

## **Stadt Verl Abwasserbetrieb**

**Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie**

# **Ertüchtigung der Kläranlage Verl-West zur Elimination von Spurenstoffen**

September 2016

gefördert durch:

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



**Impressum**

Auftraggeber: Stadt Verl - Abwasserbetrieb  
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	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	8
3.3	Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen	9
3.4	Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen	10
3.5	Umsetzung des Bewirtschaftungsplanes der Weser (2016 – 2012)	13
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung	14
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination	16
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	16
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	21
5.3	Oxidation mit Ozon (O <sub>3</sub> )	24
5.4	Filterverfahren als nachgeschaltete Reinigungsstufe	27
5.5	Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren	31
5.6	Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf KlärAnlagen	32
5.6.1	Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination	34
5.7	Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination	38
6	Kläranlage Verl-West	43
6.1	Kurzbeschreibung Kläranlage	43
6.2	Situation Gewässer	48
7	Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse	52
8	Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Verl West zur Spurenstoffelimination	57
8.1	Vorhandene Erweiterungsfläche	58
8.2	Auslegung, Bemessung der Varianten zur Spurenstoffelimination – Hydraulik, Wassermengen	59
8.3	Variante 1. 1 - PAK Dosierung in Belebung	60
8.3.1	Verfahrensbeschreibung	60

Inhaltsverzeichnis

---

8.3.2	Vordimensionierung	64
8.3.3	Diskussion Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung	65
8.4	Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe	65
8.4.1	Verfahrensbeschreibung	65
8.4.2	Vordimensionierung	70
8.4.3	Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	71
8.5	Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filter	72
8.5.1	Verfahrensbeschreibung	72
8.5.2	Vordimensionierung	76
8.5.3	Diskussion Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon Filtration (GAK)	77
8.6	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe	78
8.6.1	Verfahrensbeschreibung	78
8.6.2	Vordimensionierung	81
8.6.3	Diskussion Variante 2.2 Festbett Adsorberstufe (GAK)	82
8.7	Variante 2.3 - GAK in automatischen Carbon Schwerkrafftfilter	83
8.7.1	Verfahrensbeschreibung	83
8.7.2	Vordimensionierung	86
8.7.3	Diskussion Variante 2.3 Automatischer Schwerkrafftfilter (GAK)	86
8.8	Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich	88
8.8.1	Verfahrensbeschreibung	88
8.8.2	Vordimensionierung	94
8.8.3	Diskussion Variante 3.1 Ozonung mit Schönungsteich	95
8.9	Variante 3.2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter	97
8.9.1	Vordimensionierung	99
8.9.2	Diskussion Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	100
9	Wirtschaftlichkeitsvergleich	101
9.1	Investitionskosten	101

Inhaltsverzeichnis

---

9.2	Betriebskosten	103
9.3	Jahreskosten	109
9.4	Sensitivitätsanalyse	118
10	Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination	126
11	Zusammenfassung und Empfehlung	131
12	Literatur	134
13	Anhang	140
13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	140
13.2	Abwassertechnische Berechnungen	141
13.3	Kostenannahme	157
13.4	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	223

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [21]	5
Bild 2:	Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung Quellen [23]	17
Bild 3:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [9]	18
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [9]	19
Bild 5:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [9]	20
Bild 6:	Verfahrensprinzip adsorptive Reinigungsstufe	21
Bild 7:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)	22
Bild 8:	Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration	23
Bild 9:	Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungfiltration	23
Bild 10:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage	24
Bild 11:	Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	28
Bild 12:	Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	28
Bild 13:	Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)	29
Bild 14:	Schema – Automatischer Schwerkraftfilter (Quelle: Fa. Prominent)	30
Bild 15:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [32]	32
Bild 16:	Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 9/2016) [33]	33
Bild 16:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [1]	39
Bild 17:	Lageplan Kläranlage Verl-West (rot – Ausbau 2004)	44
Bild 18:	Sandfang, Vorklärbecken (links, oben), Faulbehälter, BHKW-Gebäude(rechts oben); Nacheindicker u.a. (links, unten), Belebungsbecken, Gasbehälter (rechts, unten)	45
Bild 19:	Verfahrensfließbild - Kläranlage Verl-West	47
Bild 26:	Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE_EMS_1400 Obere Ems NRW [40]	48
Bild 28:	Gewässerzustand Ölbach (Wasserkörpertabelle) [40]	50
Bild 20:	Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf des Schönungsteiches	55
Bild 21:	Luftbild KA Verl-West, potentielle Erweiterungsflächen (Quelle: Google-Earth)	58
Bild 22:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1.b	60

Abbilungsverzeichnis
 

---

Bild 23:	Lageplan KA Verl West - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung	61
Bild 24:	Lageplan KA Verl West - Variante 1.1.b – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung	62
Bild 25:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	64
Bild 26:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2	66
Bild 27:	Lageplan KA Verl West - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe	68
Bild 28:	Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Mecana)	69
Bild 29:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1	72
Bild 30:	Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung – Variante 6 Filtereinheiten) (Quelle: Fa. Nordic Water)	73
Bild 31:	Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)	74
Bild 32:	Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)	75
Bild 33:	Lageplan KA Verl West - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	75
Bild 34:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2	78
Bild 35:	Lageplan KA Verl West - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe	80
Bild 36:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.3	83
Bild 37:	Ansicht – Modell Automatischer Schwerkraftfilter (Quelle: Fa. Prominent)	84
Bild 38:	Lageplan KA Verl West - Variante 2.3 – GAK in automatischem Schwerkraftfilter	85
Bild 39:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1	88
Bild 40:	Lageplan KA Verl West - Variante 3.1 – Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	89
Bild 41:	Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)	91
Bild 42:	Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)	92
Bild 43:	Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)	93
Bild 44:	TOC Ablauf KA Verl West – Überwachungswerte (Quelle: ELWAS)	95
Bild 45:	Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2	97
Bild 46:	Lageplan KA Verl West - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration	98
Bild 47:	Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)	103
Bild 48:	Jährliche Betriebskosten der untersuchen Varianten zur	107

