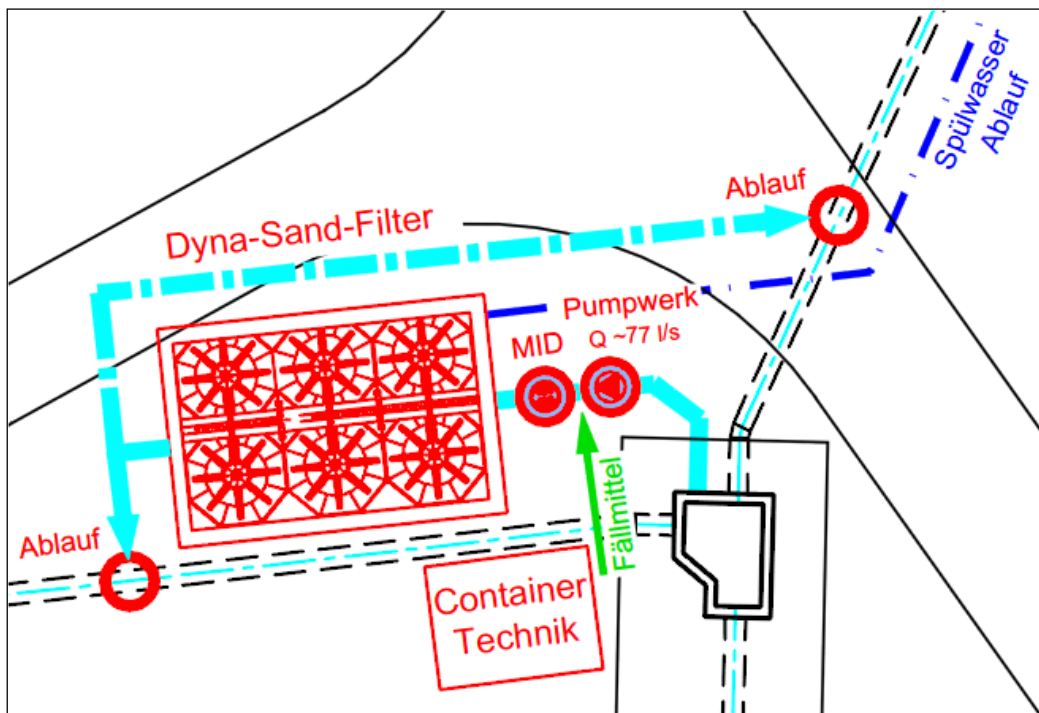


Bild 35: Lageplan KA Langenberg - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belegung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

8. Variantenuntersuchung

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.1)

Die Filtration wird 2-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge wird vorerst mit 78 l/s bzw. $Q_m = 280 \text{ m}^3/\text{h}$ angesetzt.

Die Abwasser-Zuführung erfolgt aus dem Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Dyna-Sand Filtration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 6 Filterzellen.

Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 E (Nordic Water).

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

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

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

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

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

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. beispielhaft Bild 41).

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

Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.1b)

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungs-Mischwassermenge beträgt

$$Q_m = 280 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Die Abwasser-Zuführung erfolgt über den Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Polstoff-Scheibentuchfilter (9 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 9/45 B A4 (Mecana)

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4404 ausgeführt.

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

Das Funktionsprinzip der Tuchfiltration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben.

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

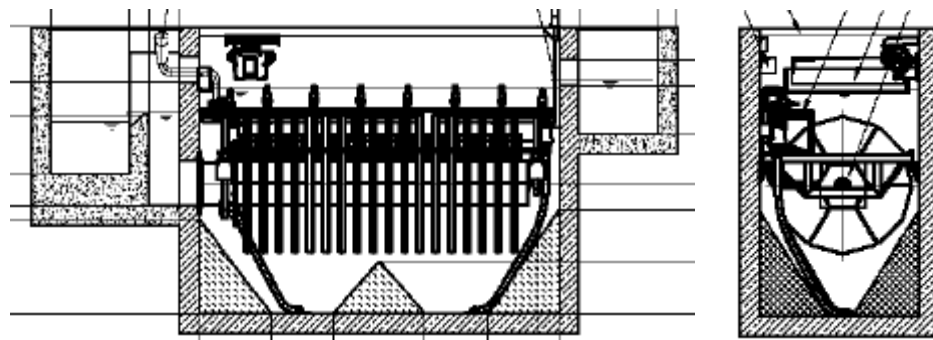


Bild 36: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel: Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)

8. Variantenuntersuchung

8.3.2 Vordimensionierung

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

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

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge – PAK Dosierung	88 m ³ /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (PAK-Dosierung)	0,44 Mio. m ³ /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	20 mg/l
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 638 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 7.654 kg/a
PAK Silo gewählt	50 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. Hinzu kommt die nachgeschaltete Filterstufe.

Der Platzbedarf ist insgesamt gering.

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

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

8. Variantenuntersuchung

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 Mischwasserbetrieb ausgelegt und sind durch eine Nachfällung zur Verminderung der P-Ablaufkonzentrationen einzusetzen.

Die adsorptive Reinigungsstufe wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 280 m³/h. Die Zuführung erfolgt von einem Umgehungsschacht in der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Analgenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 1.2 wird schematisch in Bild 37 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung

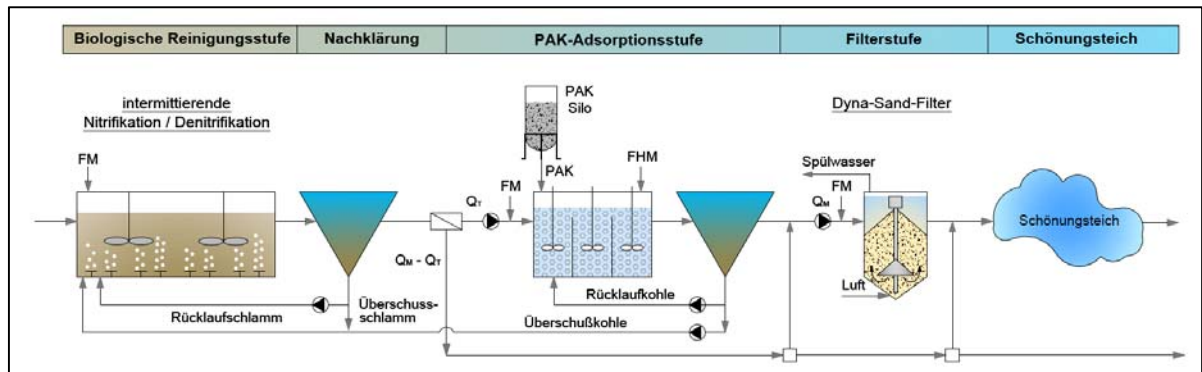


Bild 37: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

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

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

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

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

Aufteilung in 3 Beckenabschnitte: Dosierung Fällmittel, Dosierung frische PAK, Dosierung Flockungshilfsmittel. Frisches PAK wird in die zweite Stufe des Kontaktreaktors dosiert sowie optional Flockungshilfsmittel (Polymere) zur besseren Abtrennung des feinen Kohlestaubes in den Ablauf des Kontaktreaktors. Die Kammern des Kontaktbeckens werden kontinuierlich durchmisch.

8. Variantenuntersuchung

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

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

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

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

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

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

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

Die Adsorptionsstufe ist im Bereich nördlich der Nachklärung anzuordnen (Bild 38).

8. Variantenuntersuchung

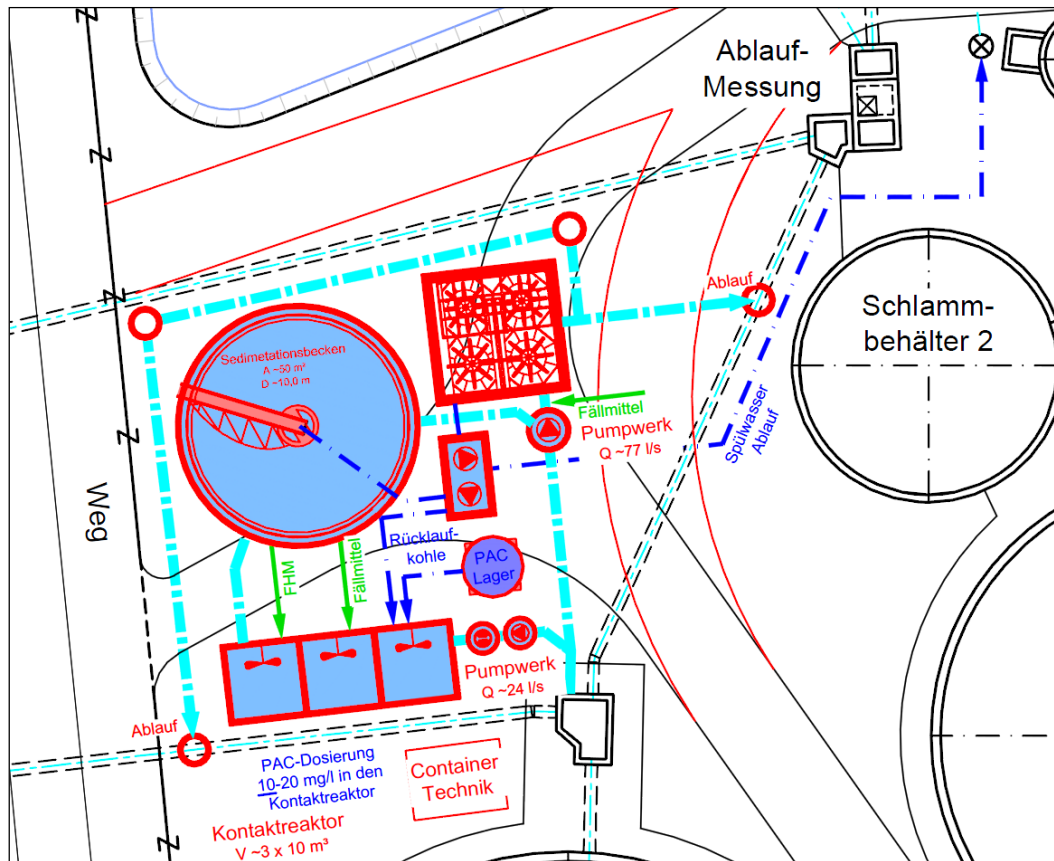


Bild 38: Lageplan KA Langenberg - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

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

Dyna-Sand Filtration (Variante 1.2)

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

Aufgrund der höher anzusetzenden Flächenbelastung (geringe PAK Konzentration im Zulauf) wird eine Dyna-Sandfiltration mit 4 Filterzellen, Typ: DS 5000 E (Nordic Water) gewählt.

Polstoff-Scheibentuchfiltration (Variante 1.2b)

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

8. Variantenuntersuchung

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).

Es wird eine 1-straßige Polstoff-Scheibentuchfiltration mit 9 Filterscheiben mit je 6 Filterelementen gewählt. Verwendet wird beispielhaft Typ: SF 9/45 B A4 (Mecana).

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 39).

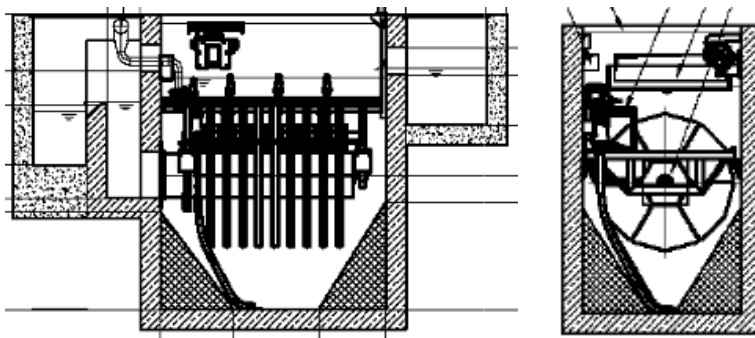


Bild 39: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Beispiel Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)

8. Variantenuntersuchung

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	88 m ³ /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	0,44 Mio. m ³ /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	10 mg/l (5 – 15 mg/l)
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	rd. 320 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	rd. 3.800 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	50 m ³
Volumen Kontaktbecken gewählt	65 m ³
Volumen Absetzbecken gewählt	175 m ³
Oberfläche Absetzbecken gewählt	50 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8. Variantenuntersuchung

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 im Verhältnis groß. Die zur Verfügung stehende Erweiterungsfläche ist ausreichend.

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung

8.5 Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter

8.5.1 Verfahrensbeschreibung

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

Die Filtration wird mit zwei getrennten Filterstraßen ausgelegt (Teil-Außerbetriebnahme möglich). Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 88 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom Ablaufschacht der Nachklärung.

Es werden folgenden Anlagenteile 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 40 gezeigt:

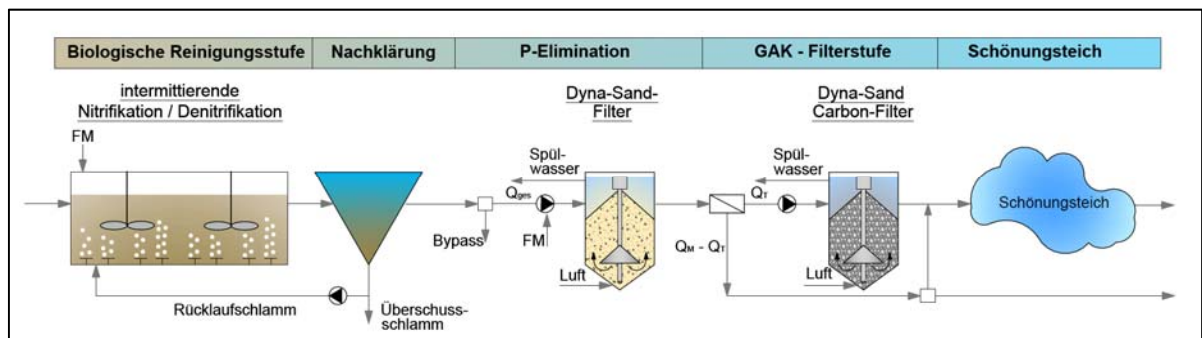


Bild 40: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

Die Dyna-Sand Carbon Filtration (DS-C) sowie die Dyna-Sand Filtration (DS) werden in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 4 Filterzellen (DS-C) und 4 Filterzellen (DS). Der Filtereinbau entspricht z.B. Typ: DS 5000 D D (Nordic Water). Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

8. Variantenuntersuchung

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

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

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

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

Der Rückspülprozess findet kontinuierlich und parallel zur Filtration statt, der Filtrationsvorgang wird nicht beeinträchtigt. Das Funktionsprinzip der Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben. Die Installation erfolgt in separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 41).

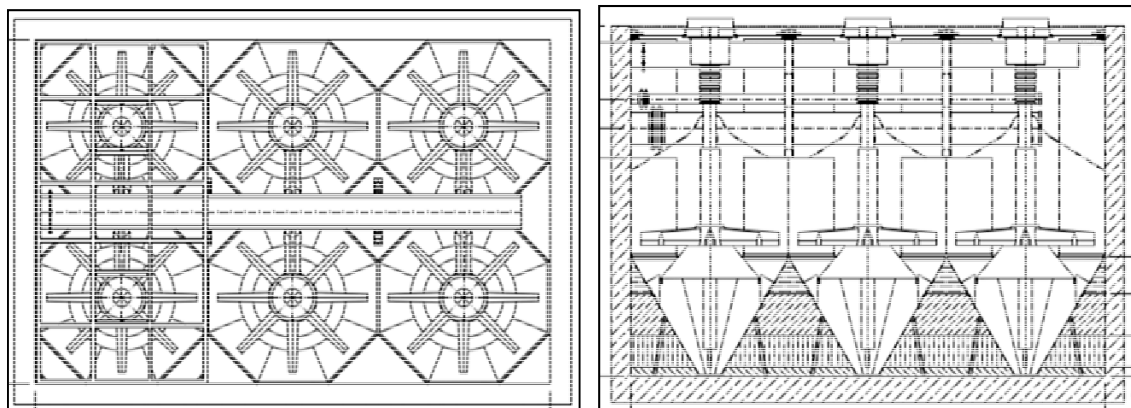


Bild 41: Draufsicht , Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung - Muster)
(Quelle: Fa. Nordic Water)

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 42.

8. Variantenuntersuchung



Bild 42: Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)

Die Befüllung der Dyna-Sand Filtration erfolgt mit Sand.

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

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

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Filtration aus dem Ablauf der Nachklärung. Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter. Ob ein zweites Pumpwerk zur Abwasserzuführung in die Dyna-Sand Carbon-Filtration erforderlich ist, ist in weiteren Planungsstufen zu bestimmen. Vorerst wird dies hier angenommen.

Die Druckluftversorgung erfolgt über eine separate Kompressorstation (s. beispielhaft Bild 43). Die Unterbringung erfolgt jeweils in einem an die Filtration angelehnten separaten Bauteil (hier: Container).

8. Variantenuntersuchung



Bild 43: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)

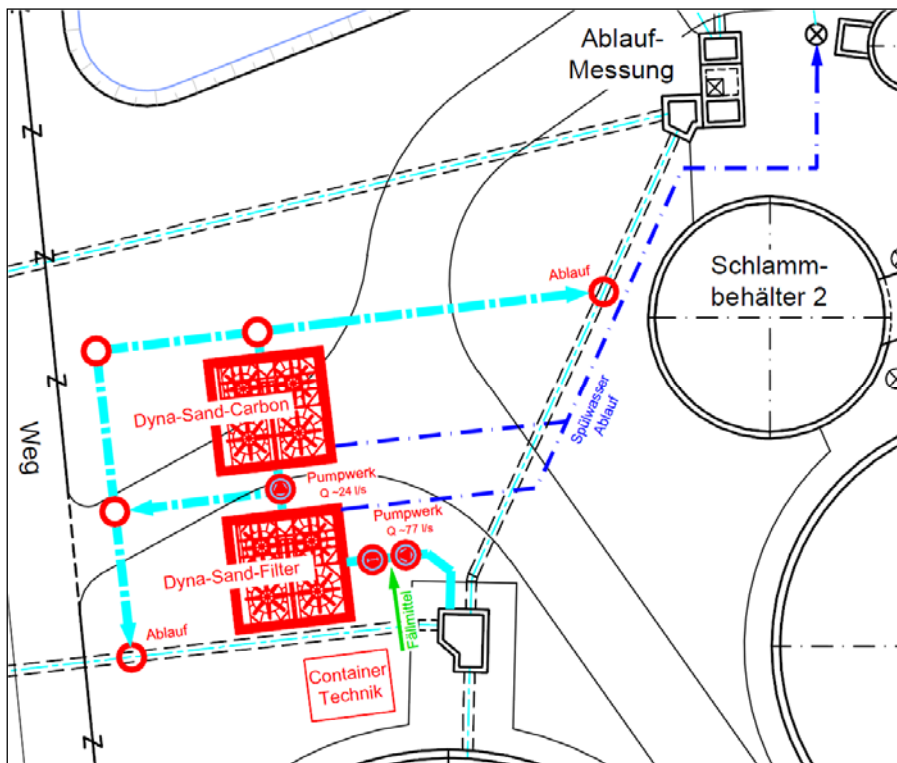


Bild 44: Lageplan KA Langenberg - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

8. Variantenuntersuchung

8.5.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 12 sind 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 $Q_{T,max}$	88 m ³ /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	0,44 Mio. m ³ /a
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E (Dyna-Sand)	4 Stk.
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-D (Dyna-Sand Carbon)	4 Stk.
Filterfläche je Einbauteil	5 m ²
Filterfläche gesamt (je Filtration DS-C, DS)	20 m ² / 20 m ²
Max. Oberflächenbelastung (DS-C)	4 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)	6,5 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	26 t
Mittlere Aufenthaltszeit DS-C-Filtration	1,24 h
Dyna-Sand Filter Typ: DS 5000 E (Nordic Water)	4 Stk.
Volumen – Betonbauwerk (DS, DS-C-Filtration)	2 x 166 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8. Variantenuntersuchung

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

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

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

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung

8.6 Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

8.6.1 Verfahrensbeschreibung

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

Die Adsorberstufe wird 2-straßig ausgelegt. Filter werden einzeln rückgespült, so dass auch im Rückspülzeitraum eines Filters die Adsorptionsstufe voll verfügbar ist. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 88 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom Ablaufschacht der Nachklärung.

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

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.2 wird schematisch in Bild 45 gezeigt:

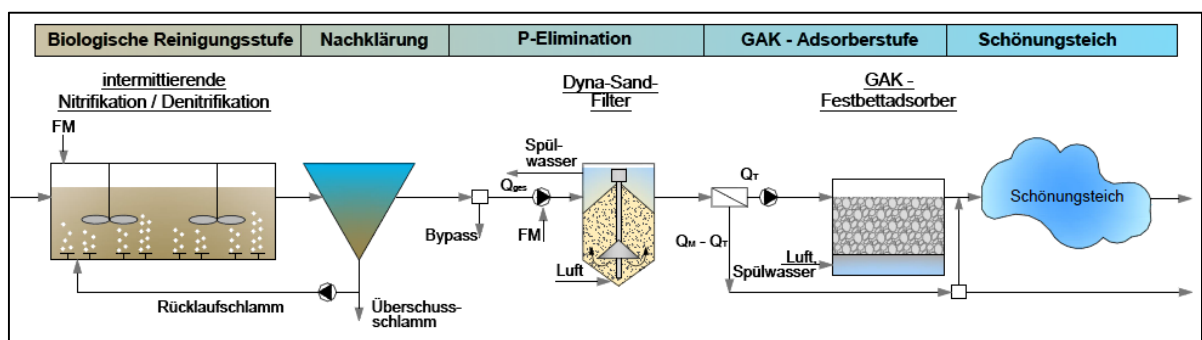


Bild 45: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

8. Variantenuntersuchung

Errichtung von drei rückspülbaren GAK-Aktivkohle-Adsorbern, einschließlich Zulaufpumpwerk sowie zu- und abführende Leitungen. Zum Spülen der Aktivkohle-Adsorber werden redundant ausgelegte Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse vorgesehen. Zur Rückspülung wird das Ablaufwasser genutzt und im Bereich des Schönungsteiches entnommen. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass eine Zwischenspeicherung von Spülwasser nicht erforderlich ist. Neubau zweier Pumpwerke zur Zuführung des Abwassers zu den Filtrationen und eines Pumpwerkes zur Rückspülung der Filter. Steuerung über Frequenzumrichter.

Messtechnik: MID im Zulauf der Filter sowie SAK-Sonden zur optionalen Regelung des über die Filter zu leitenden Trockenwetter-Teilstroms. Druckmessung im Zu- und Ablauf der Filter. Die Beschickung der Filtration kann volumenproportional erfolgen. Eine frachtabhängige Steuerung ist durch eine SAK-Messung oder TOC-Messung zu realisieren. Die Standzeit der Aktivkohle ist dadurch potentiell zu erhöhen.

Zur Zugabe von Fällmitteln in die Dyna-Sand Filtration wird eine Dosierstation vorgesehen. Die Anordnung der Behandlungsstufe ist Bild 46 zu entnehmen.