Abbildungsverzeichnis

---

Bild 49:	Jährliche Betriebskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammensorgungskosten (brutto)	108
Bild 50:	Jahreskosten – ohne Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	112
Bild 51:	Jahreskosten – ohne Förderung, ohne Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	113
Bild 52:	Jahreskosten – mit Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	116
Bild 53:	Jahreskosten – mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)	117
Bild 54:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, mit Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)	121
Bild 55:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, mit Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)	122
Bild 56:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, ohne Schlammensorgungs-(mehr) -kosten (netto)	123
Bild 57:	Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, ohne Schlammensorgungs-(mehr)-kosten (netto)	124



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [21]	14
Tabelle 2: Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren bezüglich der Elimination ausgewählter Spurenstoffe [36]	31
Tabelle 3: Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [1]	40
Tabelle 3: Bemessung- und Auslegungswerte Kläranlage Verl-West [2, modifiziert]	46
Tabelle 4: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Verl-West (11.03 – 14.03.2014)	53
Tabelle 5: Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen	56
Tabelle 6: Zulaufmengen Spurenstoff - Behandlungsstufe	59
Tabelle 7: Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)	64
Tabelle 8: Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe	70
Tabelle 9: Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration	76
Tabelle 10: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe	81
Tabelle 11: Auslegung Variante 2.3 GAK in automatischem Schwerkrafftfilter	86
Tabelle 12: Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Schönungsteich	94
Tabelle 13: Auslegung Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration	99
Tabelle 14: Zusammenstellung Investitionskosten	101
Tabelle 15: Zusammenstellung Betriebskosten mit und ohne Schlammensorgungskosten	106
Tabelle 16: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)	110
Tabelle 17: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70 %)	114
Tabelle 18: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter	118
Tabelle 19: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) – ohne Förderung	119
Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) – mit Förderung 70%	120
Tabelle 21: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	126

## 1 Veranlassung

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

Die Anzahl der entwickelten organisch, chemischen Verbindungen beträgt mehr als 50 Millionen, davon werden rund 5.000 Substanzen als potentiell umweltrelevant eingestuft [4]. 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 [10]. 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 [13].

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 [14]. 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 [15].

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

## 1. Veranlassung

---

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

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

Die Stadt Verl hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt um die Nachrüstung der bestehenden Kläranlage Verl-West zur Spurenstoffelimination zu untersuchen.

Die Bezirksregierung Detmold hat die Förderung des Projekts „Variantenbetrachtung und Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Kläranlage Verl-West zur Elimination von Spurenstoffen“ bewilligt.

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

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

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

Teil der Untersuchung waren Abwasseruntersuchungen zu Spurenstoffen, Bemessung /Dimensionierung von Verfahrensstufen, Verfahrenstechnik, Umrüstung der vorhandenen Anlagentechnik 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 [20].

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 [22]:

- 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.

## 2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

---

Insbesondere sind zu nennen:

- Pharmazeutika:
  - Carbamazepin (Antiepileptikum)
  - Sulfamethoxazol (Antibiotikum)
  - Diclofenac (Schmerzmittel)
  - Metoprolol (Betablocker)
- Diagnostika
  - Amidotrizesäure (ionisches Röntgenkontrastmittel)
  - Iopamidol (nicht-ionisches Röntgenkontrastmittel)
- Industrie, Landwirtschaft
  - Mecoprop (Pflanzenschutzmittel, Materialschutz) [10]

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 Kläranlagenerüchtigungen zur Spurenstoffelimination abgeschätzt wurden [16].

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 [17]
- Nierenschäden bei Fischen (Schmerzmittel Diclofenac [18],
- Verhaltensstörungen oder Schädigung des Immunsystems durch Insektizide [19]

Maßnahmen zur Reduzierung des Eintrages von Spurenstoffen sollten nach einem Multi-Barrier-Prinzip erfolgen [4], die Verwendung bzw. Inverkehrsetzen vermindern, industrielle und kommunale Kläranlagen ertüchtigen und diffuse Schadstoffausträge reduzieren.

## 2. Spurenstoffe - Herkunft, Eigenschaften

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

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

Eintragspfade von Spurenstoffen werden in Bild 1 dargestellt.