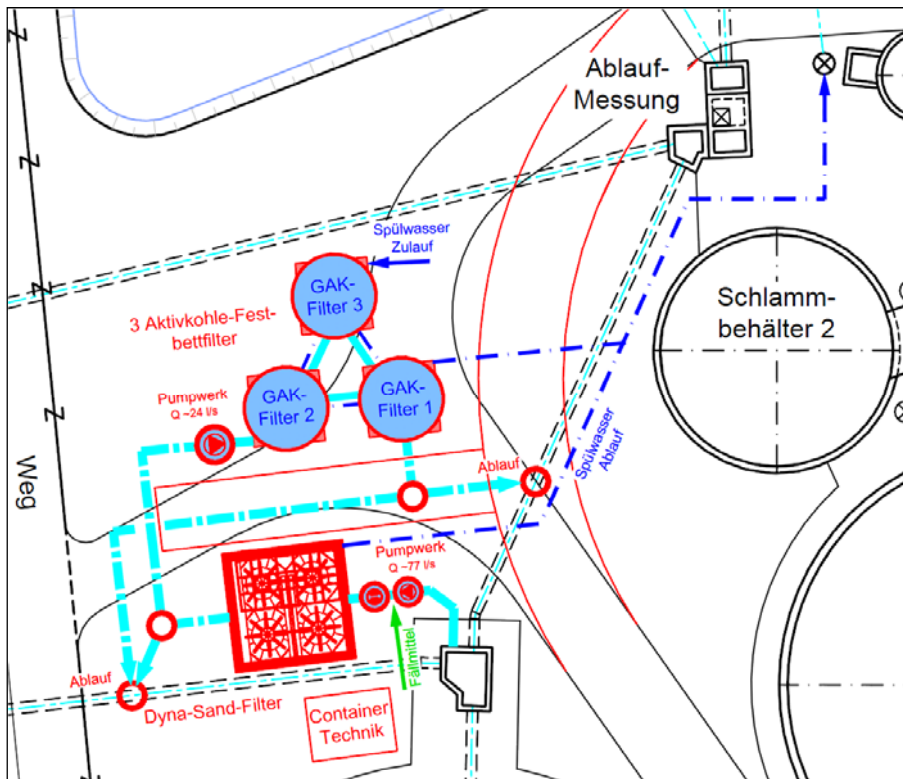


Bild 46: Lageplan KA Langenberg - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorge-schalteter Dyna-Sand Filter

8. Variantenuntersuchung

8.6.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 13: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	88 m ³ /h
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	0,44 Mio. m ³ /a
Anzahl GAK Filter	3
Filterfläche gesamt	15 m ²
Mittlere Oberflächenbelastung	10 m/h
Volumen gesamt Filterbett	53 m ³
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	8,6 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	25,7 t
Mittlere Aufenthaltszeit GAK Filtration (2 Filter)	0,82 h
Dyna-Sand Filter Typ: DS 5000 E (Nordic Water)	4 Stk.

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8.6.3 Diskussion Variante 2.2 - Festbett Adsorberstufe (GAK)

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

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

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

- Mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- Geringer Energiebedarf

8. Variantenuntersuchung

- Konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- Kaum erhöhte Schlammengen
- Reduzierung der Phosphorkonzentration und –fracht im Ablauf der Kläranlage möglich
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Redundanz im Falle von Spülvorgängen durch Vorhalten eines weiteren Filters.

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

8.7 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 88 m³/h. Die Filtration wird ebenfalls 1-straßig angelegt und auf den Vollstrombetrieb bemessen (280 m³/h).

Es werden folgenden Analgenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerke
- Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Oszondosierung
- Restozonvernichter
- Scheibentuchfilter, Kontaktbecken Fällmitteldosierung
- Dosierstation Fällmittel

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.1 wird schematisch in Bild 47 gezeigt:

8. Variantenuntersuchung

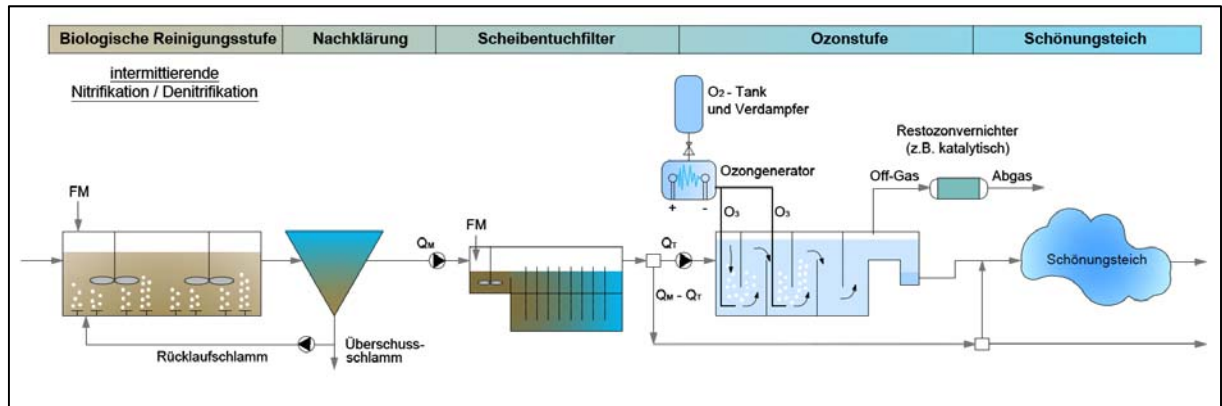


Bild 47: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

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

8. Variantenuntersuchung

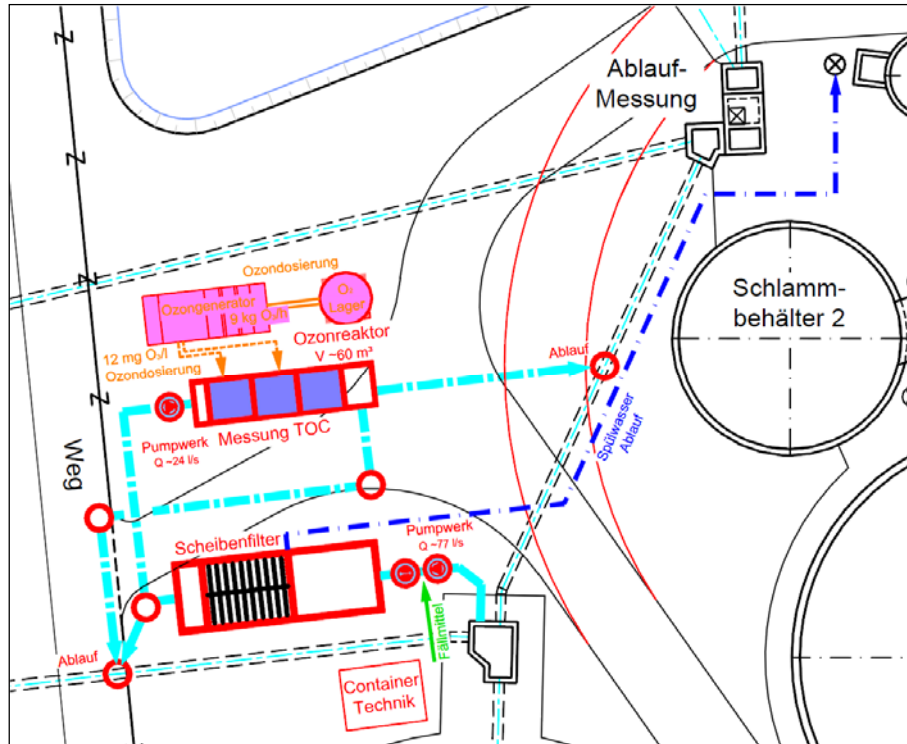


Bild 48: Lageplan KA Langenberg - Variante 3.1 – Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich

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.

8. Variantenuntersuchung

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

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

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

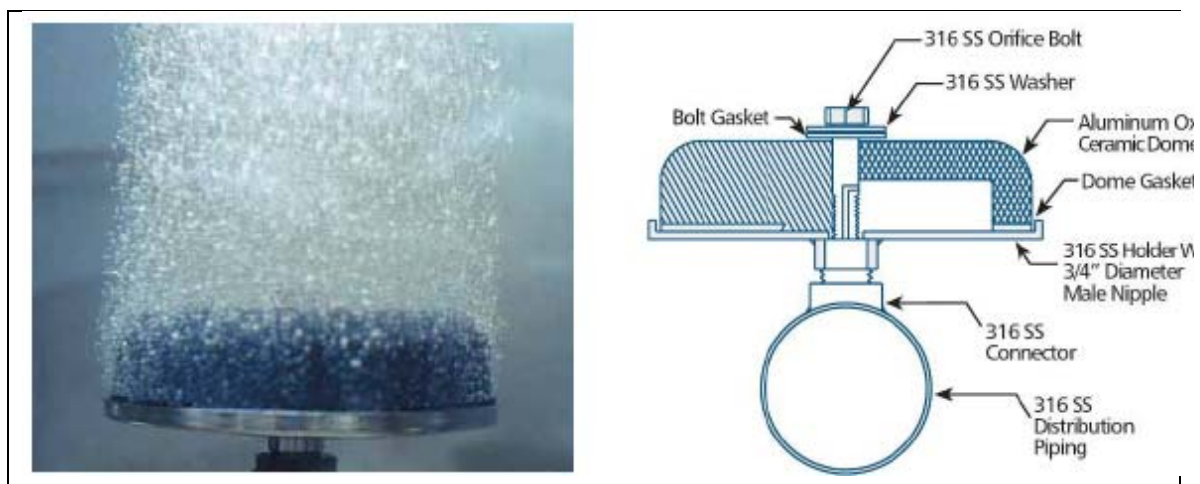


Bild 49: Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)

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 Mittelfrequenzrichter und Hochspannungstransformator stellt aus der eingespeisten Netzspannung die für die Ozonerzeugung erforderliche mittelfrequente Hochspannung (1-1000 Hz) her.

8. Variantenuntersuchung

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 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** gezeigt.

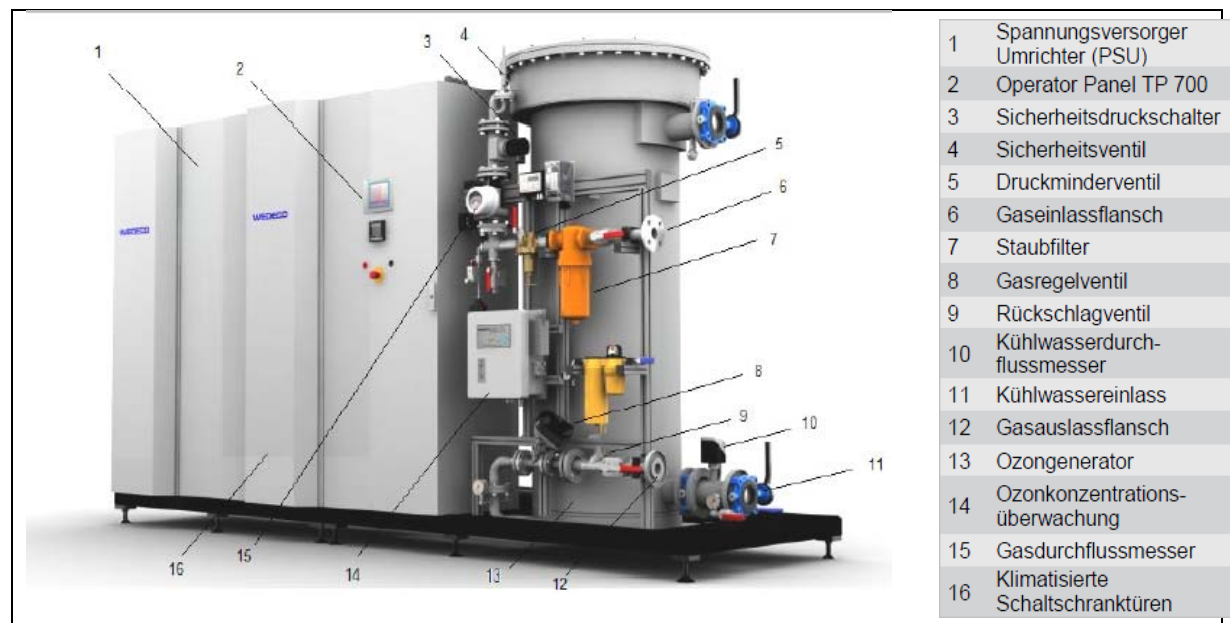


Bild 50: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

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

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

8. Variantenuntersuchung



Bild 51: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung

Die vorgeschaltete Tuchfiltration wird in Abschnitt 8.3.1 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 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 14: Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge $Q_{T,max}$	88 m ³ /h
Tuch-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	0,44 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	1,4 kgO ₃ /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	40 m ³
Ausgasungsbereich gewählt	20 m ³
Volumen Ozonreaktor gesamt	60 m ³
Scheibentuchfilter, Typ SF 9/45 B A4 (Mecana)	9 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. Variantenuntersuchung

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 nördlich der Nachklärung 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 empfohlene, nachgeschaltete Reinigungsstufe ist mit dem vorhandenen Schönungsteich bereits vorhandenen
- Reduzierung der Phosphorkonzentration und –fracht im Ablauf der Kläranlage durch Nachfällung
- hoher Anteil an Maschinenteknik 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, niedrigen Bereich (s. Analytik).

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

8. Variantenuntersuchung

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 Abwasserabläufe der Ozonung und zur P-Nachfällung vorgesehen.

Die Bemessungswassermenge entspricht der Bemessungswassermenge der Ozonung:
max. $Q_T = 88 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Filterstufe wird für eine Vollstrombehandlung ausgelegt ($280 \text{ m}^3/\text{h}$).

Es wird davon ausgegangen, dass die Sandfiltration der Nachbehandlung im Schönungsteich überlegen ist. Nach Abbeglen 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 52 gezeigt:

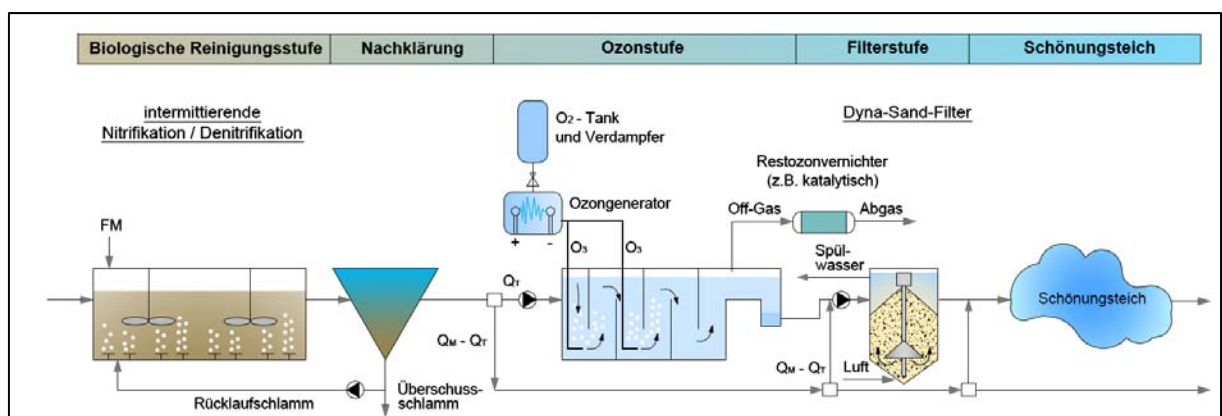


Bild 52: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2

8. Variantenuntersuchung

Vorgesehen sind 4 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 E.

Beschreibung der Filtration analog – Variante 2.1 (nur Filtermedium GAK).

Zur Beschickung ist ein weiteres Zulaufpumpwerk vorzusehen. In weiteren Planungsschritten ist zu prüfen, ob auf ein Zulaufpumpwerk verzichtet werden kann.

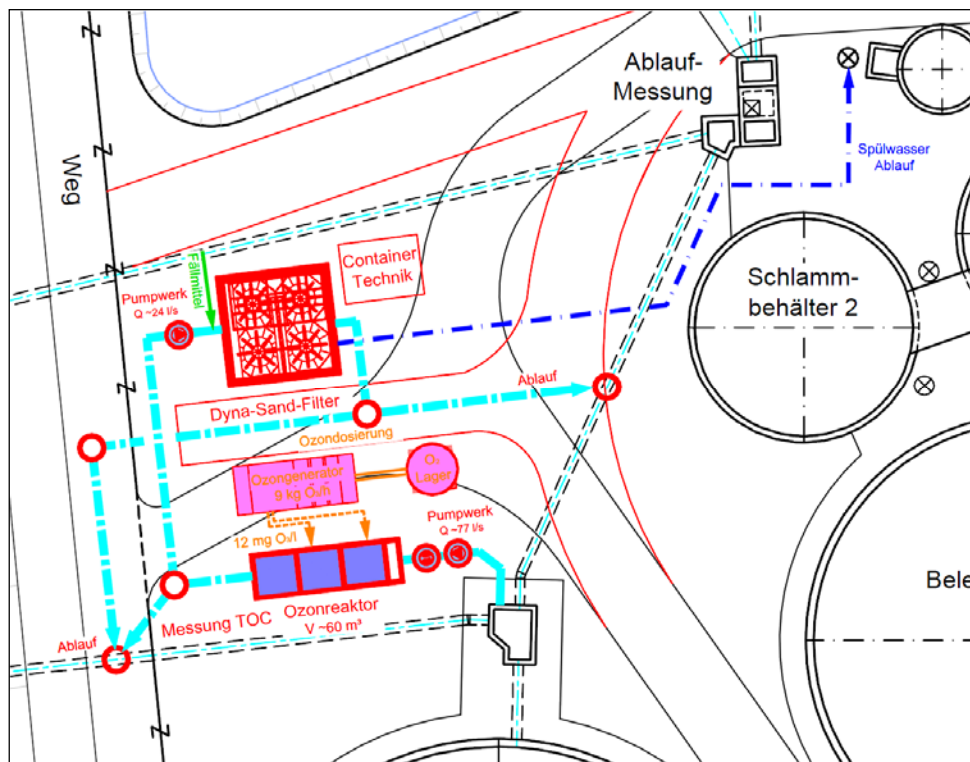


Bild 53: Lageplan KA Langenberg - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration

8. Variantenuntersuchung

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 $Q_{T,max}$	88 m ³ /h,
DS-Filtration: Bemessungswassermenge Q_M	280 m ³ /h
jährliche Behandlungsmenge (Schmutzwassermenge)	0,44 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	1,4 kgO ₃ /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	40 m ³
Ausgasungsbereich gewählt	20 m ³
Volumen Ozonreaktor gesamt	60 m ³
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E	4
Filterfläche je Einbauteil	5 m ²
Filterfläche gesamt	20 m ²
Oberflächenbelastung	14 m/h
Filtersand (Körnung: 1 – 2 mm)	16 t/Filter
Gesamtmenge Filtersand	64 t
Volumen – Betonbauwerk DS-Filtration	rd. 166 m ³

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

8. Variantenuntersuchung

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 und vorgeschalteter Tuchfiltration.

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 oxidierten Reststoffen aus der Ozonstufe.

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

9 Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

9.1 Investitionskosten

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

In Tabelle 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 1.1 - PAK		Variante 1.2 - 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 - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Baukosten	310.835 €	236.738 €	525.852 €	476.150 €
Maschinentechnik Kosten	627.500 €	651.500 €	738.000 €	816.000 €
EMSR-Technik Kosten	53.000 €	53.000 €	93.500 €	93.500 €
Summe Investkosten (netto)	991.335 €	941.238 €	1.357.352 €	1.385.650 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	198.267 €	188.248 €	271.470 €	277.130 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	1.189.602 €	1.129.486 €	1.628.822 €	1.662.780 €
Mehrwertsteuer 19%	226.024 €	214.602 €	309.476 €	315.928 €
Summe Investkosten (brutto)	1.415.626 €	1.344.088 €	1.938.299 €	1.978.708 €
Prozente	105%	100%	144%	147%

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, Schö-nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten	381.883 €	381.573 €	314.848 €	345.824 €
Maschinentechnik Kosten	462.300 €	598.500 €	759.000 €	669.500 €
EMSR-Technik Kosten	100.000 €	103.000 €	80.500 €	80.500 €
Summe Investkosten (netto)	944.183 €	1.083.073 €	1.154.348 €	1.095.824 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	188.837 €	216.615 €	230.870 €	219.165 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	1.133.020 €	1.299.688 €	1.385.218 €	1.314.989 €
Mehrwertsteuer 19%	215.274 €	246.941 €	263.191 €	249.848 €
Summe Investkosten (brutto)	1.348.293 €	1.546.628 €	1.648.409 €	1.564.837 €
Prozente	100%	115%	123%	116%

Die Varianten 1.1b und 2.1 weisen mit rd. 1,344 Mio. Euro und 1,348 Mio. Euro brutto die niedrigsten Investitionskosten auf. Mit nur geringfügigen Mehrkosten von etwa 5 % ist die Variante 1.1 mit PAK Dosierung und Dyna-Sand Filtration teurer als mit Tuchfiltration im Ablauf. Variante 2.2 mit GAK Adsorptionsfilter weist Mehrkosten von rd. 15% auf. Die Varianten mit Ozonung 3.1 und 3.2 zeigen um 23% bzw. 16 % höhere Investitionskosten. Am teuersten sind die Varianten 1.2 bzw. 1.2b mit adsorptiver Reinigungsstufe mit 44 % bzw. 47 % höheren Kosten.

Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 1,344 Mio. Euro und 1,978 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 54 zeigt die ermittelten Investitionskosten (netto) und die jeweiligen Bau-, Maschinentechnik- und EMSR-Technik-Kosten.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

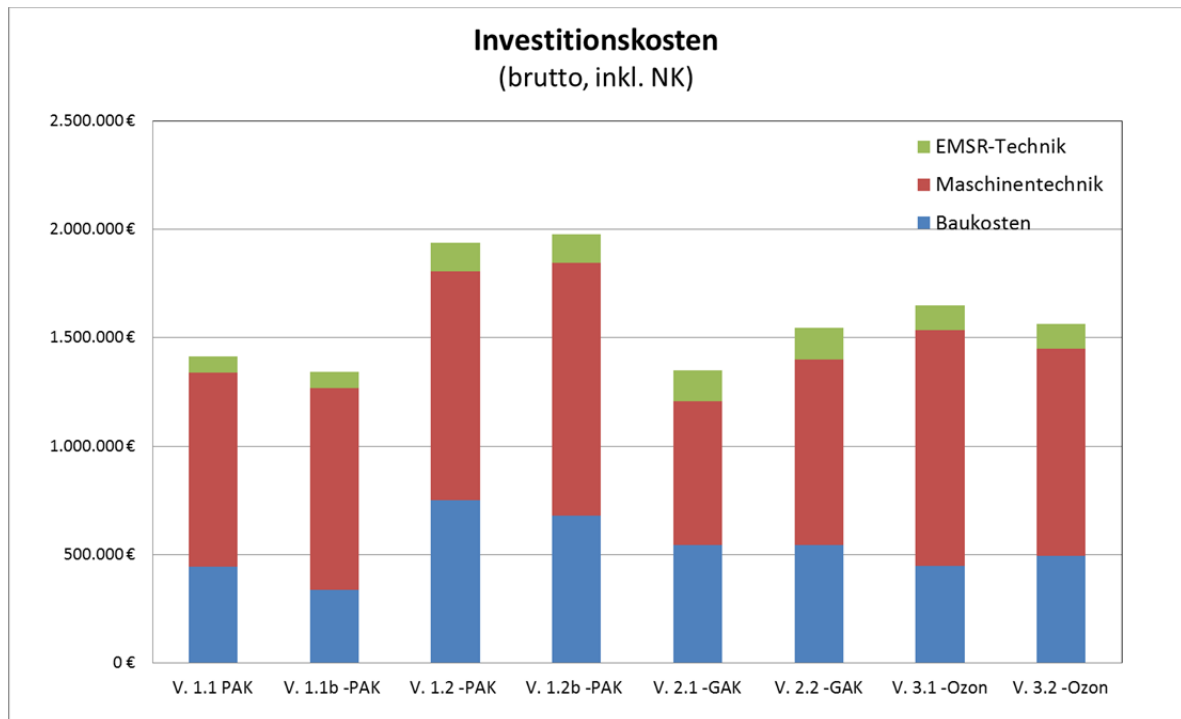


Bild 54: Investitionskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)

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

Nachfällung Phosphate

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

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

9.2 Betriebskosten

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

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

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

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

Die spezifischen Kosten für Sauerstoff beinhalten auch die Tankmiete.

Schlammbehandlung 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 Klärschlammbehandlung 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 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. Die bodenbezogene Klärschlammverwertung ist damit zukünftig für Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 nicht gesichert möglich.

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

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: 1.136 t/a.

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

Bei Varianten mit GAK Filtration (Varianten 2.1, 2,2) wurde zunächst eine Standzeit der Filtration von rd. 17 Monaten angesetzt. Es sind für Variante 2.1 und 2.2 ca. 0,7 Befüllung mit Aktivkohle pro Jahr erforderlich. Dies entspricht für beide Varianten rd. 10.000 durchgesetzten Bettvolumina (BV) bis eine Regeneration der Aktivkohle erforderlich wird . 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 1.1 - PAK		Variante 1.2 - 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 - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	22.967 €	22.972 €	29.269 €	31.112 €
Verbrauchsstoffe	12.567 €	19.121 €	6.944 €	13.702 €
Energiebedarf	6.799 €	5.204 €	11.465 €	10.762 €
Schlamm Entsorgung	51.464 €	51.467 €	51.338 €	51.337 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	105.047 €	108.608 €	110.266 €	118.163 €
Mehrwertsteuer 19%	19.959 €	20.636 €	20.951 €	22.451 €
Summe Betriebskosten (brutto)	125.006 €	129.244 €	131.217 €	140.614 €
Prozente	168%	173%	176%	188%

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	19.688 €	23.831 €	27.528 €	25.153 €
Verbrauchsstoffe	24.692 €	24.667 €	16.582 €	9.784 €
Energiebedarf	9.895 €	7.283 €	25.473 €	28.161 €
Schlamm Entsorgung	0 €	0 €	0 €	0 €
Personalkosten	8.434 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Mehrwertsteuer 19%	11.915 €	12.469 €	15.358 €	14.126 €
Summe Betriebskosten (brutto)	74.624 €	78.094 €	96.191 €	88.474 €
Prozente	100%	105%	129%	119%

Die Betriebskosten variieren von rd. 75.000 €/a der Variante 2.1 bis rd. 141.000,-- € brutto bei Variante 1.2b. Die kostengünstigste Variante mit Ozonung 3.2 zeigt einem Abstand von rd. 19 % zu Variante 2.1 mit GAK Filtration. Rd. 88% Mehrkosten ergeben sich für Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe und DS-Filtration.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Betriebskosten von Varianten mit PAK Dosierung werden 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 55 zeigt die Verteilung der Betriebskosten nach den einzelnen Kostengruppen. Es wird deutlich, dass einzelne Kostengruppen eine besonders hohe Auswirkung auf die Summe der Betriebskosten haben. Die angenommenen spezifischen Betriebskosten können nur am Markt genau bestimmt werden. Die Auswirkung von Abweichungen besonders sensibler Kosten auf die Wirtschaftlichkeit wird in Abschnitt 9.4 Sensitivitätsanalyse untersucht.

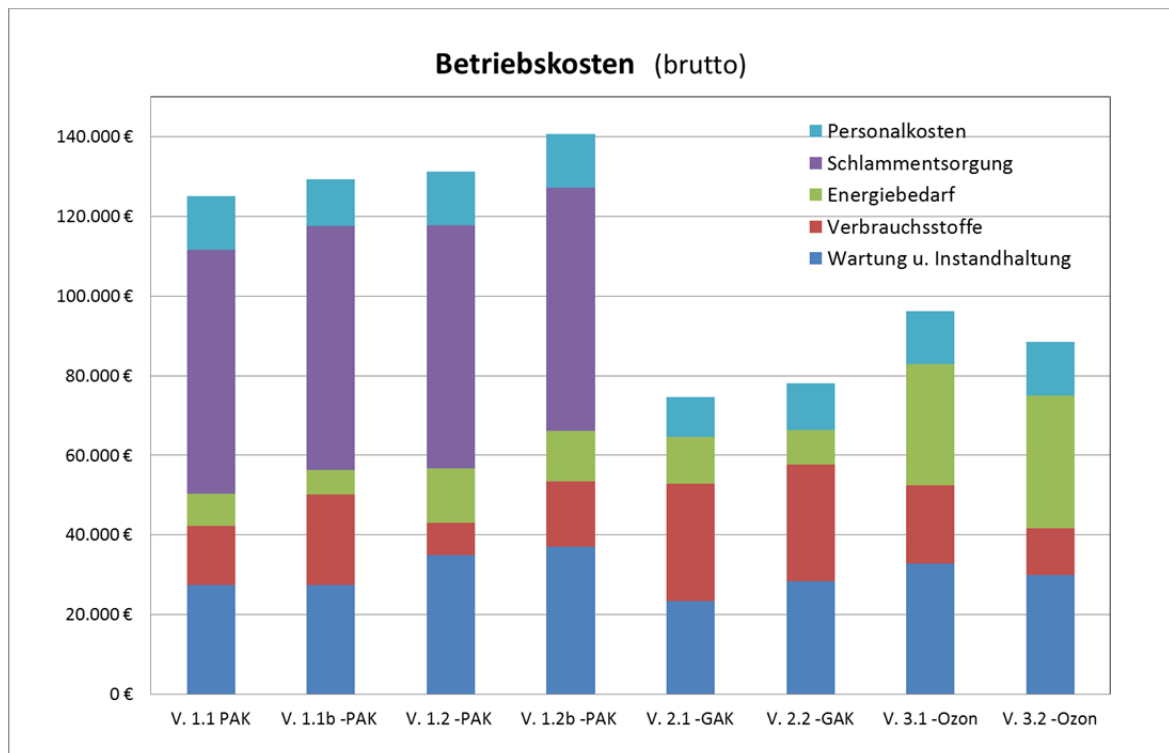


Bild 55: Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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. Dies wird hier zunächst auch für die Kläranlage Langenberg angenommen.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 18: Zusammenstellung Betriebskosten ohne Schlamm Entsorgungskosten

	Variante 1.1 - PAK		Variante 1.2 - 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 - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	22.967 €	22.972 €	29.269 €	31.112 €
Verbrauchsstoffe	12.567 €	19.121 €	6.944 €	13.702 €
Energiebedarf	6.799 €	5.204 €	11.465 €	10.762 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	53.583 €	57.141 €	58.928 €	66.826 €
Mehrwertsteuer 19%	10.181 €	10.857 €	11.196 €	12.697 €
Summe Betriebskosten (brutto)	63.764 €	67.998 €	70.124 €	79.523 €
Prozente	100%	107%	110%	125%

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	19.688 €	23.831 €	27.528 €	25.153 €
Verbrauchsstoffe	24.692 €	24.667 €	16.582 €	9.784 €
Energiebedarf	9.895 €	7.283 €	25.473 €	28.161 €
Personalkosten	8.434 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Mehrwertsteuer 19%	11.915 €	12.469 €	15.358 €	14.126 €
Summe Betriebskosten (brutto)	74.624 €	78.094 €	96.191 €	88.474 €
Prozente	117%	122%	151%	139%

Vernachlässigt man die Schlamm Entsorgungskosten zeigt die Varianten 1.1 mit PAK Dosierung in die Belebung und nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration die geringsten Betriebskosten mit 63.764 Euro pro Jahr.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

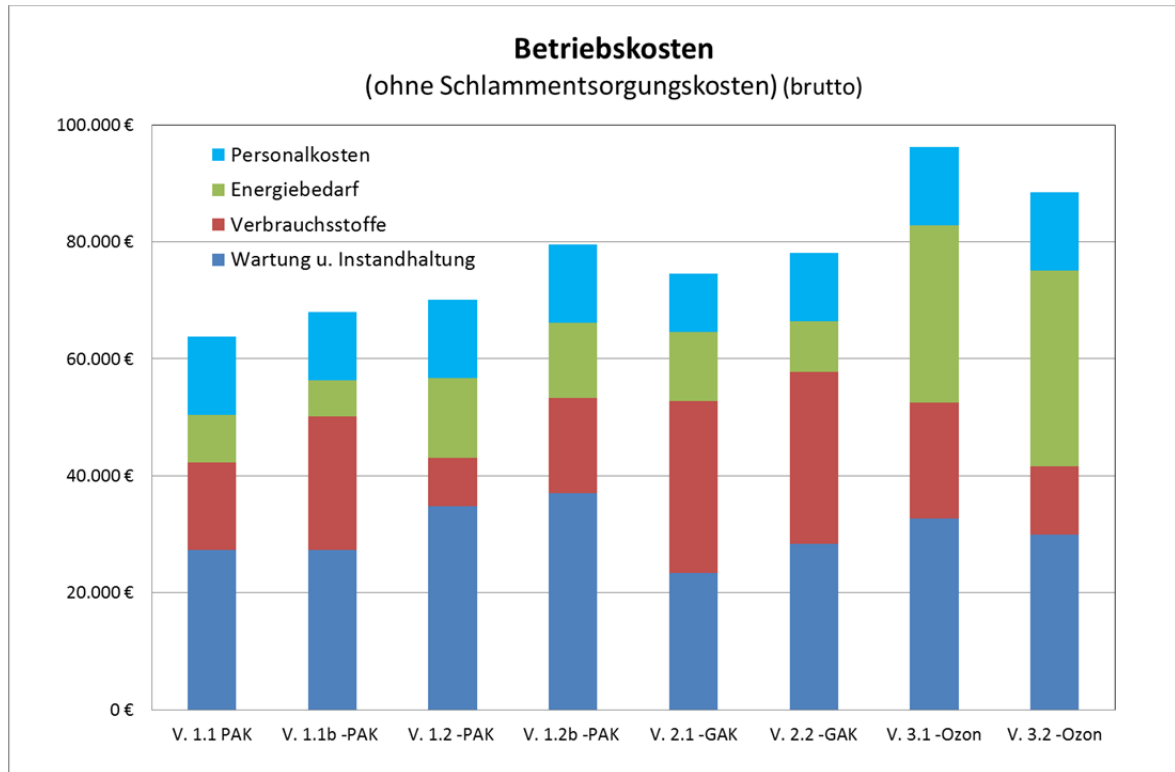


Bild 56: Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammuntersorgungskosten (brutto)

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

9.3 Jahreskosten

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

Die Jahreskosten wurden unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen ermittelt.

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

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

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

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 19: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)

	Variante 1 - PAK		Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAG in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAG in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schönungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten (gesamt)	310.835 €	525.852 €	381.883 €	381.573 €	314.848 €	345.824 €
Baukosten (ohne GAK Erstbef.)	310.835 €	525.852 €	349.383 €	349.073 €	314.848 €	345.824 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Jahreskosten Bau	15.859 €	26.829 €	17.826 €	17.810 €	16.064 €	17.644 €
Maschinentechnik Kosten	627.500 €	738.000 €	462.300 €	598.500 €	759.000 €	669.500 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR _{3,15}	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
Jahreskosten MT	52.566 €	61.822 €	38.727 €	50.136 €	63.581 €	56.084 €
EMSR-Technik Kosten	53.000 €	93.500 €	100.000 €	103.000 €	80.500 €	80.500 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR _{3,10}	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
Jahreskosten EMSR	6.213 €	10.961 €	11.723 €	12.075 €	9.437 €	9.437 €
Jahreskosten Invest (netto)	74.638 €	99.612 €	68.275 €	80.021 €	89.082 €	83.165 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	14.928 €	19.922 €	13.655 €	16.004 €	17.816 €	16.633 €
Jahreskosten Invest,NK (netto)	89.565 €	119.535 €	81.930 €	96.025 €	106.898 €	99.798 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	110.266 €	118.163 €	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Jahreskosten Gesamt (netto)	199.831 €	237.698 €	144.639 €	161.650 €	187.731 €	174.146 €
Mehrwertsteuer 19%	37.968 €	45.163 €	27.481 €	30.713 €	35.669 €	33.088 €
Jahreskosten Gesamt (brutto)	237.799 €	282.860 €	172.121 €	192.363 €	223.400 €	207.234 €
Prozente	138%	164%	100%	112%	130%	120%

ohne Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 9.149 EW	25,99 €/EW/a	30,92 €/EW/a	18,81 €/EW/a	21,03 €/EW/a	24,42 €/EW/a	22,65 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 375.491 m³/a	0,53 €/m³	0,63 €/m³	0,39 €/m³	0,43 €/m³	0,50 €/m³	0,46 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 310.212 m³/a	0,77 €/m³	0,91 €/m³	0,55 €/m³	0,62 €/m³	0,72 €/m³	0,67 €/m³

Die ermittelten Jahreskosten variieren zwischen brutto rd. 172.000,-- € der Variante 2.1 mit Dyna-Sand Carbon Filter und 283.000,-- € für Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe.

Der Unterschied der Jahreskosten der untersuchten Varianten beträgt maximal 64 %.

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.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die spezifischen Kosten pro angeschlossenen Einwohner bei Annahme von 9.149 EW (2014) betragen minimal 18,81 €/EW/a (Variante 2.1) und maximal 30,92 €/EW/a (Variante 1.2). Es ergibt sich für die behandelte Wassermenge (Trockenwetter) ein spezifischer Preis von brutto 0,39 €/m³ (Variante 2.1) und maximal 0,63 €/m³ (Variante 1.2).

Die Kosten pro m³ Frischwasser betragen für die günstigste Variante 2.1 0,55 €/m³ (ohne Förderung).

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten der untersuchten Varianten zeigt Bild 57.

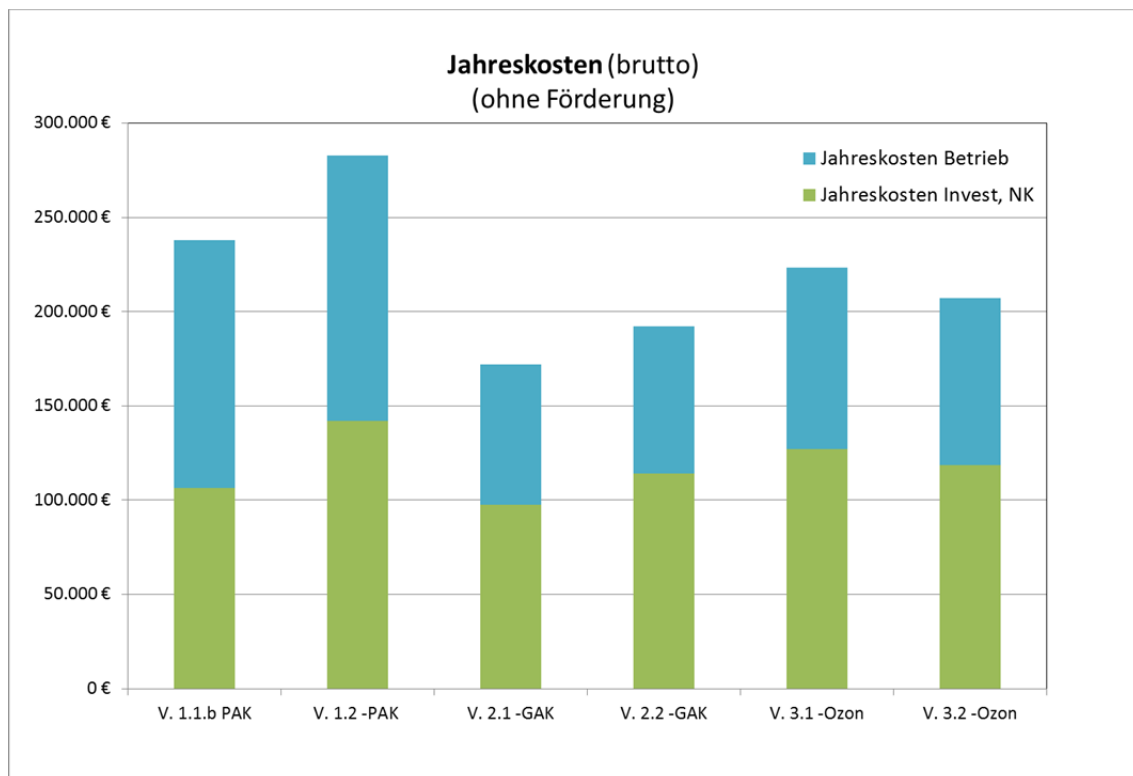


Bild 57: Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

Tabelle 20 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70% (Stand: Förderung 2017).

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 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schön- ungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna- Sand Filtration
Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)	1.189.602 €	1.628.822 €	1.133.020 €	1.299.688 €	1.385.218 €	1.314.989 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	832.721 €	1.140.176 €	793.114 €	909.781 €	969.652 €	920.492 €
KFAKR _{3,30}	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)	42.485 €	58.172 €	40.465 €	46.417 €	49.472 €	46.964 €
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	47.080 €	61.363 €	41.466 €	49.608 €	57.427 €	52.834 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	110.266 €	118.163 €	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	157.346 €	179.526 €	104.175 €	115.233 €	138.260 €	127.182 €
Mehrwertsteuer 19%	29.896 €	34.110 €	19.793 €	21.894 €	26.269 €	24.165 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	187.241 €	213.636 €	123.968 €	137.127 €	164.529 €	151.347 €
Prozente	151%	172%	100%	111%	133%	122%

mit Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 9.149 EW	20,47 €/EW/a	23,35 €/EW/a	13,55 €/EW/a	14,99 €/EW/a	17,98 €/EW/a	16,54 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 375.491 m³/a	0,50 €/m³	0,57 €/m³	0,33 €/m³	0,37 €/m³	0,44 €/m³	0,40 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 310.212 m³/a	0,60 €/m³	0,69 €/m³	0,40 €/m³	0,44 €/m³	0,53 €/m³	0,49 €/m³

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung ebenfalls die Variante 2.1 mit Dyna-Sand-Carbon Filtration die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Jahreskosten der übrigen Varianten zeigen Mehrkosten von 11 % - 72 %.

Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,33 €/m³ behandeltes Schmutzwasser gegenüber 0,39 €/m³ ohne Förderung (Variante 2.1). Die spezifischen Kosten pro m³ Frischwasser betragen 0,40 €/m³ für Variante 2.1.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

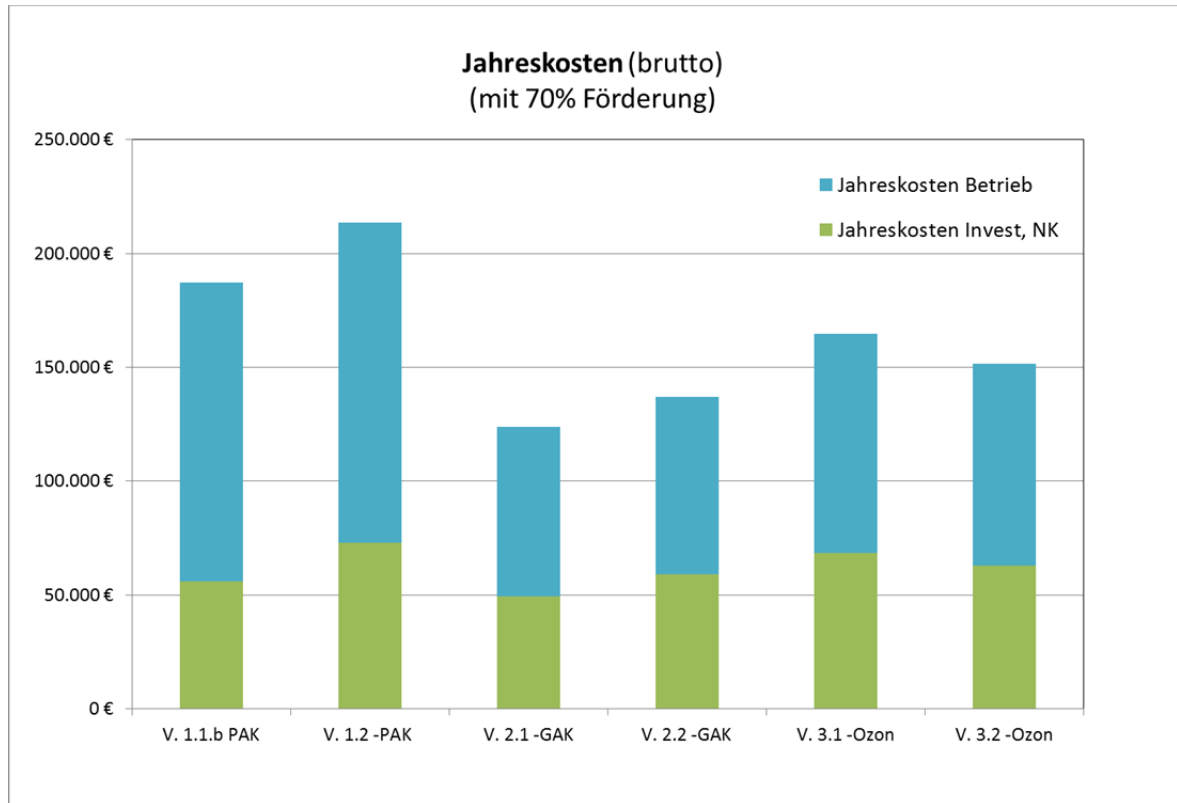


Bild 58: Jahreskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70% (brutto)

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

Tabelle 21 zeigt die Jahreskosten ohne Schlammmentsorgungsmehrkosten 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		Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung(netto)	47.080 €	61.363 €	41.466 €	49.608 €	57.427 €	52.834 €
Jahreskosten Betrieb ohne Schlammensorgung (netto)	58.928 €	66.826 €	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	106.008 €	128.189 €	104.175 €	115.233 €	138.260 €	127.182 €
Mehrwertsteuer 19%	20.141 €	24.356 €	19.793 €	21.894 €	26.269 €	24.165 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	126.149 €	152.545 €	123.968 €	137.127 €	164.529 €	151.347 €
Prozente	102%	123%	100%	111%	133%	122%

mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 9.149 EW	13,79 €/EW/a	16,67 €/EW/a	13,55 €/EW/a	14,99 €/EW/a	17,98 €/EW/a	16,54 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 375.491 m³/a	0,34 €/m³	0,41 €/m³	0,33 €/m³	0,37 €/m³	0,44 €/m³	0,40 €/m³
Gebührenf. Frischwassermenge 310.212 m³/a	0,41 €/m³	0,49 €/m³	0,40 €/m³	0,44 €/m³	0,53 €/m³	0,49 €/m³

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammensorgungsmehrkosten die Varianten 2.1 und 1.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filtration bzw. mit PAK Dosierung mit rd. 124.000,- €/a bzw. 126.000 €/a die günstigsten Varianten sind.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

9.4 Sensitivitätsanalyse

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

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

Folgende Kosten-Parameter werden betrachtet:

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

sowie als betrieblicher Parameter:

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

Die untersuchten Variationen der wirtschaftlichen Parameter zeigt Tabelle 22.