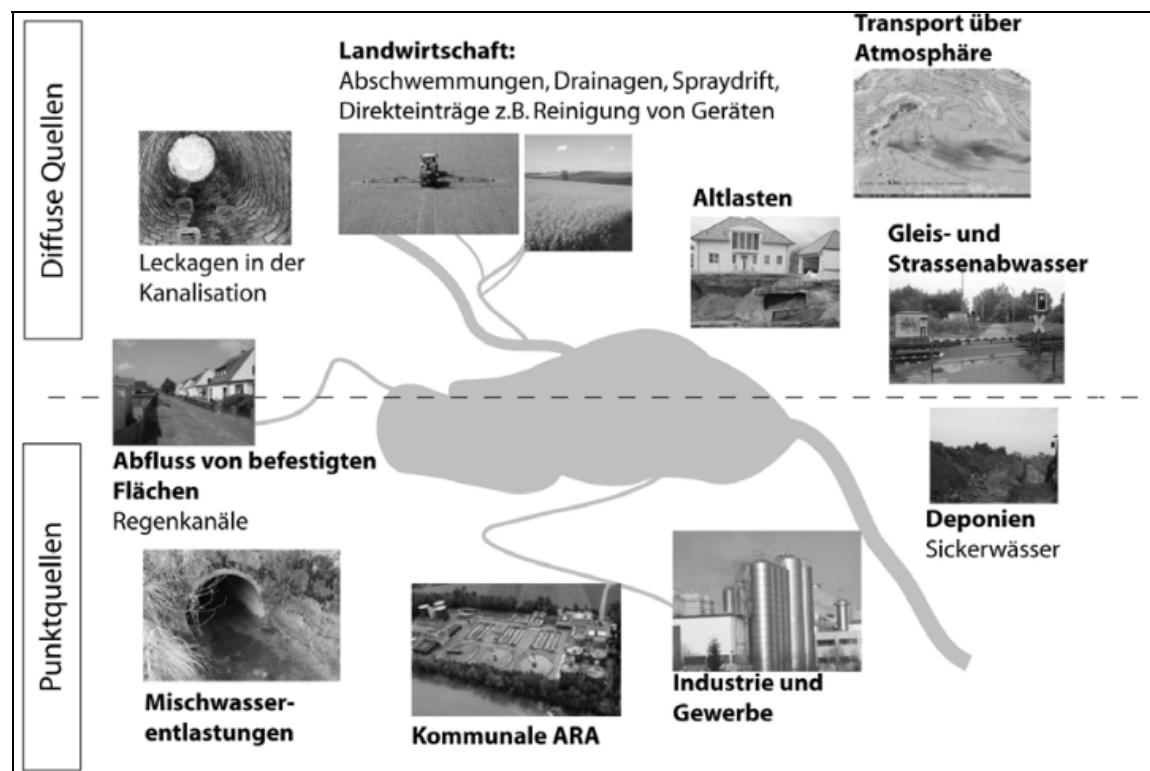


Bild 1: Quellen von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern; Punktquellen und diffuse Quellen [21]

Untersuchungen von Götz et al. [21] zeigen, dass konventionelle, mechanisch biologische Kläranlagen organische Spurenstoffe nur bedingt entfernen können (s. Kap. 4).

## 3 Rechtliche Belange und Grenzwerte

### 3.1 Allgemeines

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

Nach Mitteilung der Bezirksregierung Detmold ist die wasserrechtliche Beurteilung zu Mikroschadstoffen wie folgt zusammen zu fassen [5]:

*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*

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

*aber die Einleitung dieser Stoffe zu einem Defizit im Gewässer beiträgt bzw. zu besorgen ist, dass die Einleitung einen Beitrag leistet, so dass die Bewirtschaftungsziele nicht eingehalten werden, besteht Handlungsbedarf. Dies ist dann der Fall, wenn*

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

*Die D4 Liste ist im Internet einzusehen:*

*[http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden\\_Monitoring\\_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser\\_Teil\\_D/\\_Anlage\\_4](http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4)*

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

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

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



### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

#### **3.2 EU-Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen**

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

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 [34].

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

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

Die geänderten Umweltqualitätsnormen sind für die bestehende Liste prioritärer Stoffe ab dem 22.12.2015, für die neuen Stoffe ab dem 22.12.2018 anzuwenden. Die Revision der Liste prioritärer Stoffe hat spätestens 4 Jahre nach Inkrafttreten dieser Richtlinie (2017) zu erfolgen, danach alle 6 Jahre. Die Vorgaben der Richtlinie 2013/39/EU müssen bis zum 14.9.2015 in nationales Recht umgesetzt werden [34].

### **3.3 Deutsche Gesetzgebung zu Mikroschadstoffen**

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

Im Hinblick auf die Vorgaben des EU Rechts hat das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) die Regelung von Detailfragen zur Bewirtschaftung der Oberflächengewässer auf die Verordnungsebene verlagert. Nach § 23 Absatz 1 und 2 sind konkrete Anforderungen an die Gewässereigenschaften, an die Benutzung von Gewässern sowie Ermittlung, Beschreibung, Festlegung und Einstufung sowie Darstellung des Gewässerzustands durch eine Bundesverordnung zu regeln. Dasselbe gilt für die Überwachung der Gewässereigenschaften, die Anforderungen an Messmethoden und –verfahren sowie die wirtschaftliche Analyse [37].

Auf Grundlage dieser Ermächtigung wurde am 25. Juli 2011 die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) verabschiedet. Diese Verordnung regelt bundeseinheitlich die detaillierten As-

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

pekte des Schutzes der Oberflächengewässer und enthält Vorschriften zur Kategorisierung, Typisierung und Abgrenzung von Oberflächenwasserkörpern entsprechend den Anforderungen der WRRL.

Die OGewV setzt ferner EU-Vorgaben zu Umweltqualitätsnormen (enthalten in der Richtlinie 2008/105/EG), zu Qualitätsanforderungen an die Analytik und zur Interkalibrierung in nationales Recht um. Sie formuliert unter anderem Maßgaben an die Bestandsaufnahme der Belastungen und zum chemischen und ökologischen Zustand bzw. Potenzial, zum Beispiel über die Festlegung flussgebietspezifischer Umweltqualitätsnormen [37].

Die EU-Richtlinie 2013/39/EU hat für weitere prioritäre Stoffe Umweltqualitätsnormen für insgesamt 45 prioritäre Stoffe festgelegt, die in die Neufassung der OGewV vom 20.06.2016 (Anlage 8, Tabelle 2) übernommen wurden. Als Grundlage zur Beurteilung des ökologischen Zustandes und des ökologischen Potenzials werden in Anlage 5 insgesamt 67 weitere Stoffe aufgeführt.

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

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

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

#### **3.4 Landesgesetzgebung in NRW zu Mikroschadstoffen**

Gemäß Artikel 13 der EG-Wasserrahmenrichtlinie ist für jedes Flussgebiet in Europa ein Bewirtschaftungsplan zu erstellen. Dies ist auch für internationale Flussgebiete anzustreben, mindestens aber ist für den nationalen Teil einer Flussgebietseinheit ein zusammenhängender Plan zu erstellen. Die Bewirtschaftungspläne der Flussgebietseinheiten können durch detaillierte Bewirtschaftungspläne ergänzt werden. Nordrhein-Westfalen hat den Bewirtschaftungsplan, das Maßnahmenprogramm für die Landesanteile an den Flussgebieten Rhein, Weser, Ems und

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

Maas sowie die Planungseinheitensteckbriefe - mit Planungsergebnissen und Programmaßnahmen für einzelne Wasserkörper bzw. Wasserkörpergruppen erstellt [38].

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

Die in die Bewirtschaftungspläne einfließenden Daten zu Oberflächengewässern wurden im Rahmen des zweiten Monitoringprogrammes zur Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für den zweiten Zyklus 2016-2021 nach der WRRL erhoben. Grundlage für die Datenerhebung ist der Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer (Teil A – D) des MUNLV [39]. Besondere Bedeutung hat der Anhang D4 mit den Bewertungsgrundlagen für die in Oberflächengewässern untersuchten Parameter.

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

Die aktuelle D4 Liste vom April 2014 unterscheidet in:

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

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

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

### 3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

gewässer diskutiert, aus denen direkt oder indirekt Trinkwasser gewonnen wird oder gewonnen werden soll [4].

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 [21]. Verschiedene Ausbauszenarien von Kläranlagen die zu einer substanziellen Reduktion der Spurenstoffeinleitungen zur Erreichung von Trinkwasserzielwerten führen werden diskutiert.

Durch Anreizsysteme wird die Umsetzung von Maßnahmen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen auf Basis von freiwilligen Maßnahmen gefördert. Bei festgestellten Belastungsschwerpunkten (Beispiel Ruhr) sind ordnungsrechtliche Vorgaben mit Bezug auf die Oberflächengewässerverordnung möglich.

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

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

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

Mit einem weiteren Erlass vom 04.07.2013 wird verfügt:

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

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

---

### **3.5 Umsetzung des Bewirtschaftungsplanes der Weser (2016 – 2012)**

Die Umsetzung von Bewirtschaftungsplänen wird von der Bezirksregierung Detmold wie folgt bewertet, begründet und durchgeführt [5]:

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

*Diese haben im Einzugsgebiet der Weser und ihrer Nebengewässer dazu geführt, dass der seit Dezember 2015 behördenverbindlich geltende Bewirtschaftungsplan NRW 2016-2021 für den Bereich der Weser bei mehreren Kläranlagen grundsätzlich den Bau einer 4. Reinigungsstufe vorsieht.*

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

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

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

4. Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

## 4 Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

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

Bereits durch die konventionelle Abwasserreinigung können so viele Spurenstoffe reduziert werden wie Auswertungen aus 14 Kläranlagen von Götz et al. und Vergleiche mit internationalen Studien in Tabelle 1 zeigt [21].

Tabelle 1: Abbau von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen durch herkömmliche Behandlungsverfahren [21]

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 <sup>a)</sup>	< 60 <sup>b)</sup>	96 ± 7	87 ± 20	30
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel	2480 ± 2232 <sup>a)</sup>	< 200 – > 4000	23 ± 20	0 ± 0	2
Iopromid	Röntgenkontrastmittel	5860 ± 2852 <sup>a)</sup>	< 200 – > 4000	39 ± 33	38 ± 46	8
Mefenaminsäure	Analgesikum	1980 ± 650	340 ± 300	73 ± 29	54 ± 18	7
Naproxen	Analgesikum	780 ± 280	550 ± 140	51 ± 20	70 ± 17	19
Sulfamethoxazol	Antibiotikum	670 ± 350	420 ± 180	26 ± 23	47 ± 29	22
Trimethoprim	Antibiotikum	149 ± 53 <sup>a)</sup>	118 ± 48 <sup>a)</sup>	36 ± 17	39 ± 38	29
Bisphenol A	Industriechemikalie	1470 ± 1540 <sup>a)</sup>	290 ± 270	73 ± 27	73 ± 19	6
Ethinylestradiol	Kontrazeptivum	k.D.	2 ± 2	k.D.	89 ± 9	4
Nonylphenol	Industriechemikalie	2640 ± 2960 <sup>a)</sup>	640 ± 540	67 ± 26	67 ± 12	5
<b>Mittelwert</b>				<b>47</b>	<b>50</b>	

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

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

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

#### 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 [24].

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 verlangsamteten Abbau [24].

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

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

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



## 5 Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

### 5.1 Pulveraktivkohle (PAK)

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

Vorteile beim Einsatz von Aktivkohle sind:

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

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

Zu unterscheiden sind in Abhängigkeit von der Dosierstelle (Bild 2):

- 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

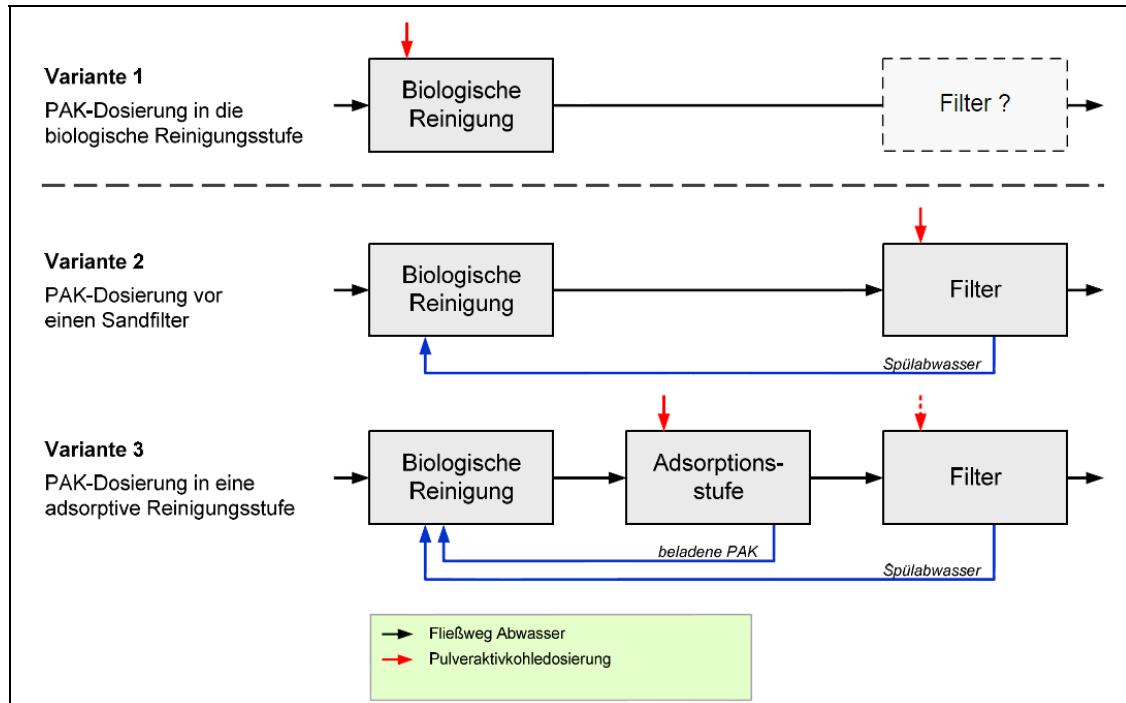


Bild 2: Verfahrensmöglichkeiten der PAK Dosierung in der kommunalen Abwasserreinigung  
Quellen [23]