Tabelle 22: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter

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

In Tabelle 23 werden aus den variierten Betriebskosten maximale Jahreskosten ermittelt.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

Tabelle 23: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) (Förderung 70%)

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB, DS- Filter	Variante 1.2 - PAK Adsorpt. PAK	Variante 2.1 - GAK DS- Carbon	Variante 2.2 - GAK Adsorber	Variante 3.1 - Ozon, GAK	Variante 3.2 - Ozon, DS Filter
Energiekosten	0,14 €/kWh	-1.654 €/a	-2.789 €/a	-2.145 €/a	-1.510 €/a	-6.196 €/a	-6.850 €/a
	0,28 €/kWh	3.491 €/a	5.308 €/a	5.605 €/a	2.424 €/a	13.081 €/a	14.461 €/a
Kosten Aktivkohle PAK	1.200 €/t	-2.463 €/a	-487 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.800 €/t	2.043 €/a	2.140 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Aktivkohle GAK	1.100 €/t	0 €/a	0 €/a	-4.452 €/a	-4.448 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.600 €/t	0 €/a	0 €/a	4.748 €/a	4.742 €/a	0 €/a	0 €/a
Differenz Kosten therm. Schlammensorgung	30 €/tFS	-17.155 €/a	-17.113 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	60 €/tFS	17.155 €/a	17.113 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Sauerstoff	150 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-2.253 €/a	-2.253 €/a
	300 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	4.506 €/a	4.506 €/a
Standzeit GAK, behandelte BV	13.000 BV	0 €/a	0 €/a	-6.292 €/a	-6.286 €/a	0 €/a	0 €/a
	7.000 BV	0 €/a	0 €/a	9.480 €/a	9.469 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosierraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	15 mg/l	-5.843 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	30 mg/l	8.238 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosierraten PAK (Variante 1.2)	8 mg/l	0 €/a	-487 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	20 mg/l	0 €/a	7.393 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosierraten Sauerstoff	8 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-3.004 €/a	-3.004 €/a
	16 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	3.004 €/a	3.004 €/a
Veränderung Betriebskosten	min	-27.115 €/a	-20.876 €/a	-12.889 €/a	-12.244 €/a	-11.453 €/a	-12.107 €/a
	max	30.927 €/a	31.954 €/a	19.833 €/a	16.635 €/a	20.591 €/a	21.971 €/a
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	105.047 €	110.266 €	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
min. Betriebskosten	min	77.932 €	89.390 €	49.820 €	53.381 €	69.380 €	62.241 €
max. Betriebskosten	max	135.974 €	142.220 €	82.542 €	82.260 €	101.424 €	96.319 €
Jahreskosten Förderung 70%	mittel	157.346 €	179.526 €	104.175 €	115.233 €	138.260 €	127.182 €
min. Jahreskosten	min	130.231 €	158.650 €	91.286 €	102.989 €	126.807 €	115.075 €
max. Jahreskosten	max	188.273 €	211.480 €	124.008 €	131.868 €	158.851 €	149.153 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	83%	88%	88%	89%	92%	90%
	max	120%	118%	119%	114%	115%	117%

Die günstigsten Jahreskosten ergeben sich bei Annahme minimaler und maximaler Betriebskosten für Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon Filtration. Die Jahreskosten können bei günstiger Kostenannahme der Betriebskosten um rd. 12 % unter den mittleren Kostenannahmen liegen und bei ungünstiger Kostenannahme um 19 % darüber (Variante 2.1). Bei der günstigsten Variante mit Ozonung (Variante 3.2) liegen Jahreskosten um 10% unter mittleren Jahreskosten und rd. 17% darüber bei ungünstiger Preisentwicklung.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung der verminderten Jahreskosten bei Förderung der Investitionskosten (Förderhöhe 70%) zeigt Bild 59.

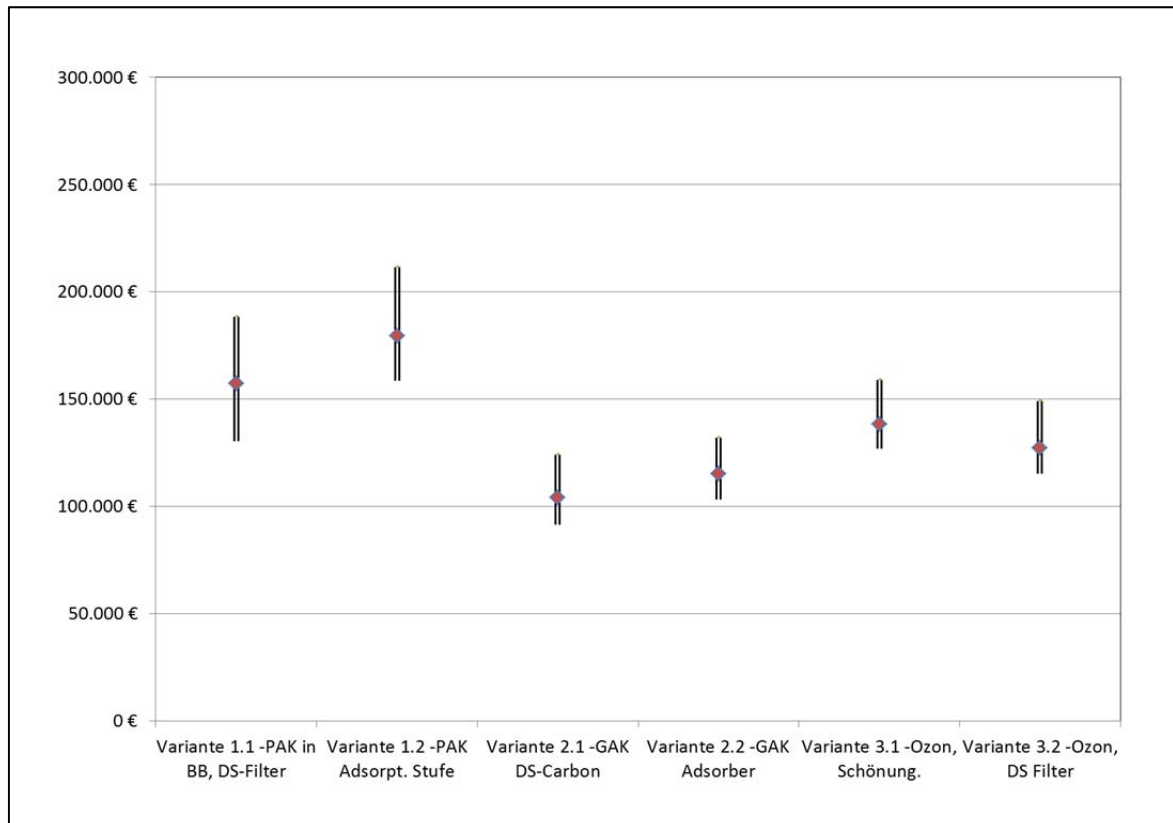


Bild 59: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten (netto)

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

Ebenfalls wird vereinfachend die Preisentwicklung zu null angenommen.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

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

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

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

10 Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

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

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

In der nachfolgenden Tabelle 24 werden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. Dabei werden die Jahreskosten mit Förderung sowie ohne Berücksichtigung der Schlammmentsorgung bewertet. Die Gewichtung wird mit einer Punktzahl von 1 bis 5 Nutzpunkten multipliziert, wobei die Punktzahl 1 der niedrigsten und die Punktzahl 5 der höchsten Zielerreichungsbewertung entspricht. Die Variante mit der jeweils höchsten Punktzahl, ist als Vorzugsvariante anzusehen.

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

Tabelle 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	Gewicht
Jahreskosten mit Förderung	25%	2	0,50	1	0,25	5	1,25	4	1,00	3	0,75	4	1,00
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlammments.	25%	5	1,25	3	0,75	5	1,25	4	1,00	3	0,75	4	1,00
Reinigungsleistung Spurenstoffe	10%	3	0,30	5	0,50	4	0,40	4	0,40	5	0,50	5	0,50
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	20%	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60	5	1,00	5	1,00
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	5	0,25	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	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Sensitivität Kostensteigerung	5%	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
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%	5	0,25	2	0,10	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Summe mit Förderung	100%		3,20		2,90		4,00		3,65		3,95		4,20
Summe - Förderung, ohne Schlammments.	100%		3,95		3,40		4,00		3,65		3,95		4,20

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

Die **Reinigungsleistung** für **Spurenstoffe** wird als wichtiges Kriterium mit 10% bewertet. Die Analytik zu vorhandenen Spurenstoffen auf der KA Langenberg hat keine wesentlichen Auffälligkeiten hinsichtlich der gefundenen Spurenstoffe gezeigt. Die Reinigungsleistung der Verfahren wird nach Bewertung von Literaturangaben für alle Verfahren als gut angesehen, auch wenn die Leistung für unterschiedliche Spurenstoffe variieren kann. Die Leistungsfähigkeit ist bei allen Verfahren bei Bedarf zu steigern, etwa durch höhere Ozondosierungen oder erhöhte PAK-Dosierung (Bewertung 5 Punkte). Die Steigerung der Leistung bei GAK Verfahren ist nur durch frühzeitigen Austausch von Filtermaterial möglich. Aufgrund der geringeren Flexibilität zur Leistungssteigerung wird eine Bewertung mit 4 Punkten vorgenommen. Als Nachteilig wird Variante 1.1 angesehen, da durch die direkte Zugabe in die Belebung eine Konkurrenzbelastung der Aktivkohle im Zuge der vorgelagerten Abwasserreinigungsstufen erfolgen kann. Eine insgesamt verminderte Steuerung der Spurenstoffentnahme, bzw. erforderliche überproportional hohe Dosierungen von PAK ist nicht auszuschließen (Bewertung 3 Punkte).

Eine erhöhte **Reinigungsleistung** (20%) für **P** und **CSB** wird aufgrund der Defizite im Gewässer als wichtig angesehen. Alle Verfahren sind hinsichtlich ergänzender P-Elimination ausgelegt (Bewertung 3 Punkte). Eine Verminderung des schwer abbaubaren CSB im Ablauf ist nur bedingt mit Aktivkohleadsorption zu erreichen, wie Batchversuche zeigen. Hier wird zunächst davon ausgegangen, dass Verfahren mit Ozonierung einen ergänzenden Abbau gewährleisten (5 Punkte).

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

Aktuelle Vorkommnisse auf Kläranlagen in NRW zeigen, dass in konventionellen Kläranlagen eine **Reduzierung** der **Legionellen**-Konzentration (5%) im Abwasserstrom unzureichend sein kann. Verfahrensstufen, die die Konzentrationen von Legionellen, aber auch Viren und Bakterien im Ablauf der Kläranlage reduzieren sind vorteilhaft. Potentiell sind hier Ozonanlagen am wirkungsvoll-

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

ten (5 Punkte). Von Filtersystemen unter Zufuhr von Luftsauerstoff wird eine begrenzte Reduzierung erwartet (3 Punkte). Ohne Luftsauerstoff wird eine geringe Reduzierung erwartet (2 Punkte). Quantitative Aussagen sind derzeit nur begrenzt möglich.

Die Bildung von **Transformationsprodukten** (5%) ist beim Einsatz von Oxidativen Verfahren gegeben. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte weitgehend abgebaut werden. Verfahren 3.2 berücksichtigt hierzu einen Sandfilter. Nachteile von Einleitungen nach Ozonbehandlung und biologischer Stufe für das Ökosystem des Gewässers in das eingeleitet wird sind bisher nicht bekannt. Bromid sollte bei Anwendung einer Ozonung nur in geringen Konzentrationen im Abwasser vorliegen (hier: im Bereich der Nachweisgrenze).

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

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

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

Die **Betriebssicherheit** (5%) betrifft u.a. das Verhalten bei Ausfall eines Aggregates und inwieweit ein redundanter Weiterbetrieb möglich ist. Die höchste Betriebssicherheit wird der PAK Dosierung sowie der Dyna-Sand Carbon Filtration und GAK Adsorber angenommen (4 Punkte). PAK Adsorp-

10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

tionsstufe und Ozonstufen werden durch den hohen Technikanteil im mittleren Bereich eingeschätzt (3 Punkte).

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

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die **CO₂-Bilanz** (5%) für Verfahren mit Ozonung und Aktivkohle in etwa vergleichbar einzuschätzen. Der Ozon- und Sauerstoffproduktion steht die Gewinnung, Aktivierung und Reaktivierung der Aktivkohle gegenüber. Die Verfahren werden einheitlich mit 4 Punkten bewertet.

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

Bewertung – Empfehlung

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt sowohl bei Vernachlässigung einer Förderung, als auch bei Berücksichtigung einer Förderung, für das Verfahren 3.2 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration mit 4,20 Nutzwertpunkten die höchste Bewertung.

Wird die Reinigungsleistung für CSB geringer gewichtet, zeigt die Variante 2.1 mit Dyna-Sand Carbon GAK Filtration eine etwa gleich hohe Bewertung. Für die Beurteilung der Oxidierbarkeit des schwer abbaubaren CSB im Ablauf sollten ergänzende Laborversuche vorgenommen werden, um die Bewertung zu verifizieren.

Vorzugsvariante ist unter den beschriebenen Randbedingungen die Variante 3.2 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration.

11 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt sechs verfahrenstechnische Varianten sowie zwei Untervarianten hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Langenberg 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 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 Tuchfilter 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 möglichen Landesförderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten (2017), ergeben sich Jahreskosten von rd. 151.000,-- € (brutto) für die Vorzugsvariante 3.2 mit Ozonung und Dyna-Sand-Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 16,54 €/EW/a bzw. 0,40 € 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 Gemeinde Langenberg eine Bewertungsskala von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) Nutzwertpunkten für jedes Kriterium eingeführt und mit einer Wichtung versehen.

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

11. Zusammenfassung

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante 3.2 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration mit einer Bewertung von 4,20 Nutzwertpunkten weiter zu verfolgen.

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

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

Es wird zunächst von einer Gleichwertigkeit der vorgeschlagenen Verfahren ausgegangen.

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

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

Durch die Ozonung wird erwartet, dass auch die schwer abbaubaren CSB Verbindungen im Ablauf der Kläranlage vermindert werden können. Hierzu sind weitere Untersuchungen im Labormaßstab erforderlich.

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

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH

Hannover, im August 2017

Dr.-Ing. Jens Knollmann

12 Literatur

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

Abschlussbericht Ozonung von gereinigtem Abwasser. Pilotversuch Regensdorf. Dübendorf.

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

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

BAFU (2012)

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

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

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

Becker, H.-P. (2013)

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

Benstöm, F.; Metzger S. (2015)

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

BMLFUW (2015)

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

Bode, H. (2014)

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

12. Literatur

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., Oechsli 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.

12. Literatur

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 IndustrieLangenbergag München.

MKULNV NRW (2013)

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

MKULNV NRW (2014)

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

MKULNV NRW (2015)

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

MKULNV NRW (2016)

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

MUNLV NRW (2009)

Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer. Integriertes Monitoringkonzept der landesspezifischen, nationalen und internationale Messprogramme. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen:
http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Monitoring#Monitoring_der_Oberfl.C3.A4chengew.C3.A4sser

NFP (2008)

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

Ozonía (2010)

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

Pinnekamp J.; Merkel W. (2008)

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

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

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

Schumacher, Nebocat (2009)

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

StGB NRW (2015)

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

Sürder, T. (2016)

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

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

Dem Fischrückgang auf der Spur, Schlussbericht des Projektes Netzwerk Fischrückgang Schweiz – „Fischnetz“, EAWAG, BUWAL, www.fischnetz.ch.

UBA - Umweltbundesamt (2012)

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

UBA - Umweltbundesamt (2014)

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

13 Anhang

13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

(1) Untersuchungen vom 03.05.2016 – 06.05.2016, 72h-Mischprobe

Probenahme: Ablauf Nachklärung, Kläranlage Langenberg

Analysennummer:		62087 194869	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Bromid (Br)	mg/l	0,06	DIN EN ISO 10304-1 (D 20)
Bezafibrat	µg/l	0,061	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	0,880	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	0,160	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	2,50	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	2,20	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	0,330	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,510	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	5,60	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,790	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	0,160	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,340	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	0,098	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
lomeprol	µg/l	0,110	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l	0,170	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	0,077	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	0,067	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	6,60	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	µg/l	< 5	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anlagen

Untersuchungen vom 04.05.2016, 12:45 Uhr qualifizierte Stichprobe

(1) = Forthbach unterhalb Einleitungsstelle

<i>Analysennummer:</i>		62088 194870	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Bezafibrat	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diclofenac	µg/l	0,330	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Naproxen	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Phenazon	µg/l	0,120	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Carbamazepin	µg/l	0,230	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Atenolol	µg/l	0,140	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Bisoprolol	µg/l	0,180	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Metoprolol	µg/l	0,990	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sotalol	µg/l	0,190	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Clarithromycin	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Sulfamethoxazol	µg/l	0,390	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Oxazepam	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iomeprol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopamidol	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Iopromid	µg/l	< 0,05	SOP: HM-MA-M U-2-25 ^a
Diuron	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Isoproturon	µg/l	0,510	DIN 38407-35 ^a
Terbutryn	µg/l	< 0,05	DIN 38407-35 ^a
Benzotriazol	µg/l	1,60	Hausmethode (LC-MS-MS)
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
17-beta-Estradiol	ng/l	< 1	Fl.-Extr., GC-MSD É
Estron	µg/l	< 1	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anlagen

(1) Untersuchungen vom 09.05.2017 – 12.05.2017, 72h-Mischprobe

Probenahme: Ablauf Teich, Kläranlage Langenberg

<i>Analysennummer:</i>		63843 203548	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Molybdän (Mo)	mg/l	< 0,01	DIN EN ISO 11885 (E 22)
Clarithromycin	µg/l	0,210	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Sulfamethoxazol	µg/l	0,420	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Carbamazepin	µg/l	1,00	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Metoprolol	µg/l	4,40	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Sotalol	µg/l	0,380	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Diclofenac	µg/l	3,90	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Acesulfam	µg/l	0,93	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Benzotriazol	µg/l	6,50	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Isoproturon	µg/l	0,440	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Terbutryn	µg/l	0,023	LC-MS/MS (in Anl. An DI..

Untersuchungen vom 12.05.2017, 9:20 Uhr qualifizierte Stichprobe

(1) = Forthbach oberhalb Einleitungsstelle

(2) = Forthbach unterhalb Einleitungsstelle

<i>Analysennummer:</i>		63844 203552	63845 203556	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Molybdän (Mo)	mg/l	< 0,005	< 0,005	DIN EN ISO 17294-2 (E 29)
Clarithromycin	µg/l	< 0,03	< 0,03	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,03	0,047	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Carbamazepin	µg/l	< 0,03	0,160	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Metoprolol	µg/l	< 0,03	0,730	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Sotalol	µg/l	< 0,03	0,035	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Diclofenac	µg/l	< 0,01	0,500	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Acesulfam	µg/l	0,32	0,43	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Benzotriazol	µg/l	0,083	1,00	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Isoproturon	µg/l	0,03	0,056	LC-MS/MS (in Anl. An DI..
Terbutryn	µg/l	0,02	0,02	LC-MS/MS (in Anl. An DI..