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

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

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

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

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

Dieses Verfahren stellt eine relativ simple Option zur Entfernung von organischen Spurenstoffen dar. Als Hauptvorteil werden hierbei die geringen Investitionskosten angeführt, da die bestehende Belebungsanlage lediglich durch eine Dosiereinrichtung und eine Lagerstätte für die Pulveraktivkohle zu erweitern ist.

Kennzeichen der PAK-Dosierung in das Belebungsbecken sind:

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

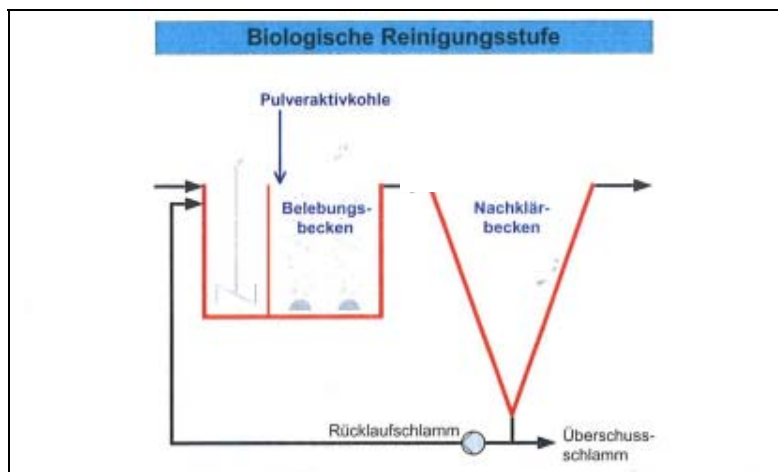


Bild 3: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [9]

### 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 Sicherstel-

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

lung eines weitgehenden Rückhalts des Adsorbens im Filterbett kann dem Abwasser vor dem Filter Fällmittel zugegeben werden. Die mit zunehmender Filterlaufzeit in das Filterbett eingelagerte PAK wird mit dem 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.

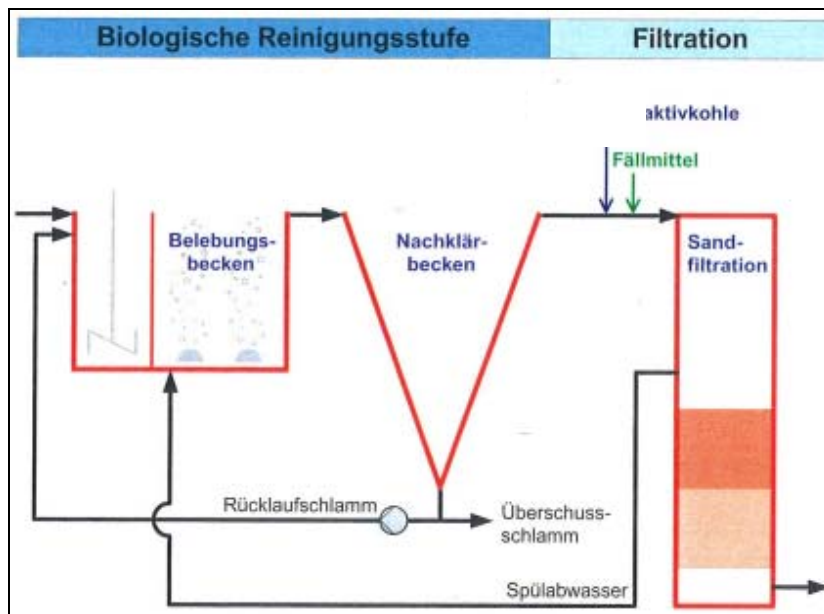


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [9]

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.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

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

Das aus dem Filterbetrieb anfallende Spülabwasser, und damit die zurückgehaltene PAK mit den entstandenen Fällmittelflocken, wird zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität ebenso wie die „Überschussschle“ 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.

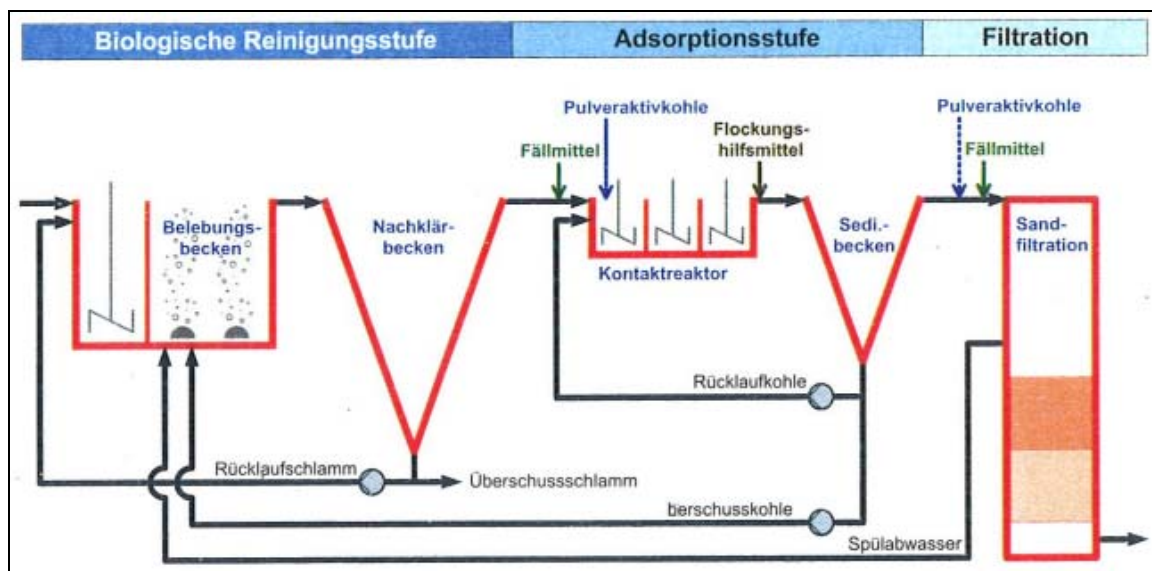


Bild 5: Schema der Pulveraktivkohledosierung in adsorptive Reinigungsstufe [9]

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Das Verfahrensprinzip der adsorptiven Reinigungsstufe zeigt Bild 6.

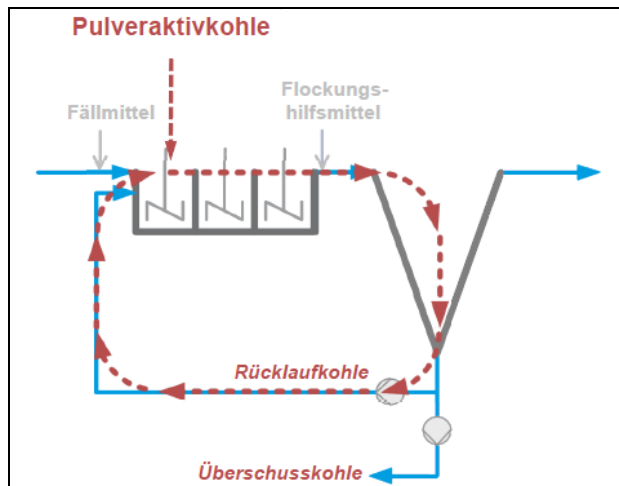


Bild 6: Verfahrensprinzip adsorptive Reinigungsstufe

### 5.2 Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern

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

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

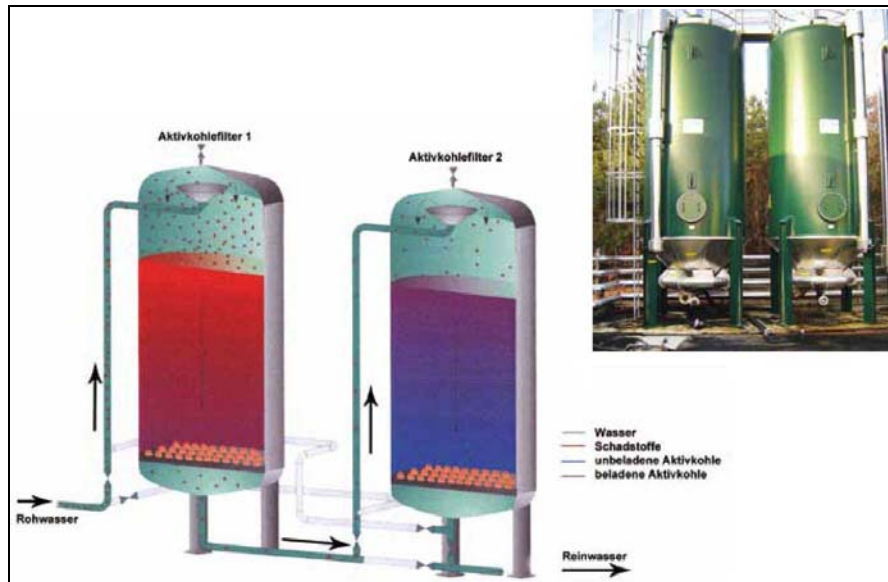


Bild 7: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

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

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

Kennzeichen zum Einsatz granulierte Aktivkohle in Festbettssystemen sind:

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

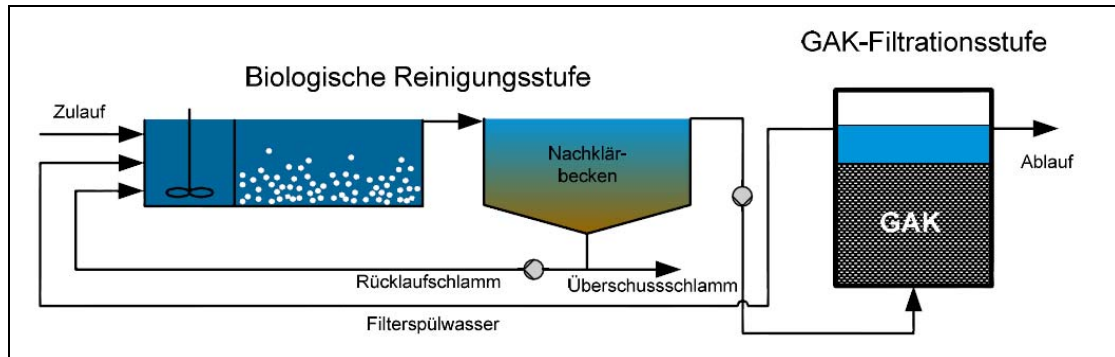


Bild 8: Schema GAK Filtrationsstufe - Festbettfiltration

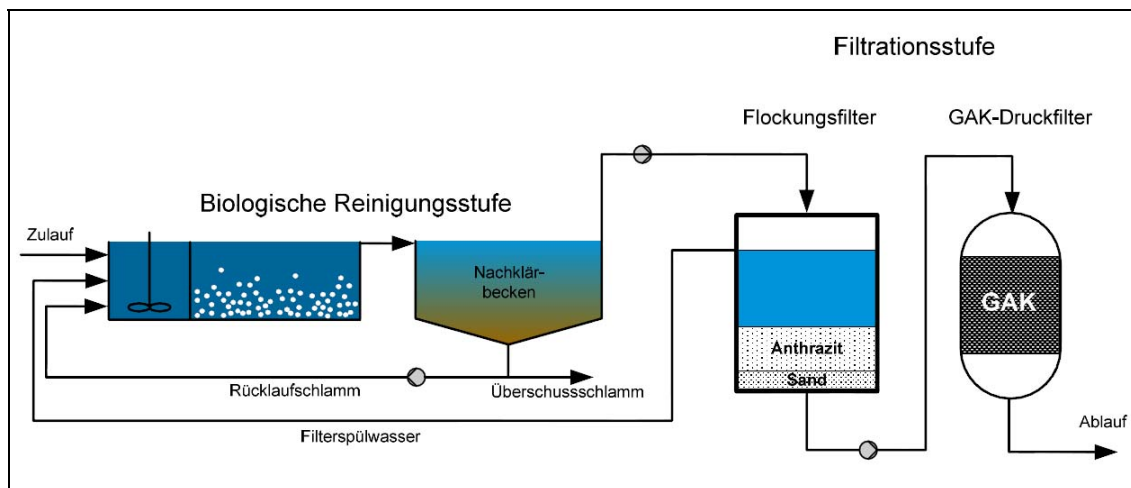


Bild 9: Schema GAK Festbett –Adsorber mit vorgeschalteter Flockungsfiltration

Einflussfaktoren für die Standzeit von GAK Filtern können u.a. sein:

- Vorherige Abscheidung von Feststoffen
- Kontaktzeit in GAK Filter
- Filtrationsgeschwindigkeit
- GAK-Schütthöhe
- Parallelschaltung von Filtern
- Korngröße der GAK
- Rohstoff der GAK (Braunkohle, Steinkohle, Kokos)
- Spülintervalle
- Frischkohle oder Reaktivat
- pH-Wert etc.



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

Auch in der Behandlung von kommunalen und industriellen Abwässern zur Spurenstoffelimination kann Ozon zum Einsatz kommen. Die Ozonierung wird dabei der üblichen Abwasserreinigung durch Mikroorganismen zusätzlich nachgeschaltet. Teilweise werden Ozonungen in Verbindung mit PAK Anlagen kombiniert eingesetzt. Einen umfassenden Überblick über die Verfahrenstechnischen Randbedingungen ist dem Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalem Abwasser“ zu entnehmen [26].

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind: (a) Abtötung pathogener Keime (Desinfektion) zur Sicherung des Vorfluters (z. B. in Hinsicht auf die Badegewässerrichtlinie) (b) oxidative Elimination/Transformation von nicht oder nur schlecht abbaubaren organischen Spurenstoffen (insbesondere Medikamentenrückstände).

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

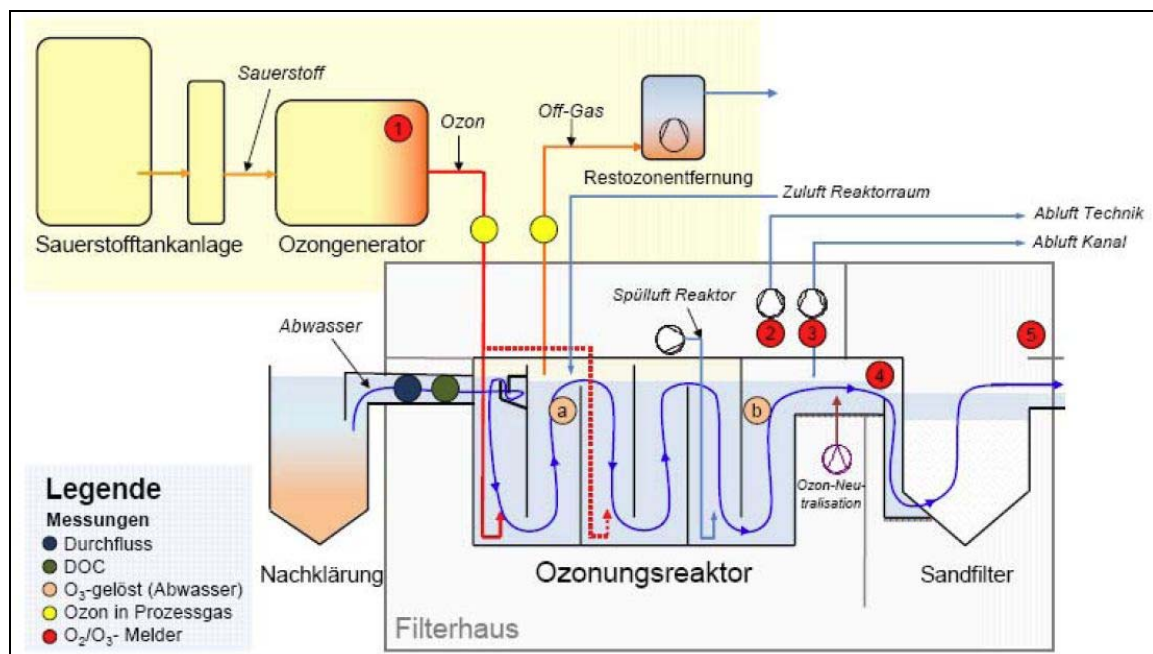


Bild 10: Schematische Darstellung einer Ozonierungsanlage

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

Der Grad der Eliminationsleistung hängt maßgeblich von der zugeführten Ozonmenge ab.

Bei Zugabemengen von 0,3 – 0,5 mg O<sub>3</sub>/mg DOC ist die Eliminationsleistung > 50% und bei 0,6 – 0,8 mg O<sub>3</sub>/mg DOC > 80% für die meisten Spurenstoffe [26].

Die Reinigungsleistung ist Spurenstoffabhängig. In der Kläranlage Duisburg-Vierlinden wurden bei Dosierungen von 2 mg O<sub>3</sub>/l bereits hohe Eliminationsraten erzielt und eine fast vollständige Entfernung bei 5 mg O<sub>3</sub>/l für Carbamazepin und Diclofenac. Andere Stoffe wie Amidotrizoesäure und Tris (2-chlorisopropyl) Phosphat wurden praktisch nicht eliminiert [8].