13.2 Abwassertechnische Berechnungen

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

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)

Variante 1.1 - PAK in Belebung mit Dyna-Sand Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m³/d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m³/d	
Jahresabwassermenge		435.784 m³/d	1.194 m³/d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m³/d	1.029 m³/d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m³/h	Bemessung KA

Auslegung PAK Dosierung

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK		20 - 30 mg/l	20 mg/l	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			2 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			42 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			1 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			21 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			638 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			7.654 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)			425 kg/m³	
erf. Lagervolumen pro Monat			1,5 m³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			4,5 m³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			50 m³	

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 6000 D-B			6 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m²	
Filterfläche gesamt			30 m²	
Oberflächenbelastung			9 m/h	
Spülwassermenge			90 m³/h	
Druckluftbedarf			28,8 Nm³/h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			96 t	
Volumen – Betonbauwerk (L x B x H)			242 m³	L*B*H = 8 m x 5,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m³	

13. Anlagen

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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

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

Auslegung Tuchfiltration

Polstoff-Tuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 9/45 B A4			9	Bem./Ausl. Mec.
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			45 m ²	
Stundendurchfluss mittel			88 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			280 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit max.			6,2 m/h	
Feststoffflächenbelastung zul.			0,2 kg/m ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) - 1 straßig			85 m ³	B*L*H = 3,0 m x 6 m x 4,7 m

Kontaktbecken - Nachfällung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{KB}		5 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		23 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB,gew.}		30 m ³	
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		2,5 m	
Oberfläche	A _{KB,gew.}		12 m ²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		4,0 m	
Breite Becken	B _{KB}		3,0 m	Oberfläche Ist: 12 m ²
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		2	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		,3 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P _{RW}		0,2 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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

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			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m ³ /d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		435.784 m ³ /d	1.194 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m ³ /d	1.029 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$.)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m ³ /h	Bemessung KA

Auslegung Kontaktbecken

Kontaktbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{KB}		30 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		44 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB,gew.}		65 m³	
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		2,0 m	
Oberfläche	A _{KB,gew.}		33 m ²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		9,9 m	
Breite Becken	B _{KB}		3,3 m	Oberfläche Ist: 32,7 m ²
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		3	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		,7 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	P _{RW}		0,2 kW	

Auslegung Absetzbecken

Absetzbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t _{AB}		120 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V _{KB,erf.}		176 m ³	
Tiefe, gewählt	T _{KB,gew.}		3,5 m	
Oberflächenbeschickung	q _{AB}		2,0 m/h	
Oberfläche erforderlich	A _{AB,erf.}		44 m ²	
Oberfläche gewählt	A _{AB,gew.}		50 m ²	
Volumen gesamt	V _{AB,ges.}		175 m³	
Anzahl Becken, Rundbecken	n _{AB}		1	
Durchmesser	D _{AB}		8,0 m	V _{Ist} = 175 m ³ , A _{Ist} = 50,3 m ²

13. Anlagen

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			25,0 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 Q _{T,max}			0,9 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei Q _{T,max}			21 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,max}		4,2 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei Q _{T,mittel}			0,4 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei Q _{T,mittel}			10 kg/d	
Suspension	Q _{PAK,mittel}		2,1 m ³ /d	
mittlere PAK-Dosierung bei Q _{T,mittel}			319 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei Q _{T,mittel}			3.827 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Anzahl Silo	n _{silo}		1	
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)	roh		425 kg/m ³	
erf. Lagervolumen pro Monat			0,75 m ³	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			2,25 m ³	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			50 m³	

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}		0,03 kg/h	
max. FHM Dosierung	Q _{max} x Dos _{max}		0,63 kg/d	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		0,009 kg/h	
mittlere FHM Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		0,21 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}		0,214 kg/h	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q _{mittel} x Dos _{mitte}		5,14 kg/d	
mittlere Fällmittelmenge pro Jahr			1.877 kg/a	

13. Anlagen

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWAA-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Oberflächenbelastung			14,00 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			166 m ³	5,5 m x 5,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

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

Auslegung Scheibentuchfiltration

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 9/45 B A4			9	Bem./Ausl. Mec.
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			45 m ²	
Stundendurchfluss max			280 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss mittel			88 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			6,2 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/m ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) - 1 straßig			85 m ³	B*L*H = 3,0 m x 6 m x 4,7 m

Auslegung Nachfällmittel-Dosierung

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS _{mittel, FM}		2,7 kg Fe/kg PFäll	DWAA-131
P-Ablaufkonzentration - mittel (Annahme)			1,0 mg/l	
P-Fracht Ablauf - mittel			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 2 - Mikroschadstoffelimination mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m ³ /d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		435.784 m ³ /d	1.194 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m ³ /d	1.029 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$.)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m ³ /h	Bemessung KA

Auslegung Dyna-Sand Carbon Filtration

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E		10-12 Stk.	4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
max. Oberflächenbelastung			4 m/h	
mittlere Oberflächenbelastung			2 m/h	
Spülwassermenge			15 m ³ /h	
Druckluftbedarf			23 Nm ³ /h	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m ³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			6,5 t/Filter	Typ DS 5000
			26 t/Filter- alle	
Gesamtmenge Aktivkohle			53 m³/Filter- alle	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	VGAK gesamt: 159 m ³		7.077 BV/a	
mittlere Aufenthaltszeit			1,24 h	
Aufenthaltszeit bei Q _{tmax}			0,67 h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)		rd.	166 m³	5,5 m x 5,5 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m ³	

13. Anlagen

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Oberflächenbelastung			14,00 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			166 m ³	5,5 m x 5,5 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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13. Anlagen

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

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m ³ /d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		435.784 m ³ /d	1.194 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m ³ /d	1.029 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$.)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m ³ /h	Bemessung KA

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	$A_{erf, Qmax}$		6 m ²	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qt}$		9 m ²	
Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter, gewählt	$A_{gew.}$		5 m ²	
Anzahl Filter (Betrieb)	n_{Filter}		2	
Anzahl Filter (Betrieb + 1 Rückspülfilter)	n_{Filter}		3	
Anzahl Filter, Reserve / Spülung			-	
Filterfläche gesamt (Betrieb ohne Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges}$		10 m²	
Filterfläche gesamt (Betrieb mit Rückspülfilter)	$A_{Filter, ges. einschl. RSF}$		15 m ²	
Filterhöhe	H_{Filter}		3,5 m	
Filtervolumen, pro Filter	V_{filter}		18 m ³	
Filtervolumen, gesamt	$V_{filter, ges.}$		53 m ³	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)			7.152 BV/a	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m ³	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			8,6 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			25,7 t	
mittlere Kontakt-/ Aufenthaltszeit (ges.) - 2 Filter			0,82 h	
Aufenthaltszeit bei Q_{Tmax} - 2 Filter			0,4 h	

13. Anlagen

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Oberflächenbelastung			14,00 m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			166 m³	5,5 m x 5,5 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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.1 - Ozonung, Tuchfiltration und Schönungsteich

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m ³ /d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		435.784 m ³ /d	1.194 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m ³ /d	1.029 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m³/h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m³/h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m³/h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m ³ /h	Bemessung KA

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{TOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel 2015 1-5/15)
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:				k.A.
Bromidkonzentration			0,06 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 / Tuchfiltration vorhanden

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 O ₃ /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 O ₃ / l	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	$C_{O3} = Z_{spez} \times C_{DOC}$		12 mg O ₃ / l	
maximale Auslegungswassermenge	$Q_{Bem} = Q_{T,h,max}$		88 m ³ /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [KOMZ])
minimale Auslegungswassermenge	$Q_{T,2h,min}$		15 m ³ /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	$Bo_{3,max} = Q_{Bem} \times C_{O3}$		1,06 kg O ₃ /h	
Maximale Ozon Produktionskapazität			25,34 kg O ₃ /d	
Mittlere Ozon Produktion	$Bo_{3,mittel} = Q_{T,mittel} \times C_{O3}$		0,51 kg O ₃ /h	
Mittlere Ozon Produktion			12,34 kg O ₃ /d	
Minimale Ozon Produktion	$Bo_{3,min} = Q_{T,2h,min} \times C_{O3}$		0,18 kg O ₃ /h	
Minimale Ozon Produktion			4,32 kg O ₃ /d	
Jährliche Ozon Produktion			4.506 kg O ₃ /a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			45.059 kg O ₂ /a	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

13. Anlagen

Wahl Ozonerzeuger				
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ , Produktgas	100 %, entspr. 148 gO ₃ /Nm ³	148 gO ₃ /Nm ³	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
Anzahl Generatoren	n		1	
max. Leistung Generator			1,66 kg O₃/h	
Leistung Generator			1,4 kg O ₃ /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			9,8 Nm ³ /h	
O ₂ /O ₃ Gasdurchsatz			9,5 Nm ³ /h	
Kühlwasserbedarf			4 m ³ /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,9 kWh/kg	
Energiebedarf gesamter Konverter			13,8 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}		88 m ³ /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V _{OR}		29 m ³	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V _{Gas}		15 m ³	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V _{ges., erf.}		44 m ³	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q _{Bem} X t _{Zehrung} /0,35		42 m ³ /h	Berücksichtigung Ungleichmäßiger Durchmischung
gesamtes Reaktorvolumen gewählt:	V _{ges.}		60 m³	entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 41 min
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A _{OR}		6 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR}		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR}		4 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR}		2 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V _{OR,gew.}		40 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A _{OR,gew.}		8 m ²	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h _{OR-A}		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A _{OR-A,gew.}		3 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR-A}		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR-A}		2 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR-A}		2 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V _{OR-A,gew.}		20 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A _{OR-A,gew.}		4 m ²	

13. Anlagen

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.})	BO ₃ , max / CO ₃ , Produktgas		7 m ³ /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, min.})	BO ₃ , min / CO ₃ , Produktgas		1 m ³ /h	> min. Diffusorsystem

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
maximale Menge O ₂			11 kg O ₂ /h	
maximale Menge O ₂			253 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			5,14 kg O ₂ /h	
mittlere Menge O ₂			123 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			45.059 kg O₂/a	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			25 l/s	

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit Schönungsteich			3,4 d	mittlerer SW Zufluss
Vorhandenes Volumen			3500 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.}		23 m ³	
Beckenvolumen, gewählt	V _{KB, gew.}		25 m³	
Tiefe, gewählt	T _{KB, gew.}		2,5 m	
Oberfläche	A _{KB, gew.}		10 m ²	
Anzahl Becken	n _{KB}		1	
Länge Becken	L _{KB}		4,0 m	
Breite Becken	B _{KB}		2,5 m	
Rührwerk - Anzahl	n _{Rühr}		2	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	E _{spez.}		10 W/m ³	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	E _{ges.}		,3 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	PRW		0,1 kW	

13. Anlagen

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 9/45 B A4			9 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			45 m ²	
Stundendurchfluss mittel			88 m ³ /h	Trockenwetter
Stundendurchfluss max			280 m ³ /h	
Filtergeschwindigkeit			6,2 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n ² /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) - 1 straßig			85 m³	B*L*H = 3,0 m x 6 m x 4,7 m

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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter		Bemessung	Bemerkung
Ausbaugröße KA			10.000 EW	
Bemessungsbelastung			8.723 EW	Zeitraum 2011 - 2015
Schmutzwasserzufluss Q_S			1.029 m ³ /d	
Fremdwasserzufluss Q_F			179 m ³ /d	
Jahresabwassermenge		435.784 m ³ /d	1.194 m ³ /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		375.491 m ³ /d	1.029 m ³ /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		24,4 l/s	88 m ³ /h	Bemessungswert ($Q_{T,h,max}$)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		11,9 l/s	43 m ³ /h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$		4,2 l/s	15 m ³ /h	
Mischwasserzufluss Q_m		78 l/s	280 m ³ /h	Bemessung KA

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C _{TOC}		16,7 mg TOC / l	(Mittel 2015 1-5/15)
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:				k.A.
Bromidkonzentration			0,06 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 / Tuchfiltration vorhanden

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 O ₃ /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 O ₃ / l	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	C _{O3} = Z _{spez} x C _{DOC}		12 mg O ₃ / l	
maximale Auslegungswassermenge	Q _{Bem.} = Q _{T,h,max}		88 m ³ /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [KOMZ])
minimale Auslegungswassermenge	Q _{T,2h,min}		15 m ³ /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B _{O3,max} = Q _{Bem.} x C _{O3}		1,06 kg O ₃ /h	
Maximale Ozon Produktionskapazität			25,34 kg O ₃ /d	
Mittlere Ozon Produktion	B _{O3,mittel} = Q _{T,mittel} x C _{O3}		0,51 kg O ₃ /h	
Mittlere Ozon Produktion			12,34 kg O ₃ /d	
Minimale Ozon Produktion	B _{O3,min} = Q _{T,2h,min} x C _{O3}		0,18 kg O ₃ /h	
Minimale Ozon Produktion			4,32 kg O ₃ /d	
Jährliche Ozon Produktion			4.506 kg O ₃ /a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			45.059 kg O ₂ /a	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

13. Anlagen

Wahl Ozonerzeuger				
Ozonkonzentration Produktgas	CO ₃ Produktgas	100 %, entspr. 148 gO ₃ /Nm ³	148 gO ₃ /Nm ³	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
Anzahl Generatoren	n		1	
max. Leistung Generator			1,66 kg O₃/h	
Leistung Generator			1,4 kg O ₃ /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			9,8 Nm ³ /h	
O ₂ /O ₃ Gasdurchsatz			9,5 Nm ³ /h	
Kühlwasserbedarf			4 m ³ /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,9 kWh/kg	
Energiebedarf gesamter Konverter			13,8 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}		88 m ³ /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V _{OR}		29 m ³	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V _{Gas}		15 m ³	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V _{ges.} , erf.		44 m ³	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q _{Bem.} x t _{Zehrung} /0,35		42 m ³ /h	0,35 = Faktor zur Berücksichtigung entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 41 min
gesamtes Reaktorvolumen gewählt:	V _{ges.}		60 m ³	
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche Ozonung ges.	A _{OR}		6 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR}		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR}		4 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR}		2 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V _{OR,gew.}		40 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A _{OR,gew.}		8 m ²	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h _{OR-A}		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A _{OR-A,gew.}		3 m ²	
Anzahl Becken (Kammern)	n _{OR-A}		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L _{OR-A}		2 m	
Breite gewählt (je Becken)	B _{OR-A}		2 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V _{OR-A,gew.}		20 m ³	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A _{OR-A,gew.}		4 m ²	

13. Anlagen

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.})	BO ₃ , max / CO ₃ , Produktgas		7 m ³ /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q _{O₂/O₃, min.})	BO ₃ , min / CO ₃ , Produktgas		1 m ³ /h	> min. Diffusorsystem

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO ₂ /kgO ₃	
maximale Menge O ₂			11 kg O ₂ /h	
maximale Menge O ₂			253 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			5,14 kg O ₂ /h	
mittlere Menge O ₂			123 kg O ₂ /d	
mittlere Menge O ₂			45.059 kg O₂/a	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			25 l/s	

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit Schönungsteich			3,4 d	mittlerer SW Zufluss
Vorhandenes Volumen			3500 m ³	Ist

Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4 Stk.	
Filterfläche je Einbauteil			5 m ²	
Filterfläche gesamt			20 m ²	
Oberflächenbelastung			14, m/h	
Spülwassermenge			18 m ³ /h	
Druckluftbedarf			17,3 Nm ³ /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			166 m³	5,5 m x 5,5 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			1,0 kg P/d	
mittlere Fällmittelmenge			2,8 kg/d	
jährliche Fällmittelmenge			1013,8 kg/a	

13.3 Kostenannahme

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

Zusammenfassung: Jahreskosten, Investitionskosten, Betriebskosten

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)

Variante 1.1 - PAK in Belegung 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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Ablaufleitung, DN 400	30	m	500 €	15.000 €
1.1.4	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
1.1.5	Dosierleitung PAK	50	m	150 €	7.500 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				52.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Reaktor	242	m³	500 €	121.000 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				146.000 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	35.000 €	35.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				35.000 €

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	200	m²	100 €	20.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				57.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				290.500 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anlagen

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		20.335 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				310.835 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 6 Stk	1	psch.	180.000 €	180.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung (64 t)				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.1.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	20.000 €	20.000 €
2.1.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	15.000 €	15.000 €
	Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration				215.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen	3	Stk.	6.500 €	19.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	8.000 €	8.000 €
	Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte				27.500 €

2.3	PAK-Silo, Fällmitteldosierung				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	75.000 €	75.000 €
2.3.2	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	300.000 €	300.000 €
2.3.3	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.3: PAK-Silo				380.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				627.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anlagen

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

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				53.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				310.835 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				627.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				53.000 €
	Summe Investkosten (netto)				991.335 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				198.267 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.189.602 €
	Mehrwertsteuer 19%				226.024 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.415.626 €

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				310.835 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				627.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				53.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				991.335 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.108 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				18.825 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.060 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				22.993 €/a

13. Anlagen

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	7,7 t/a		1500 €/t	11.475 €/a
	Sand	96 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	960 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.567 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,185€/kWh	2.025 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/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	0,185€/kWh	1.621 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				6.799 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	8 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25-30% TR)	1136 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		45,00 €/t	51.464 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.464 €/a

13. Anlagen

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				22.993 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.567 €/a
	Summe Energiebedarf				6.799 €/a
	Summe Schlammentsorgung				51.464 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				105.073 €
	Mehrwertsteuer 19%				19.964 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				125.037 €

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m ³ /a	20 mg/l	1200 €/t	9.012 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				9.012 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.463 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m ³ /a	10 mg/l	1500 €/t	5.632 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				5.632 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.843 €/a

13. Anlagen

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,14 €/kWh	1.532 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m ³ *m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				5.145 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.654 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		30 €/t	34.310 €/a
	Summe Schlammensorgung				34.310 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlere Kostenannahme				-17.155 €/a

Variante 1.1 - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m ³ /a	20 mg/l	1800 €/t	13.518 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.518 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.043 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m ³ /a	35 mg/l	1500 €/t	19.713 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				19.713 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				8.238 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,28 €/kWh	3.064 €/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.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				10.290 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				3.491 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		60 €/t	68.619 €/a
	Summe Schlammensorgung				68.619 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				17.155 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

Variante 1 - Mikorschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)

Variante 1.1b - PAK in Belegung 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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Zwischenpumpwerk - ST-Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Ablauf ST-Filter: DS - Ablaufleitung, DN 400	30	m	500 €	15.000 €
1.1.4	Dosierleitung PAK	50	m	150 €	7.500 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser , PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				52.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Scheibentuchfilter - Becken	85	m³	450 €	38.250 €
1.2.5	Kontaktreaktor P-Fällung	30	m³	450 €	13.500 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				76.750 €

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

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	200	m²	100 €	20.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				57.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				221.250 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anlagen

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		15.488 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				236.738 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Scheibentuchfilter, Kontaktbecken P				
2.1.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF9/45, 9 Filterscheiben	1	psch.	208.000 €	208.000 €
2.1.2	Prallwand, Tauchwand				enthalten
2.1.3	Filterreinigungssystem				enthalten
2.1.4	Filterantrieb				enthalten
2.1.5	Sammelleitung				enthalten
2.1.6	Wartungspodest				enthalten
2.1.7	Abspritzlanze				enthalten
2.1.8	Kran - Montage	1	psch.	15.000 €	15.000 €
2.1.9	Rührwerk Kontaktbecken	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				233.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen	3	Stk.	8.500 €	25.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	8.000 €	8.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				33.500 €

2.3	PAK-Silo, Fällmitteldosierung				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	75.000 €	75.000 €
2.3.2	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	300.000 €	300.000 €
2.3.3	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo				380.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		5.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				651.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anlagen

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

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				53.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				236.738 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				651.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				53.000 €
	Summe Investkosten (netto)				941.238 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				188.248 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.129.485 €
	Mehrwertsteuer 19%				214.602 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.344.087 €

Variante 1.1b - PAK in Belegung und Polstoff-Scheibentuchfiltration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				236.738 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				651.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				53.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				941.238 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				2.367 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				19.545 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.060 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				22.972 €/a

13. Anlagen

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	7,7 t/a		1500 €/t	11.550 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	7,7 t/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	29.755 €/Tuchwechsel	7.439 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				19.121 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,185€/kWh	2.025 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	0,5 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kW/a		0,185€/kWh	51 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,185€/kWh	73 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kW/a		0,185€/kWh	24 €/a
	Dosierpumpen PAK	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,185€/kWh	1.621 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	30 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	2.628 kWh/a		0,185€/kWh	486 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				5.204 €/a

13. Anlagen

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	8 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	1136 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		45,00 €/t	51.467 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.467 €/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				22.972 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				19.121 €/a
	Summe Energiebedarf				5.204 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.467 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				108.608 €
	Mehrwertsteuer 19%				20.635 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				129.243 €

Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	9.012 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				9.012 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.538 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	5.632 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				5.632 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-5.918 €/a

13. Anlagen

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,14 €/kWh	1.532 €/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	2.628 kWh/a		0,14 €/kWh	368 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				4.116 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.088 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		30 €/t	34.311 €/a
	Summe Schlammensorgung				34.311 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.156 €/a

Variante 1.1b - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	13.518 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.518 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				1.968 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	35 mg/l	1500 €/t	19.713 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				19.713 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				8.163 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,28 €/kWh	3.064 €/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	2.628 kWh/a		0,14 €/kWh	368 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,28 €/kWh	2.453 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				7.865 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.660 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1144 t/a		60 €/t	68.622 €/a
	Summe Schlammensorgung				68.622 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				17.156 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Dyna-Sand Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Dyna-Sand Filter - Ablaufleitung KA, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung DS Filter: Schacht Abl.leitung - DS-Filter, DN 400	40	m	500 €	20.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	60	m	250 €	15.000 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				87.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	65	m³	400 €	26.000 €
1.2.5	Absetzbecken	175	m³	350 €	61.250 €
1.2.6	Dyna-Sand-Reaktor	166	m³	450 €	74.700 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				226.950 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR, FHM	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				40.000 €

13. Anlagen

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m ²	100 €	40.000 €
1.4.7	Toranlage - Zaun	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.8	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				137.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				491.450 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		34.402 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				525.852 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	20	m	100 €	2.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
2.1.4	Absetzbecken techn. Ausrüstung	1	psch.	25.000 €	25.000 €
2.1.5	Räumer Absetzbecken	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung	1	psch.	300.000 €	87.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 4 Stk.	1	psch.	120.000 €	120.000 €
2.2.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.2.3	Sandlieferung (64 t)				enthalten
2.2.4	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
2.2.5	Verrohrung Innen				enthalten
2.2.6	Waschwasserreduzierung				enthalten
2.2.7	Drucksonde				enthalten
2.2.8	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.2.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				145.000 €

13. Anlagen

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	6.500 €	39.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	6.500 €	19.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				93.500 €

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.	70.000 €	70.000 €
2.4.3	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	300.000 €	300.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				405.000 €

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				738.000 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
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	2	Stk.	8.000 €	16.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				93.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				93.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				525.852 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				738.000 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				93.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.357.352 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				271.470 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.628.822 €
	Mehrwertsteuer 19%				309.476 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.938.298 €

13. Anlagen

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwasserermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				525.852 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				738.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				93.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.357.352 €
1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.259 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				22.140 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.870 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				29.269 €/a
2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	375.491 m³/a	5 mg/l	130 €/t	244 €/a
	Flockungshilfsmittel	375.491 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	188 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	3,8 t/a	10 mg/l	1500 €/t	5.741 €/a
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.944 €/a
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.)	875.568 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,185€/kWh	4.050 €/a

13. Anlagen

	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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,185€/kWh	607 €/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	2.919 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,185€/kWh	8 €/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	0,185€/kWh	2.269 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,185€/kWh	324 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	65 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	5.694 kWh/a		0,185€/kWh	1.053 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				11.465 €/a
4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	4 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	1 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % - 30% TR)	1136 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		45,00 €/t	51.338 €/a
	Summe Schlammensorgung				51.338 €/a

13. Anlagen

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				29.269 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.944 €/a
	Summe Energiebedarf				11.465 €/a
	Summe Schlammentsorgung				51.338 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				110.265 €
	Mehrwertsteuer 19%				20.950 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				131.216 €

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	437.784 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	5.253 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				5.253 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-487 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	437.784 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	5.253 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				5.253 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-487 €/a

13. Anlagen

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,14 €/kWh	3.064 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,14 €/kWh	460 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,14 €/kWh	6 €/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	5.694 kWh/a		0,14 €/kWh	797 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				8.676 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.789 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		30 €/t	34.225 €/a
	Summe Schlammensorgung				34.225 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.113 €/a

Variante 1.2 - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, DS-Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	437.784 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	7.880 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				7.880 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.140 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	437.784 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	13.134 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.134 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				7.393 €/a

13. Anlagen

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,28 €/kWh	6.129 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,28 €/kWh	919 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,28 €/kWh	12 €/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	5.694 kWh/a		0,28 €/kWh	1.594 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	9.977 kWh/a		0,28 €/kWh	2.793 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				16.773 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.308 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		60 €/t	68.450 €/a
	Summe Schlammensorgung				68.450 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				17.113 €/a

13. Anlagen

Klieranlage Langenberg

Variante 1 - Mikorschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)

Variante 1.b - 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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken - Tuchfilter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Tuchfilter - Ablaufleitung KA, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
1.1.6	RW-Zuleitung ST Filter: Schacht Abl.leitung - ST-Filter, DN 400	40	m	500 €	20.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	60	m	250 €	15.000 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser, PE-HD DN 200	100	m	200 €	20.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				87.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Kontaktreaktor	65	m ³	400 €	26.000 €
1.2.5	Absetzbecken	175	m ³	350 €	61.250 €
1.2.6	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	85	m ³	450 €	38.250 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				190.500 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Tuchfilteranlagen-Technik, EMSR, FHM	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				40.000 €

13. Anlagen

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m ²	100 €	40.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				127.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				445.000 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		31.150 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				476.150 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen, Beckenausrüstung				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	20	m	100 €	2.000 €
2.1.2	Dosierleitungen Fällmittel	50	m	100 €	5.000 €
2.1.3	Rührwerk Kontaktbecken	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
2.1.4	Absetzbecken techn. Ausrüstung	1	psch.	25.000 €	25.000 €
2.1.5	Räumer Absetzbecken	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 2.1: Rohrleitungen, Beckenausrüstung	1	psch.	300.000 €	87.000 €

2.2	Scheibentuchfilter				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF9/45, 9 Filterscheiben	1	psch.	208.000 €	208.000 €
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.	15.000 €	15.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				223.000 €

13. Anlagen

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumpe	6	Stk.	6.500 €	39.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	6.500 €	19.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				93.500 €

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.	70.000 €	70.000 €
2.4.3	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	300.000 €	300.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen				405.000 €

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				816.000 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
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	2	Stk.	8.000 €	16.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				93.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				93.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				476.150 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				816.000 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				93.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.385.650 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				277.130 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.662.780 €
	Mehrwertsteuer 19%				315.928 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.978.708 €

13. Anlagen

Variante 1.2.b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwassereremenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				476.150 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				816.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				93.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.385.650 €
1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				4.762 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				24.480 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.870 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				31.112 €/a
2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel	375.491 m³/a	5 mg/l	130 €/t	244 €/a
	Flockungshilfsmittel	375.491 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	188 €/a
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	3,8 t/a	10 mg/l	1500 €/t	5.700 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)				
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	29.755 €/Tuchwechsel	7.439 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.702 €/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.)	875.568 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,185€/kWh	4.050 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,185€/kWh	607 €/a

13. Anlagen

	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	2.919 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,185€/kWh	8 €/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	0,185€/kWh	2.269 €/a
	Räumer	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,185€/kWh	324 €/a
	Rührwerk				
	Beckenvolumen	150 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,185€/kWh	2.431 €/a
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	0,5 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kWh/a		0,185€/kWh	51 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kWh/a		0,185€/kWh	73 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kWh/a		0,185€/kWh	24 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				10.762 €/a
4	Schlamm Entsorgung (Verbrennung)				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	4 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	1 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge				
	mittlerer Feststoffgehalt	k.A.			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	1136 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		45,00 €/t	51.337 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				51.337 €/a

13. Anlagen

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				31.112 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.702 €/a
	Summe Energiebedarf				10.762 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				51.337 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				118.162 €
	Mehrwertsteuer 19%				22.451 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				140.613 €

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	4.506 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				4.506 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.194 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	4.506 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				4.506 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.194 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,14 €/kWh	3.064 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,14 €/kWh	460 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,14 €/kWh	6 €/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

13. Anlagen

	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kW/a		0,14 €/kWh	38 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kW/a		0,14 €/kWh	18 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				8.144 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.618 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		30 €/t	34.224 €/a
	Summe Schlammensorgung				34.224 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-17.112 €/a

Variante 1.2b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	6.759 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.759 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				1.059 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	375.491 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	11.265 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				11.265 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.565 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	21.889 kWh/a		0,28 €/kWh	6.129 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	3.283 kWh/a		0,28 €/kWh	919 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	44 kWh/a		0,28 €/kWh	12 €/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	273,8 kW/a		0,28 €/kWh	77 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				16.362 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.600 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	1141 t/a		60 €/t	68.449 €/a
	Summe Schlammensorgung				68.449 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				17.112 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 400	20	m	500 €	10.000 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - DS-C Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - DS und DS-C Filter - Ablaufleitung KA, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Washwasser Dyna-Sand-Carbon Anlage, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				57.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Dyna-Sand-Carbon Reaktor	166	m³	450 €	74.700 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	166	m³	450 €	74.700 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				184.400 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle - GAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				40.000 €

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.2	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.3	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	30.000 €	30.000 €
1.4.5	Straßen, Wege	200	m²	100 €	20.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				75.000 €

13. Anlagen

	Zwischensumme Baukosten:				356.900 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		24.983 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				381.883 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Dyna-Sand Carbon Filtration				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 DD, 4 Stk.	1	psch.	153.800 €	153.800 €
2.1.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.1.3	Aktivkohlelieferung (78t)				enthalten
2.1.4	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
2.1.5	Verrohrung Innen				enthalten
2.1.6	Waschwasserreduzierung				enthalten
2.1.7	Drucksonde				enthalten
2.1.8	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.1.9	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				178.800 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 4 Stk.	1	psch.	120.000 €	120.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	17.000 €	17.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				147.000 €

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumpe	6	Stk.	6.500 €	39.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	2	psch.	10.000 €	20.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				59.000 €

13. Anlagen

2.4	Dosieranlagen				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	70.000 €	70.000 €
2.5	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				462.300 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

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.	8.000 €	8.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	7.000 €	7.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand, Dyna-Sand Carbon Anlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				100.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				100.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				381.883 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				462.300 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				100.000 €
	Summe Investkosten (netto)				944.183 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				188.837 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.133.020 €
	Mehrwertsteuer 19%				215.274 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.348.293 €

13. Anlagen

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				381.883 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				462.300 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				100.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				944.183 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.819 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				13.869 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.000 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				19.688 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	7.077 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	26 t/a	0,7 Füllung/a	1300 €/t	23.920 €/a
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				24.692 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,185€/kWh	2.430 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	375.491 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	11.265 kWh/a		0,185€/kWh	2.084 €/a

13. Anlagen

	Kompressorstationen	11,0 kW		
	Laufzeit pro Tag	6 h/d		
	Kompressorstation - Energiebedarf	24.090 kWh/a	0,185€/kWh	4.457 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a	0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf			9.895 €/a

4	Schlammensorgung (Verbrennung)			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung		45,00 €/t	
	Summe Schlammensorgung			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			19.688 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe			24.692 €/a
	Summe Energiebedarf			9.895 €/a
	Summe Schlammensorgung			0 €/a
	Summe Personalkosten			8.438 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)			62.713 €
	Mehrwertsteuer 19%			11.915 €
	Summe Betriebskosten (brutto)			74.628 €

13. Anlagen

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)	26 t/a	0,7 Füllung/a	1100 €/t	20.240 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.240 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-4.452 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	26 t/a	0,54 Füllung/a	1300 €/t	18.400 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				18.400 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.292 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,14 €/kWh	1.839 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,14 €/kWh	1.839 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,14 €/kWh	3.373 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				7.750 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.145 €/a

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	26 t/a	0,7 Füllung/a	1600 €/t	29.440 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				29.440 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				4.748 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	26 t/a	1,01 Füllung/a	1300 €/t	34.172 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.172 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				9.480 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,28 €/kWh	3.677 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,28 €/kWh	3.677 €/a
	Kompressorstationen - Energiebedarf	24.090 kWh/a		0,28 €/kWh	6.745 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				15.500 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				5.605 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf DS-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DS-Reaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf DS-C-Reaktor: DS-Reaktor-Zw. Pumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Zulauf DS-C-Reaktor: Zw.pumpwerk - Adsorberstufe, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf: DS Filter, Adsorberstufe - Ablaufleit.KA, DN 400	35	m	500 €	17.500 €
1.1.5	Zulaufleitung Spülwasser Festbettfilter	30	m	300 €	9.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Washwasser Festbettfilter, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				64.000 €
1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung KA	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Schacht - Entnahme Spülwasser	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	166	m³	450 €	74.700 €
1.2.6	MID-Schacht (Zulauf)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				119.700 €
1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle, Container - GAK, Festbettfilter Technik, EMSR	1	psch.	40.000 €	40.000 €
1.3.2	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				40.000 €

13. Anlagen

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Fundament Festbettfilter	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	25.000 €	25.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	300	m ²	100 €	30.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Adsorber	25,7	t	1.300 €	33.410 €
	Summe 1.4 Sonstiges				132.910 €

	Zwischensumme Baukosten:				356.610 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		24.963 €

1	Summe Baukosten:				381.573 €
----------	-------------------------	--	--	--	------------------

2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Schwerkraftfilter				
2.1.1	Festbettfilter 4 Stk.	3	Stk.	80.000 €	240.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				260.000 €

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000, 4 Stk.	1	psch.	120.000 €	120.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	psch.	15.000 €	15.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				145.000 €

13. Anlagen

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpwerk, Spülwasserpumpwerk	9	Stk.	6.500 €	58.500 €
2.2.2	Gebälse	4	Stk.	7.500 €	30.000 €
2.2.3	Armaturen, Schieber	1	psch.	25.000 €	25.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				113.500 €

2.3	Dosieranlagen				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	70.000 €	70.000 €
2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		10.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				598.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

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.	8.000 €	8.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	10.000 €	10.000 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Festbettfilter, Dyna-Sand Filter	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				103.000 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				103.000 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				381.573 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				598.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				103.000 €
	Summe Investkosten (netto)				1.083.073 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				216.615 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.299.687 €
	Mehrwertsteuer 19%				246.941 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.546.628 €

13. Anlagen

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				381.573 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				598.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				103.000 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.083.073 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.816 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				17.955 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.060 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				23.831 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	jährlich zu behandelnde Bettvolumina (BV)	7.152 BV/a			
	Standzeit GAK, behandelndes BV - Annahme	10.000 BV/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	25,7 t/a	0,7 Füllung/a	1300 €/t	23.895 €/a
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				24.667 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,185€/kWh	2.430 €/a

13. Anlagen

	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	375.491 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	11.265 kWh/a		0,19 €/kWh	2.084 €/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		0,19 €/kWh	292 €/a
	Spülluftgebläse	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	0,5 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,19 €/kWh	338 €/a
	Kompressorstation	3,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	6.570 kWh/a		0,19 €/kWh	1.215 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,19 €/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				7.283 €/a

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

13. Anlagen

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				23.831 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				24.667 €/a
	Summe Energiebedarf				7.283 €/a
	Summe Schlammentsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				9.844 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				65.625 €
	Mehrwertsteuer 19%				12.469 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				78.093 €

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)	25,7 t/a	0,7 Füllung/a	1100 €/t	20.219 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				20.219 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-4.448 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	25,7 t/a	0,55 Füllung/a	1300 €/t	18.381 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				18.381 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.286 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,14 €/kWh	1.839 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,14 €/kWh	1.839 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,14 €/kWh	256 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,14 €/kWh	221 €/a
	Kompressorstation	6.570 kWh/a		0,14 €/kWh	920 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				5.773 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-1.510 €/a

13. Anlagen

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	25,7 t/a	0,7 Füllung/a	1600 €/t	29.409 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				29.409 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				4.742 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	25,7 t/a	1,0 Füllung/a	1300 €/t	34.135 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.135 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				9.469 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,28 €/kWh	3.677 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 Pumpkosten	13.134 kWh/a		0,28 €/kWh	3.677 €/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.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				9.707 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				2.424 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg
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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Scheibenfilter: Zwischenpumpwerk - Scheibenfilter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.3	Zulauf Ozonreaktor: Scheibenfilter - Zwischenpumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf Ozonreaktor: Ozonreaktor - Ablaufleitung, Ablauf ST-Filter DN 400	40	m	550 €	22.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Scheibenfilter, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				59.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung KA	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Ozonreaktor	60	m ³	550 €	33.000 €
1.2.5	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	85	m ³	450 €	38.250 €
1.2.6	Kontaktreaktor P-Fällung	25	m ³	400 €	10.000 €
1.2.7	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				116.250 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzellen / Container - Ozonanlage, Scheibenfilter-Technik, EMSR	1	psch.	40.000 €	40.000 €

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.	7.500 €	7.500 €
1.4.5	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.6	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	200	m ²	100 €	20.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				78.500 €

13. Anlagen

	Zwischensumme Baukosten:				294.250 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		20.598 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				314.848 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

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	Container				
2.1.8	Transport, Inbetriebnahme				
	Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage	1	psch.	400.000 €	400.000 €

2.1	Scheibentuchfilter				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF9/45, 9 Filterscheiben	1	psch.	208.000 €	208.000 €
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.	15.000 €	15.000 €
	Summe 2.2: Tuchfiltration				223.000 €

2.2	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.2.1	Pumpen	6	Stk.	6.500 €	39.000 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	2	psch.	10.000 €	20.000 €
2.2.3	Umliegung Meßstelle Ablauf KA, Ablauf Schönungsteich	1	psch.	0 €	0 €
	Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte				59.000 €

13. Anlagen

2.3	Dosieranlagen				
2.3.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	70.000 €	70.000 €

2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.000 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				759.000 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.2	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
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.	8.000 €	8.000 €
3.1.8	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				80.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				80.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	Kostenzusammenstellung				
1.	Summe Baukosten				314.848 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				759.000 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				80.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.154.348 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				230.870 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.385.217 €
	Mehrwertsteuer 19%				263.191 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.648.408 €

13. Anlagen

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasseremenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				314.848 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				759.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				80.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.154.348 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.148 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				22.770 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.610 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				27.528 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Sauerstoff	45.059 kgO ₂ /a		200 €/t	9.012 €/a
	Ozon	4.506 kgO ₃ /a			
	Filtertücher u.a. Ers.teile		0,25 Ersatztuch/a	29.755 €/Tuchwechsel	7.439 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				16.582 €/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	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	7.661 kWh/a		0,185€/kWh	1.417 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	375.491 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,185€/kWh	1.737 €/a

13. Anlagen

	Ozonng				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	14 kW			
	Lastfaktor (Teillast)		0,95		
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,185€/kWh	21.246 €/a
	spez. Energiebedarf	25 kWh/kgO3			
	Energiekosten Scheibentuchfilter				
	Filterantrieb	0,5 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kW/a		0,185€/kWh	51 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,185€/kWh	73 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kW/a		0,185€/kWh	24 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				25.473 €/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				27.528 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				16.582 €/a
	Summe Energiebedarf				25.473 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				80.834 €
	Mehrwertsteuer 19%				15.358 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				96.192 €

13. Anlagen

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich
Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	45.059 kgO ₂ /a		150 €/t	6.759 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.759 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.253 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (8 mgO ₃ /l)	30.039 kgO ₂ /a		200 €/t	6.008 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.008 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.004 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1. Pumpkosten	7.661 kWh/a		0,14 €/kWh	1.073 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,14 €/kWh	1.314 €/a
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,14 €/kWh	16.078 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kW/a		0,14 €/kWh	38 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kW/a		0,14 €/kWh	18 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				19.277 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.196 €/a

13. Anlagen

Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	45.059 kgO ₂ /a		300 €/t	13.518 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.518 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				4.506 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (16 mgO ₃ /l)	60.079 kgO ₂ /a		200 €/t	12.016 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.016 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				3.004 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1. Pumpkosten	7.661 kWh/a		0,28 €/kWh	2.145 €/a
	Zwischenpumpwerk 2. Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,28 €/kWh	2.628 €/a
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,28 €/kWh	32.156 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	273,8 kW/a		0,28 €/kWh	77 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,28 €/kWh	110 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	131,4 kW/a		0,28 €/kWh	37 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				38.554 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				13.081 €/a

13. Anlagen

Kläranlage Langenberg

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 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	10	m	400 €	4.000 €
1.1.3	Zulauf Dyna-Sandreaktor: Ozonreaktor - Zwischenpumpwerk-DS-Reaktor, DN 400	20	m	400 €	8.000 €
1.1.4	Zulauf RW Dyna-Sand-Reaktor: Abl.leitung - DS-Filter , DN 400	40	m	500 €	20.000 €
1.1.5	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS -Ablauf KA, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Washwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	75	m	200 €	15.000 €
	Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten				59.500 €

1.2	Bauwerke Tiefbau, Schächte				
1.2.1	Schacht Ablaufleitung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.2	Schacht Zwischenpumpwerk	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
1.2.3	Schacht Ablaufleitung - Schönungsteich	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
1.2.4	Ozonreaktor	60	m³	550 €	33.000 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	166	m³	450 €	74.700 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte				142.700 €

1.3	Bauwerke Hochbau				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	0	psch.	35.000 €	0 €
1.3.2	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	40.000 €	40.000 €
	Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:				40.000 €

13. Anlagen

1.4	Sonstiges				
1.4.1	Fundamente Silo, Kühler	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Sauerstofftank - Miettank (in O2-Lieferung enthalten)	1	psch.	0 €	0 €
1.4.3	Fundament Fertigcontainer	2	psch.	7.000 €	14.000 €
1.4.4	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.6	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	20.000 €	20.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	200	m ²	100 €	20.000 €
	Summe 1.4 Sonstiges				81.000 €

	Zwischensumme Baukosten:				323.200 €
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		22.624 €

1	Gesamtsumme Baukosten:				345.824 €
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

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	Container				
2.1.6	Kühlwasser Versorgung.				
2.1.7	Verbindende Rohrleitungen				
2.1.8	Transport, Inbetriebnahme				
	Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage	1	psch.	400.000 €	400.000 €

13. Anlagen

2.2	Dyna-Sand Filtration				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 6000,4Stk.	1	psch.	120.000 €	120.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung				enthalten
	Bühnenkonstruktion, Abdeckung Gitterrosten				enthalten
	Verrohrung Innen				enthalten
	Waschwasserreduzierung				enthalten
	Drucksonde				enthalten
2.2.2	Kompressorstation Dyna-Sand Anlage	1	pach.	15.000 €	15.000 €
2.2.3	Fracht, Montage, Inbetriebnahme	1	pach.	8.000 €	8.000 €
	Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration				143.000 €

2.3	Zwischenpumpwerk, Schächte				
2.3.1	Pumpen	6	Stk.	6.500 €	39.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte				49.000 €

2.4	Dosieranlagen				
2.4.1	Dosierstation Fällmittel	1	Stk.	70.000 €	70.000 €

2.5	Baustelleneinrichtung				
2.5.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

2	Summe Maschinentechnik Kosten:				669.500 €
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

3	EMSR Kosten				
3.1	EMSR - Technik				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.2	Ozon-, Sauerstoff-Umgebungsmessung				in 2.1 enthalten
3.1.3	C(O3) - Messung Abgas				in 2.1 enthalten
3.1.4	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.5	Lokale SPS				in 2.1 enthalten
3.1.6	MID DN 400	1	Stk.	8.000 €	8.000 €
3.1.7	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.8	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	Summe 3.1: EMSR-Technik				80.500 €

3	Summe EMSR-Technik Kosten:				80.500 €
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

13. Anlagen

Kostenzusammenstellung					
1.	Summe Baukosten				345.824 €
2.	Summe Maschinentechnik Kosten				669.500 €
3.	Summe EMSR-Technik Kosten				80.500 €
	Summe Investkosten (netto)				1.095.824 €
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				219.165 €
	Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)				1.314.989 €
	Mehrwertsteuer 19%				249.848 €
	Summe Investkosten (brutto)				1.564.837 €

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Kostenannahme - Betriebskosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	Betriebswerte				
	Jährliche Abwasserermenge	437.784 m³/a			
	Jährliche Schmutzwassermenge	375.491 m³/a			
	Investitionskosten				
	Gesamtsumme Baukosten:				345.824 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				669.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				80.500 €
	Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto				1.095.824 €

1	Wartung und Instandhaltung				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.458 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				20.085 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.610 €/a
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				25.153 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Fällmittel (Nachfällung)	1,014 t/a		130 €/t	132 €/a
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Sauerstoff	45.059 kgO ₂ /a		200 €/t	9.012 €/a
	Ozon	4.506 kgO ₃ /a			
	Summe Verbrauchsstoffe				9.784 €/a

13. Anlagen

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	375.491 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,185€/kWh	1.737 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	437.784 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,185€/kWh	2.025 €/a
	Kompressorstation	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,185€/kWh	2.228 €/a
	Ozonng				
	spez. Energiebedarf gesamt (Konverter)	14 kW			
	Lastfaktor (Teillast)		0,95		
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,185€/kWh	21.246 €/a
	spez. Energiebedarf	25 kWh/kgO3			
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,185€/kWh	925 €/a
	Summe Energiebedarf				28.161 €/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

13. Anlagen

	Summe Betriebskosten				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				25.153 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				9.784 €/a
	Summe Energiebedarf				28.161 €/a
	Summe Schlamm Entsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	Summe Betriebskosten (netto)				74.348 €
	Mehrwertsteuer 19%				14.126 €
	Summe Betriebskosten (brutto)				88.474 €

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	45.059 kgO ₂ /a		150 €/t	6.759 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.759 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-2.253 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (8 mgO ₃ /l)	30.039 kgO ₂ /a		200 €/t	6.008 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				6.008 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-3.004 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,14 €/kWh	1.314 €/a
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,14 €/kWh	16.078 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,14 €/kWh	1.532 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,14 €/kWh	700 €/a
	Summe Energiebedarf				21.311 €/a
	Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				-6.850 €/a

13. Anlagen

Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten

1	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff	45.059 kgO2/a		300 €/t	13.518 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				13.518 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				4.506 €/a

2	Verbrauchsstoffe				
	Sauerstoff (16 mgO3/l)	60.079 kgO2/a		200 €/t	12.016 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				12.016 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				3.004 €/a

3	Energiebedarf				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	9.387 kWh/a		0,28 €/kWh	2.628 €/a
	Energiebedarf Ozonung	114.844 kWh/a		0,28 €/kWh	32.156 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	10.945 kWh/a		0,28 €/kWh	3.064 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,28 €/kWh	3.373 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	5.000 kWh/a		0,28 €/kWh	1.400 €/a
	Summe Energiebedarf				42.622 €/a
	Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme				14.461 €/a

13.4 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination

Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

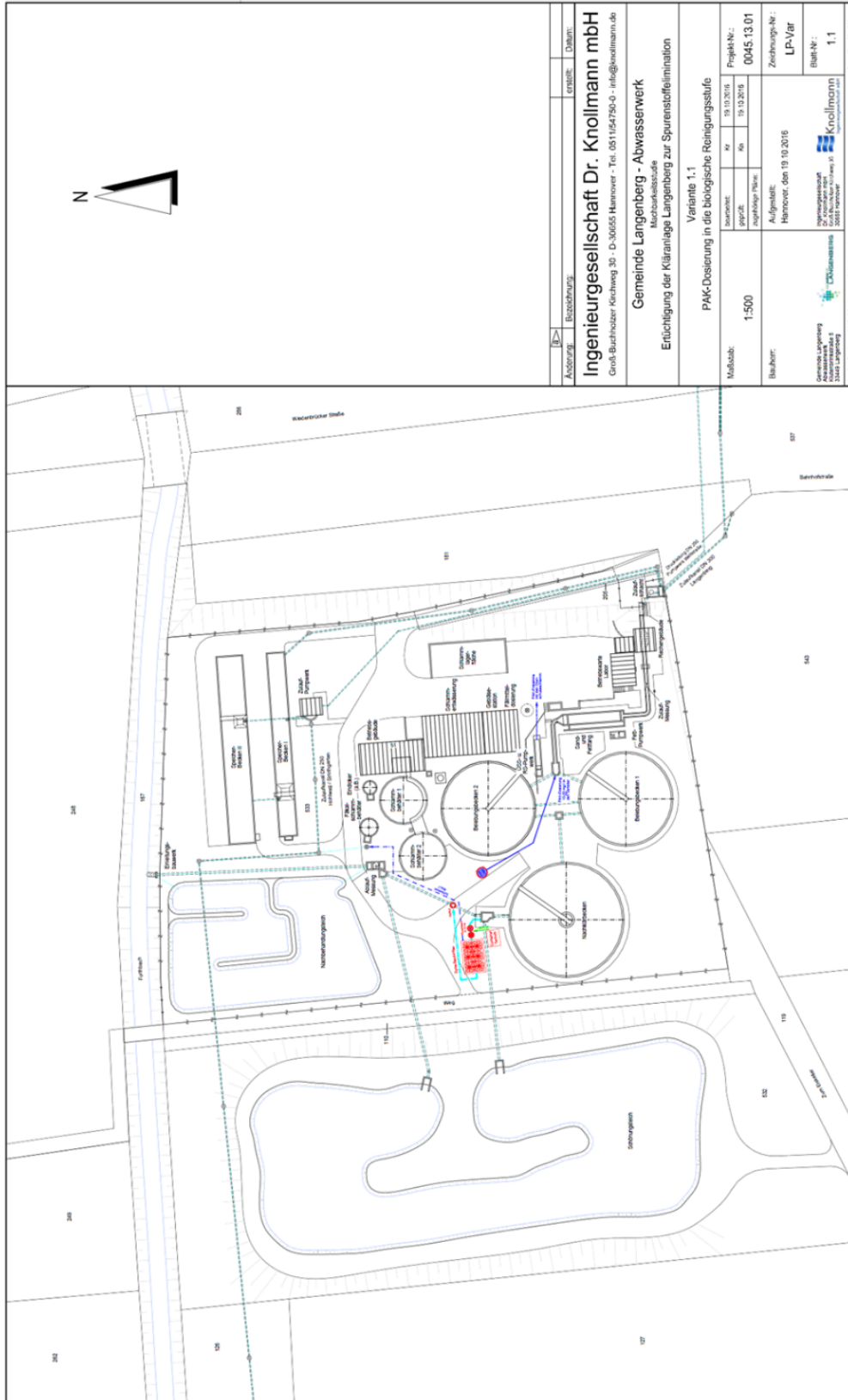
Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter

Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber, mit vorgeschaltetem Dyna-Sand Filter

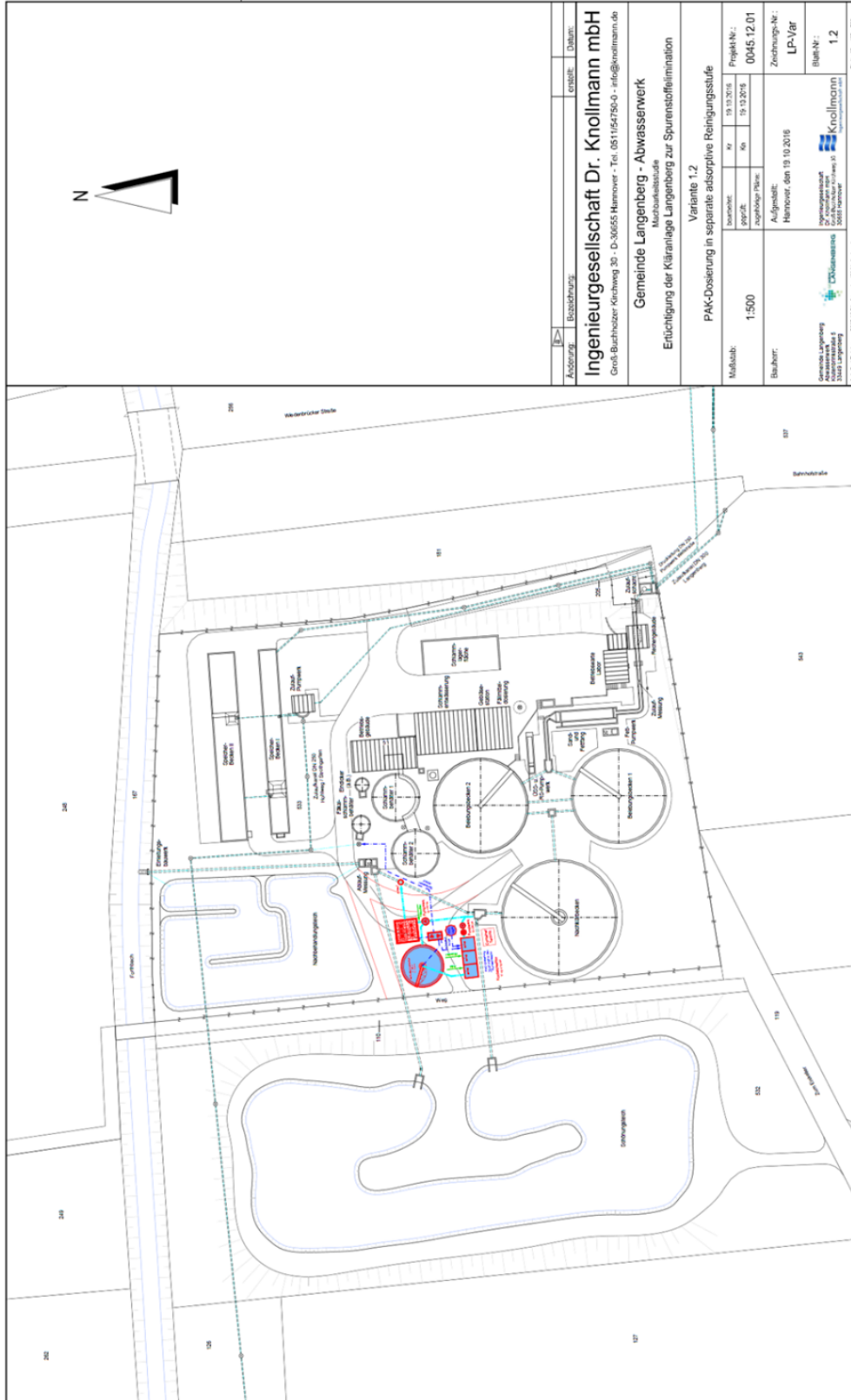
Variante 3.1 Qxidation mit Ozon – Ozonung, vorgeschalteter Tuchfilter, nachgesch. Schönungsteich

Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

13. Planunterlagen

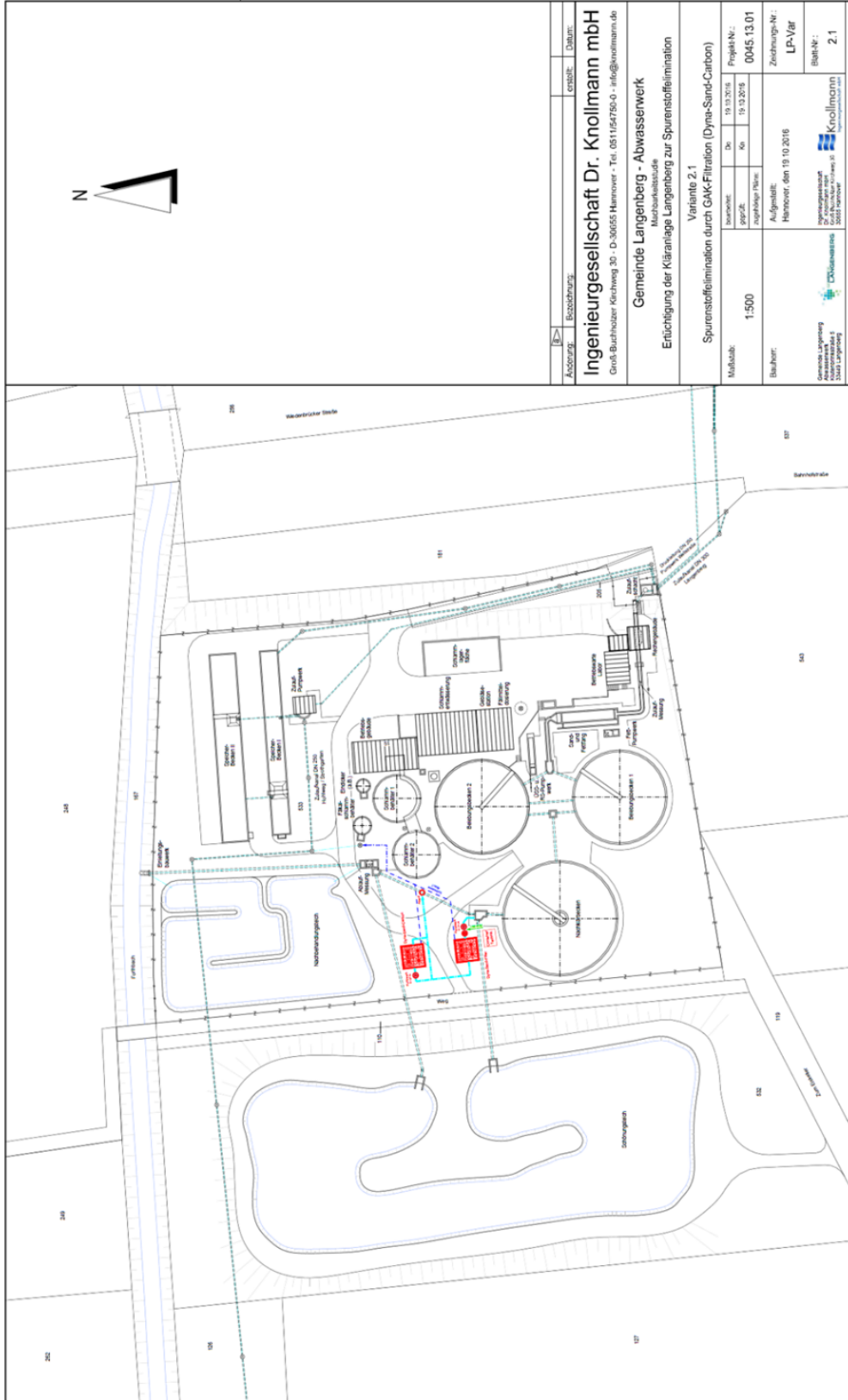


13. Planunterlagen



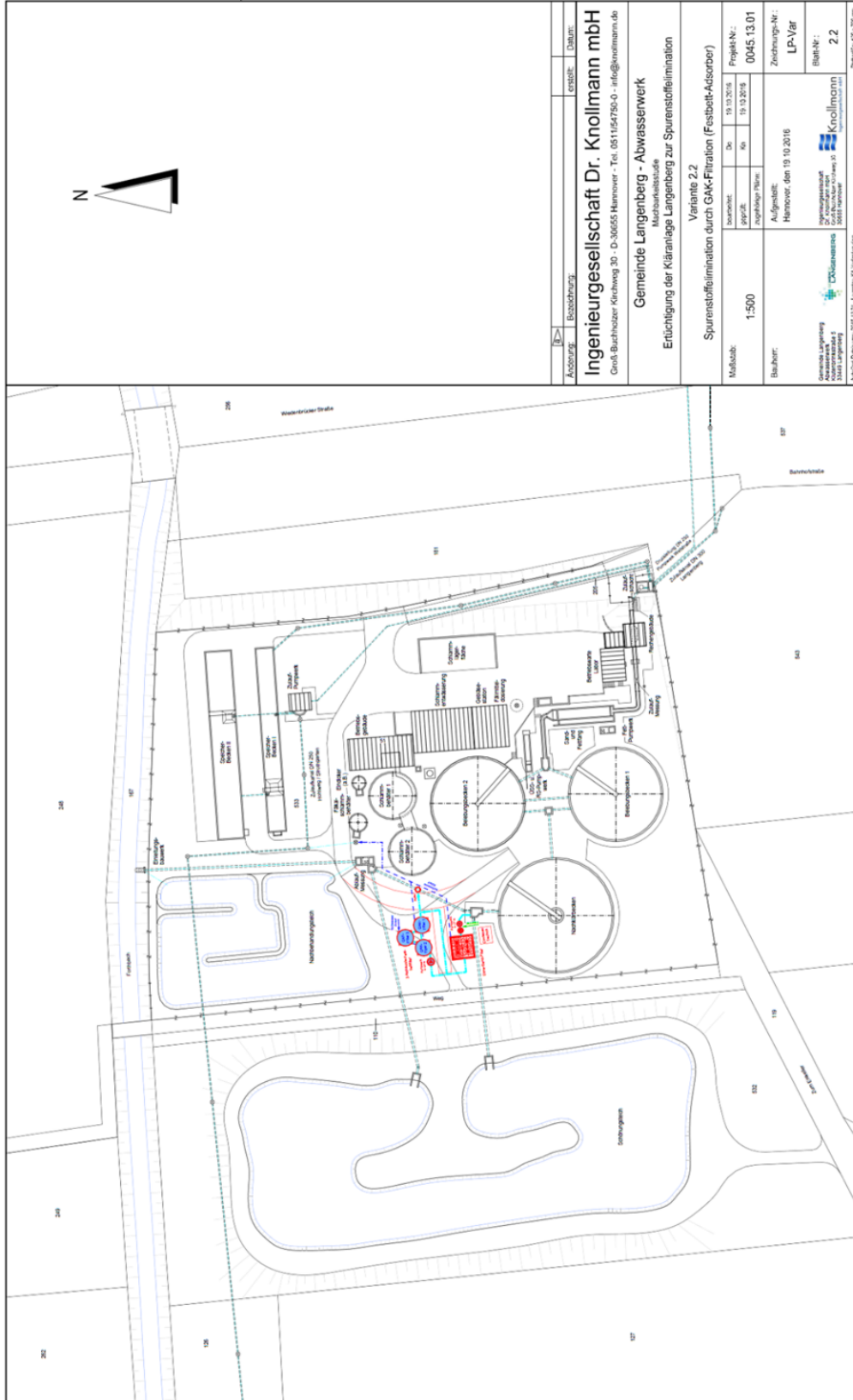
Änderung: <input type="checkbox"/> Bezeichnung: <input type="checkbox"/> erstellt: <input type="checkbox"/> Datum: <input type="checkbox"/>	
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH Groß-Buchholzer Kirchweg 30 · D-30655 Hannover · Tel. 0511/56756-0 · info@knollmann.de	
Gemeinde Langenberg - Abwasserwerk Mehrbauwerkstufe	
Erüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination	
Variante 1,2 PAK-Dosierung in separate adsorptive Reinigungsstufe	
M Maßstab: 1:500	Bauvermerk: Nr. 19.10.2016 Projekt-Nr.: 0045.12.01 19.10.2016 19.10.2016 zugrunde liegende Pläne: Aufgestellt: Hannover, den 19.10.2016 Zeichnungs-Nr.: LP-Var Blatt-Nr.: 1,2
Bauherr:	Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH 30655 Hannover
Gemeindefachbereich Abwassertechnik 30655 Langenberg	
Knollmann Ingenieurgesellschaft mbH www.knollmann.de	
Maßstab: 1:500 Blatt-Nr.: 1,2 Blatt-Titel: Lärmschutz- und Umgebungsplanung	

13. Planunterlagen



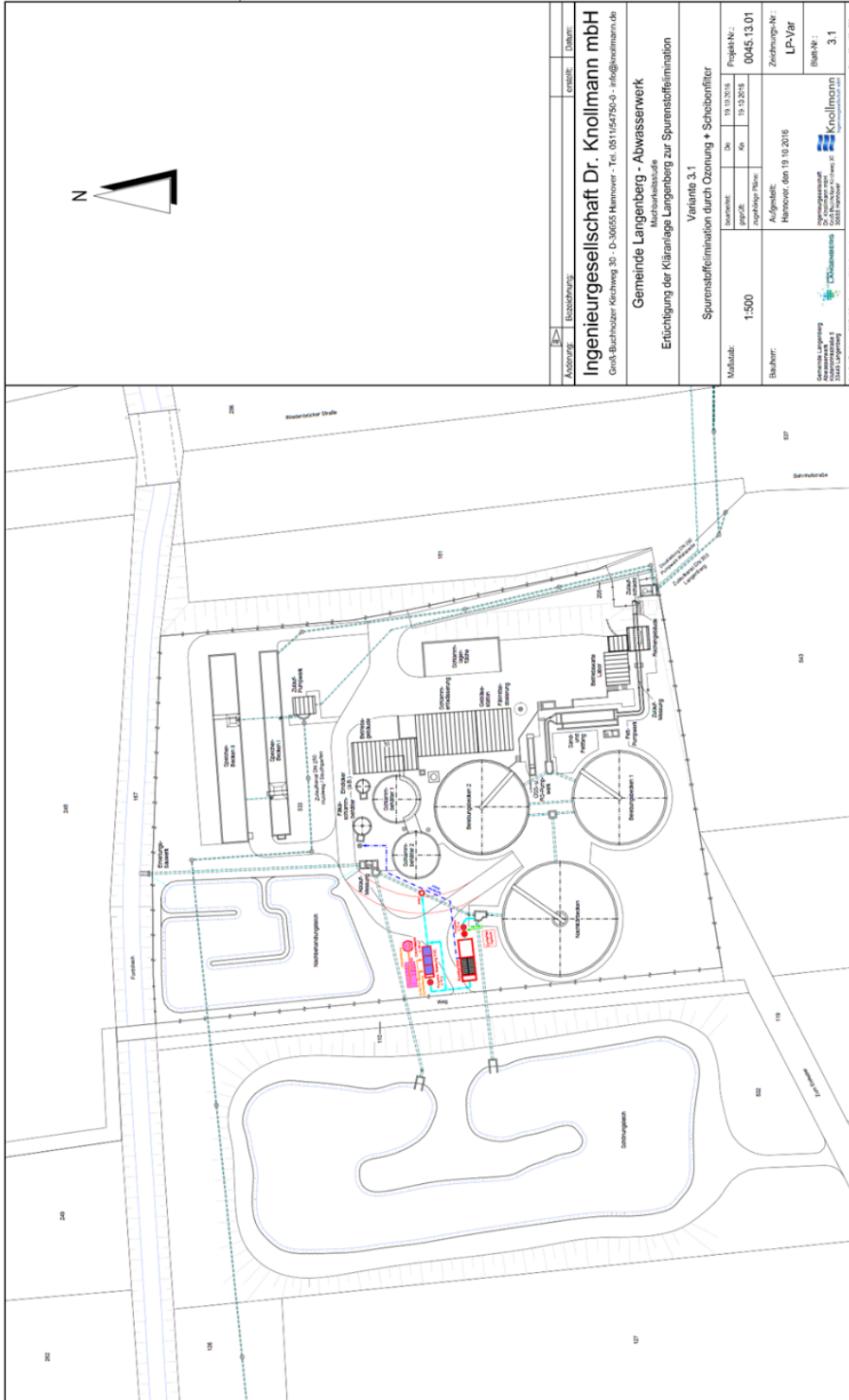
Autor:	Beschreibung:	Erstellt:	Datum:
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH Groß-Buchhazer Kirchweg 30 · D-30655 Hannover · Tel. 0511/54750-0 · info@knollmann.de			
Gemeinde Langenberg - Abwasserwerk Müllbaukassette Erüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination			
Variante 2.1 Spurenstoffelimination durch GAK-Filtration (Dyna-Sand-Carbon)			
Maßstab:	1:500	bovorw. Nr.:	19.10.2016
		proj. Nr.:	0045.13.01
		Zugabe Nr.:	19.10.2016
Blaßner:		Aufgestellt:	Hannover, den 19.10.2016
		Zeichnungs-Nr.:	LP-Vgr
		Blatt-Nr.:	2.1
<small>Knollmann Ingenieurgesellschaft mbH, Langenberg, 2016.11.11. Langenberg, 10.11.2016</small>			

13. Planunterlagen



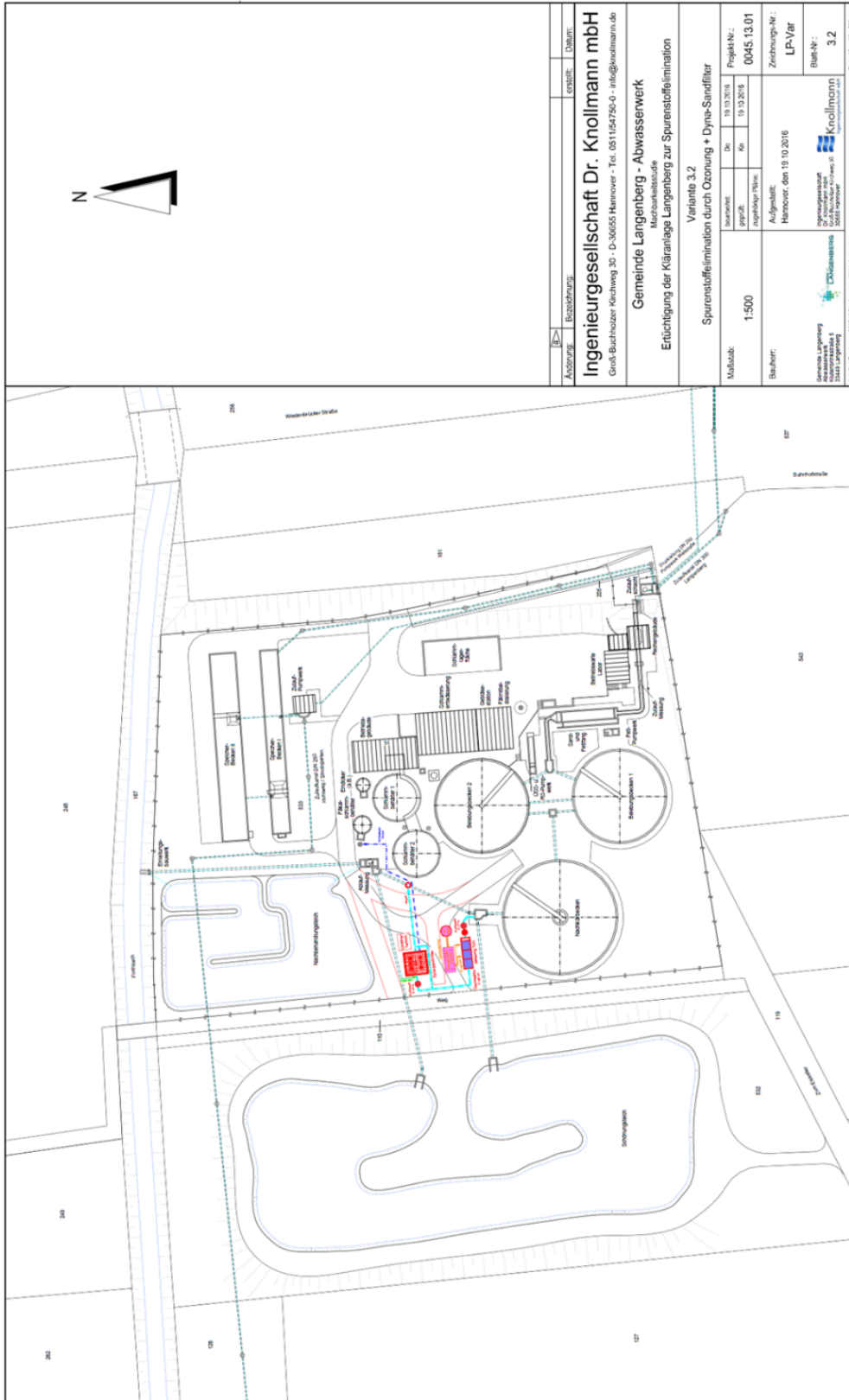
Anzeige: <input type="checkbox"/> Beschriftung: <input type="checkbox"/> erstellt: <input type="checkbox"/> Datum: <input type="checkbox"/>	
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH Groß-Buchholzer Kirchweg 30 · D-30655 Hannover · Tel. 0511/54750-0 · info@knollmann.de	
Gemeinde Langenberg - Abwasserwerk Märzbankstraße Errichtung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination	
Variante 2.2 Spurenstoffelimination durch GAA-Filtration (Festbett-Adsorber)	
Maststab: 1:500	Zeichnungs-Nr.: LP-Var
Baujahr: 2016	Blatt-Nr.: 2.2
Projekt-Nr.: 0045.13.01 Datum: 19.12.2016 Aufg. Nr.: 0045.13.01 Aufg. Datum: 19.12.2016 Auftraggeber: Gemeinde Langenberg Auftraggeber-Nr.: 0045.13.01 Auftraggeber-Adresse: Große Buchholzer Kirchweg 30, 30655 Hannover Auftraggeber-Telefon: 0511/54750-0 Auftraggeber-Fax: 0511/54750-10 Auftraggeber-E-Mail: info@knollmann.de Auftraggeber-Web: www.knollmann.de Auftraggeber-Logo:	

13. Planunterlagen



ANSICHT:	PROJEKT:	CREATOR:	DATE:
	Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH		
Grek-Buschhäuser-Kirchweg 30 · D-30665 Hannover · Tel. 0511/64750-0 · info@knollmann.de			
Gemeinde Langenberg - Abwasserwerk			
Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination			
Variante 3.1			
Spurenstoffelimination durch Ozonung + Scheibentonfilter			
MAßSTAB:	DATE:	PROJEKT-NR.:	
1:500	19.10.2016	0045.13.01	
BAUHAFT:	PROJEKTLEITER:	ZEICHNUNG-NR.:	
	Hannover, den 19.10.2016	LP-Vor	
Blatt-Nr.: 3.1			

13. Planunterlagen



13.5 Becherglasversuche zur Adsorption von CSB an Aktivkohle

Bericht über die Durchführung von Becherglasversuchen zur Adsorption von CSB an Aktivkohle mit dem Ablauf der KA Langenberg, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, September 2016

Bericht

**über die Durchführung von Becherglasversuchen zur
Adsorption von CSB an Pulveraktivkohle mit dem Ablauf
der KA Langenberg**

Auftraggeber: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH

Auftrag vom: 28.09.2016

07.11.2016

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1-1
2 Material und Methoden	2-1
2.1 Probenahme	2-1
2.2 Analytik	2-1
2.3 Becherglasversuch - Versuchsaufbau und -durchführung	2-1
3 Versuchsergebnisse	3-4
4 Zusammenfassung	4-6
Literaturverzeichnis	4-7

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung	Einheiten- beispiel
BG	Bestimmungsgrenze einer Analysenmethode	
C _{xxx}	Konzentration eines Stoffes in der homogenisierten Probe	mg/L
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	mg/L
PAK	Pulveraktivkohle	
R	Korrelationskoeffizient	
R ²	Bestimmtheitsmaß	
S _{xxx}	Konzentration eines Stoffes in der filtrierten Probe	mg/L

1 Einleitung

Die Notwendigkeit der Elimination von Mikroschadstoffen, wie zum Beispiel Medikamentenrückständen aus Haushalten oder Rückständen von Chemikalien aus der Industrie, in einer neuen vierten Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen ist in Deutschland in den letzten Jahren immer mehr in die Diskussion gekommen. Um die Möglichkeiten einer Nachrüstung der kommunalen Kläranlage der Stadt Langenberg mit einer solchen Reinigungsstufe zu untersuchen, führt die Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH im Auftrag der Stadt Langenberg eine erste Machbarkeitsstudie durch. Zusätzlich besteht ein Problem mit den Abwässern eines industriellen Indirekteinleiters. Hier fallen Reinigungsabwässer aus der Spanplattenherstellung an, die neben hohen Gehalten an Stickstoff (Nitrit und Nitrat) auch Anteile von refraktärem CSB aufweisen.

Das Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Hochschule OWL, unter der Leitung von Frau Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun, hat mit der E-mail vom 28.09.2016 ein Angebot zur Durchführung eines Becherglasversuches zur Aufnahme einer CSB-Adsorptionsisothermen vorgelegt. Ebenfalls am 28.09.2016 erfolgte die Auftragserteilung durch die Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH. Um die Effektivität des PAK-Einsatzes auf der KA Langenberg belegen zu können, soll im Becherglasversuch die Adsorption des CSB aus der homogenisierten Probe (C_{CSB}) und der filtrierten Probe (S_{CSB}) untersucht und eine CSB-Adsorptionsisotherme erstellt werden.

Der Bericht über die Versuchsergebnisse wird hiermit vorgelegt.

2 Material und Methoden

2.1 Probenahme

Die Probennahme vom Ablauf der KA Langenberg erfolgte am 27.10.2016 als Stichprobe durch das Personal der KA Langenberg. Der Probentransport wurde durch das Personal der Hochschule OWL durchgeführt. Der Probentransport erfolgte kühl (4 °C) in HDPE-Kanistern.

2.2 Analytik

Für die Analytik des CSB wurden Küvettentests der Fa. Hach-Lange GmbH, Düsseldorf, verwendet. Zur Bestimmung des filtrierte CSB (S_{CSB}) wurden die Proben über Filter der Fa. Sartorius Stedim Biotech GmbH, Göttingen (Typ: Minisart, Nr.: 16555, Porengröße 0,45 µm) gefiltert.

2.3 Becherglasversuch - Versuchsaufbau und -durchführung

Der angewandte Versuchsaufbau zur Durchführung des Becherglasversuchs zur Aufnahme von Adsorptionsisothermen für die Elimination des CSB war angelehnt an das DVGW-Merkblatt W 239 (2011). In Absprache mit dem Auftraggeber wurde für die Versuche die Pulveraktivkohle Carbopal AP der Fa. Donau Carbon GmbH, Frankfurt, verwendet.

Der Versuchsaufbau bestand im Wesentlichen aus Reaktionsgefäßen (Glasflaschen mit Schraubverschluss, Nennvolumen 250 ml) und einem Schüttelapparat Modell 3018 (Fa. GFL, Burgwedel).

Die Erfahrung hat gezeigt, dass jede Adsorptionsisotherme aus mindestens fünf Punkten bestehen muss, um eine verwertbare Aussage über die Einsatzfähigkeit einer Aktivkohle liefern zu können. Aus diesem Grund wurden ein Blindversuch (ohne Aktivkohleeinwaage) und sechs Ansätze mit unterschiedlichen Aktivkohleeinwaagen angesetzt. Zur Sicherheit wurde ein Ansatz mehr als benötigt angesetzt, um im Bedarfsfall einen Ausreißer eliminieren zu können. Der Blindversuch wird durchgeführt, da im Versuchszeitraum Abbauprozesse stattgefunden haben können.

Aus der ofengetrockneten Pulverkohle und demineralisiertem Wasser wurde eine Stammlösung mit einer PAK-Konzentration von 10 mg/ml angesetzt. Diese Stammlösung wurde über 12 h unter Verwendung eines Magnetrührers gewässert und homogenisiert. Zu Versuchsbeginn wurden in jedem Reaktionsgefäß 100 ml des zu untersuchenden Abwassers vorgelegt und die PAK-Stammlösung mit Hilfe einer Pipette zugegeben. Die Reaktionsgefäße wurden für die Versuchsdauer von 48 h bei ca. 20 °C und 150 UpM auf dem Schüttelapparat platziert und lichtdicht abgedeckt. Die Dauer des Versuches wurde auf 48 h begrenzt, da das Einstellen des Adsorptionsgleichgewichtes innerhalb dieser Zeitspanne erwartet werden konnte. Nach Beendigung der Versuchsdurchführung wurde die Flüssigphase vom Aktivkohleanteil durch Filtration mit Membranfilter der Fa. Sartorius Stedim Biotech GmbH, Göttingen (Typ: Minisart, Nr.: 16555, Porengröße 0,45 µm) getrennt und analysiert.

Auswertung

Um die gewünschten Adsorptionsisothermen des Becherglasversuchs zu erhalten, wurde die Restkonzentration c gegen die Beladung q aufgetragen. Die Beladung q wurde dabei in mg Adsorptiv pro g Aktivkohle ausgedrückt und nach folgender Gleichung ermittelt.

$$q = \frac{(c_0 - c) \times V}{p} \text{ [mg/g]}$$

- mit:
- q = Aufnahmevermögen (Beladung) in mg/g
 - c_0 = Ausgangskonzentration der Blindprobe in mg/l
 - c = Restkonzentration nach Versuchsende in mg/l
 - V = Volumen der angewendeten Lösung in Liter
 - p = Gewicht der eingesetzten ofentrockenen Aktivkohle in g

Die gefundenen Wertepaare wurden im doppelt-logarithmischem Maßstab dargestellt, in dem die Restkonzentration c auf der Abszisse und die Beladung q auf der Ordinate aufgetragen wurden. Für eine Beurteilung der Adsorptionsisothermen wurden die Messergebnisse nach der Gleichung von Freundlich ausgewertet. Diese lautet wie folgt:

$$q = k_F \times c^n$$

- mit:
- k_F = Freundlichkonstante
 - c = Restkonzentration in mg/l
 - n = Adsorptionsexponent
 - q = Beladung in mg/g

Wichtige Zahlenwerte, die direkte Hinweise auf das Verhalten von Filtern gestatten, sind dabei:

n = Adsorptionsexponent $\hat{=}$ Steigung der Geraden in doppelt-logarithmischer Auftragung (Voraussetzung für weitergehende Entfernung im Filter $n < 1$)

$q = q_0$ für $c = c_0$ (hohes q_0 führt zu hoher Beladung im Filter)

Analysenplan

Für den Versuch wurden insgesamt sieben Ansätze mit unterschiedlichen Aktivkohleeinwaagen und einem Blindwert mit einer Abwasserzugabe von jeweils 100 ml erstellt. Tabelle 2-1 gibt eine Übersicht über die erstellten Ansätze.

Tabelle 2-1: Aktivkohleeinwaagen, Aufnahme der Adsorptionsisothermen

Ansatz Nr.	Abwassermenge	Aktivkohlezugabe (Konzentration in Mischung)	Anmerkungen
	ml	mg/l	
1	100	0	Blindwert
2	100	5	
3	100	10	
4	100	15	
5	100	20	
6	100	25	
7	100	30	
8	100	40	

Der achte Ansatz mit einer Aktivkohleeinwaage von 40 mg/l erfolgte in Absprache mit dem Auftraggeber.

Zu Beginn und am Ende des Becherglasversuchs wurden abwassertechnische Analysen durchgeführt. Tabelle 2-2 gibt eine Übersicht über die durchgeführte Analytik.

Tabelle 2-2: Analytik des Becherglasversuchs zur Aufnahme der Adsorptionsisothermen für die Parameter CSB und Mikroschadstoffe

Zeitpunkt der Analysen	Verwendetes Abwasser zur Analyse	Analysierte Parameter
Versuchsbeginn	Kläranlagenablauf	C_{CSB} und S_{CSB}
Versuchsende	Filtrat der Ansätze	S_{CSB}

3 Versuchsergebnisse

Der verwendete Kläranlagenablauf (Ablauf Nachklärung) hatte einen C_{CSB} von 54,1 mg/l und einen S_{CSB} von 50,1 mg/l. Das S_{CSB}/C_{CSB} -Verhältnis betrug 0,93. Der CSB lag demnach zum größten Teil in gelöster Form vor. Die Ansätze wurden für genau 48 h konstant geschüttelt. Die übliche Versuchszeit von 24 h wurde in Anbetracht der vorhandenen Abwässer des spanplattenherstellenden Betriebes vorsorglich verdoppelt. Während der Versuchsreihe lag die Abwassertemperatur bei 20-22 °C. In Tabelle 3-1 sind die Ergebnisse des Becherglasversuchs für den CSB inkl. der Beladung q dargestellt.

Tabelle 3-1: Versuchsergebnisse des Becherglasversuches mit Pulveraktivkohle für den Parameter CSB

Ansatz Nr.	Abwassermenge	PAK-Konz.	S_{CSB} zu Versuchsende	Beladung q
	ml	mg/l	mg/l	mg/g
1	100	0	49	-
2	100	5	43,9	1.020
3	100	10	42,7	630
4	100	15	43,4	373
5	100	20	39,9	455
6	100	25	39,6	376
7	100	30	36,6	413
8	100	40	35,1	348

Mit den Ergebnissen aus Tabelle 3-1 wurde eine Adsorptionsisotherme für den CSB erstellt. Diese ist in Abbildung 3-1 im doppelt-logarithmischen Maßstab graphisch dargestellt. Die Ergebnisse der Ansätze 4 und 6 wurden wegen zu großer Messabweichung verworfen.

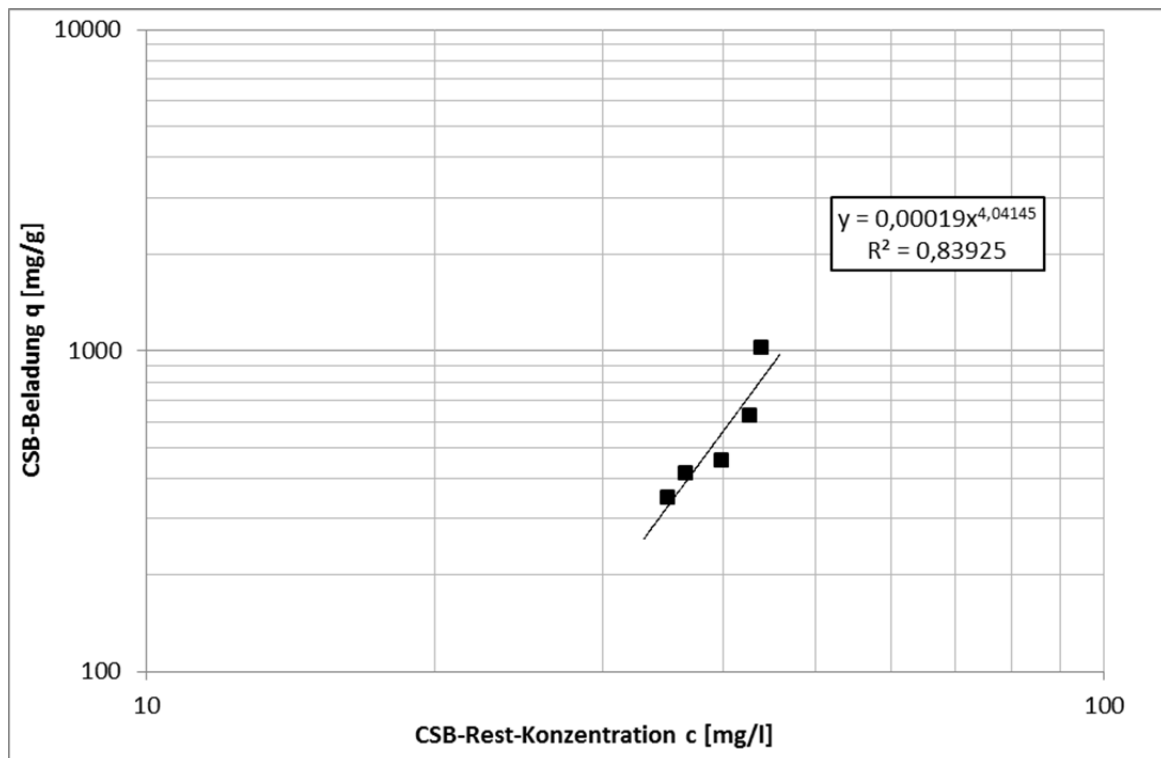


Abbildung 3-1: Adsorptionsisotherme nach Freundlich für den Parameter CSB, Darstellung im doppelt-logarithmischen Maßstab

Die erhaltene Isotherme wurde nach der Isothermengleichung nach Freundlich ausgewertet. Für das verwendete Abwasser liegt demnach die mögliche CSB-Beladung bei ca. 1.485 mg/g. Die CSB-Beladung liegt im Bereich von Waermer et al. (2015), die ebenfalls das Abwasser einer kommunalen Kläranlage (12.400 EW) adsorptiv untersuchten und eine CSB-Beladung von ca. 1.500 mg/g mit der gleichen PAK-Sorte erreichten.

Trotz der vergleichsweise guten theoretischen CSB-Beladung deutet der Verlauf der Adsorptionsisothermen auf einen schlecht oder nicht adsorbierbaren CSB-Anteil hin. Bei diesen schlecht oder nicht adsorbierbaren Abwasserinhaltsstoffen könnte es sich zum Beispiel um unpolare Stoffe handeln, die von Aktivkohlen nur schlecht oder gar nicht adsorbiert werden. Dies lässt den Schluss zu, dass eine weitere Reduktion des CSB nur mit einem verhältnismäßig höheren Aktivkohleeinsatz möglich ist (> 40 mg/l). Die typische PAK-Zugabe für die Elimination von Mikroschadstoffen liegt im Normalfall bei 10-20 mg/l.

Ein CSB von < 20 mg/l im Ablauf einer großtechnischen adsorptiven Stufe auf der KA Langenberg ist aller Wahrscheinlichkeit nach nur mit sehr großem Aufwand zu erreichen. Von der KA Herford ist bekannt, dass hier in Versuchen unter Zugabe von 50 mg/l PAK (HRT = 22 Minuten) und einem mittleren S_{CSB} von 68 mg/l im verwendeten Kläranlagenablauf eine Elimination von ca. 70 % erreicht werden konnte (Austermann-Haun und Meier, 2015). Auch hier gab es einen höheren Anteil schlecht adsorbierbarer Stoffe im Kläranlagenablauf.

4 Zusammenfassung

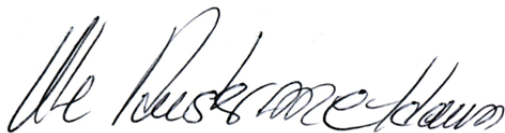
Die Stadt Langenberg hat die Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH damit beauftragt eine Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen für ihre kommunale Kläranlage durchzuführen. Das Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Hochschule OWL wurde damit beauftragt mit dem Ablauf der KA Langenberg (Ablauf Nachklärung) Becherglasversuche unter Einsatz von Pulveraktivkohle durchzuführen, um dadurch die Adsorption des CSB zu bestimmen und eine Adsorptionsisotherme zu erstellen.

Das S_{CSB}/C_{CSB} -Verhältnis des verwendeten Kläranlagen Ablaufs (Ablauf Nachklärung) betrug 0,93 ($S_{CSB} = 50,1$ mg/L zu $C_{CSB} = 54,1$ mg/L). Der CSB lag demnach zum größten Teil in gelöster Form vor. Aufgrund der Abwässer des spanplattenherstellenden Betriebes (Indirekteinleiter) wurde die Versuchszeit vorsorglich auf 48 h erhöht.

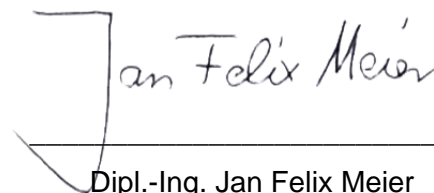
Trotz einer vergleichsweise guten theoretischen CSB-Beladungskapazität von ca. 1.500 mg/g, lies sich der CSB aus dem Ablauf der KA Langenberg nur schwer adsorbieren. Selbst bei einer Zugabe von 40 mg/l PAK konnte der S_{CSB} von anfänglich 50,1 mg/l auf nur ca. 35 mg/l reduziert werden. Der Verlauf der erstellten Adsorptionsisotherme nach Freundlich deutet auf einen nennenswerten schlecht oder nicht adsorbierbaren CSB-Anteil hin. Nur mit einem vergleichsweise sehr hohen PAK-Einsatz (> 40 mg/l) könnte hier eine weitere CSB-Reduktion möglich sein. Ein CSB von < 20 mg/l im Ablauf einer adsorptiven Verfahrensstufe auf der KA Langenberg wäre aller Wahrscheinlichkeit nach mit Aktivkohle nicht zu erreichen.

Für die adsorptive Behandlung des CSB im Ablauf der KA Langenberg wird deswegen abgeraten. Als Alternative bietet sich die Erprobung einer nassoxidativen Behandlung des Ablaufs an. Das Labor für Siedlungswasserwirtschaft bietet sich hier gerne an, einen Laborversuch mit Ozon durchzuführen. In Anbetracht des hohen apparativen und zeitlichen Aufwandes eines solchen Versuches bietet sich hier die gleichzeitige Betrachtung der Elimination von ausgewählten Mikroschadstoffen an.

Detmold, den 07.11.2016



Prof. Dr.-Ing. Ute Austermann-Haun



Dipl.-Ing. Jan Felix Meier

Literaturverzeichnis

- Austermann-Haun, U.; Meier, J. F.** **2015** Bericht über die durchgeführte Analytik zum Projekt „Elimination von Mikroschadstoffen auf der Kläranlage Herford durch Pulveraktivkohle - Testphase 2014“, Auftraggeber: Herforder Abwasser GmbH
- DVGW W 239** **2011** Entfernung organischer Stoffe bei der Trinkwasseraufbereitung durch Adsorption an Aktivkohle. Technische Regel – Arbeitsblatt, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. – Technisch-wissenschaftlicher Verein, Bonn
- Waermer, F.; Austermann-Haun, U.; Brandt, B.-J.; Althaus, P.; Finkemeyer, A.; Meier, J. F.; Gantner, K.** **2015** Elimination von Mikroschadstoffen durch Pulver-Aktivkohle und anschließender Abtrennung der Feststoffe unter Einsatz des Fuzzy-Filters auf der Kläranlage Barntrup, Testphase 2014 „Betriebliche Aspekte“, Machbarkeitsstudie, gefördert durch das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Bezirksregierung Detmold, Dezernat 54.8