Von bestimmten Spurenstoffen wie Bromid oder Nitrosamine ist bekannt, dass durch die Ozonung potentiell schädliche Transformationsprodukte entstehen können.

Vorteil der Oxidation ist generell, dass auch eine Entkeimung erreicht wird, zudem wird die Konzentration vieler Mikroverunreinigungen bis unter die Nachweisgrenze reduziert. 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 5.4.2).

Zielsetzung dieser Anlagen ist es, die Technologie im Normalbetrieb zu erproben. Zu den untersuchten Verfahrensvarianten gehören auch Kombinationsverfahren aus Ozon und Aktivkohle, so dass auch Aussagen zu Kosten und erreichbaren Reinigungsgraden bei Einsatz von Verfahrenskombinationen zu ermitteln sind.

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

### Ozoneintragung

Verfahrenstechnisch sind u.a. die Ozoneintragungssysteme zu untersuchen – relevant sind hier Eintragungen über Pumpe-Injektor und über Diffusor. Eliminationsleistungen bei verschiedenen Dosierstufen wurden u.a. in der Kläranlage Duisburg-Vierlinden erprobt. Mit beiden Verfahren wurden etwa gleiche Ergebnisse hinsichtlich der Spurenstoffentfernung erzielt [15].

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

Chemikalien werden in der Regel nicht vollkommen mineralisiert, sondern transformiert zu Zwischenprodukten mit häufig unbekannter Toxizität. So führt die Ozonierung von Carbamazepin bei der Trinkwasseraufbereitung zu mindestens sieben Reaktionsprodukten, zu denen kaum toxikologische Daten verfügbar sind [27].

#### **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 Schönlungsteich anzusehen. Darüber hinaus können auch verschiedene Filterverfahren eingesetzt werden wie Dyna-Sand Filter und automatische Schwerkraftfilter.

Zur Abscheidung von Pulveraktivkohle hinter einer adsorptiven Reinigungsstufe bieten sich neben den vorgenannten Filtern u.a. Tuchfilter oder Fuzzy Filter an. Ein Fuzzy-Filter wird derzeit erstmalig in Deutschland in Verbindung mit einer PAK Dosierung auf der Kläranlage Barntrup installiert [28].

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

##### **Dyna-Sand<sup>®</sup> Filter**

Das Funktionsprinzip des Dyna-Sand<sup>®</sup> 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.



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

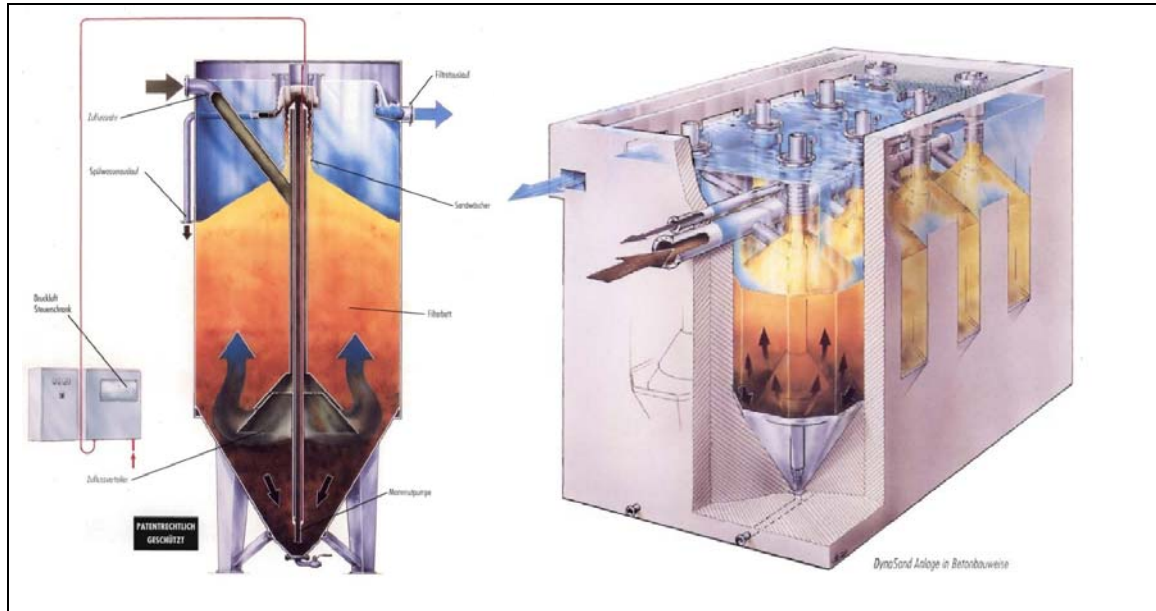


Bild 11: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

**Polstoff-Scheibentuchfilter**

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

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

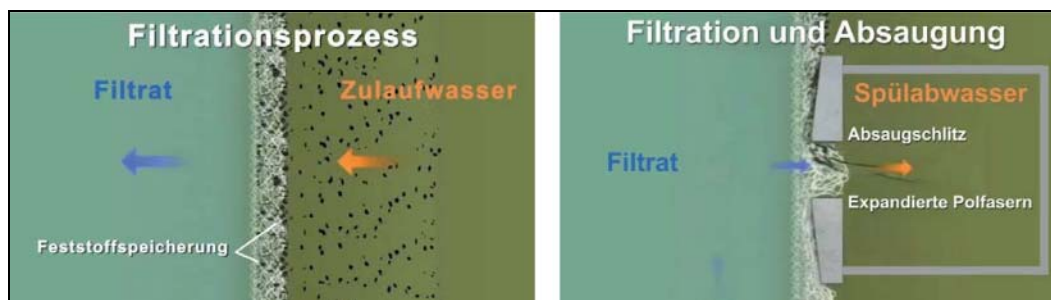


Bild 12: Prinzip – Filtration mit Polstoffen (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

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

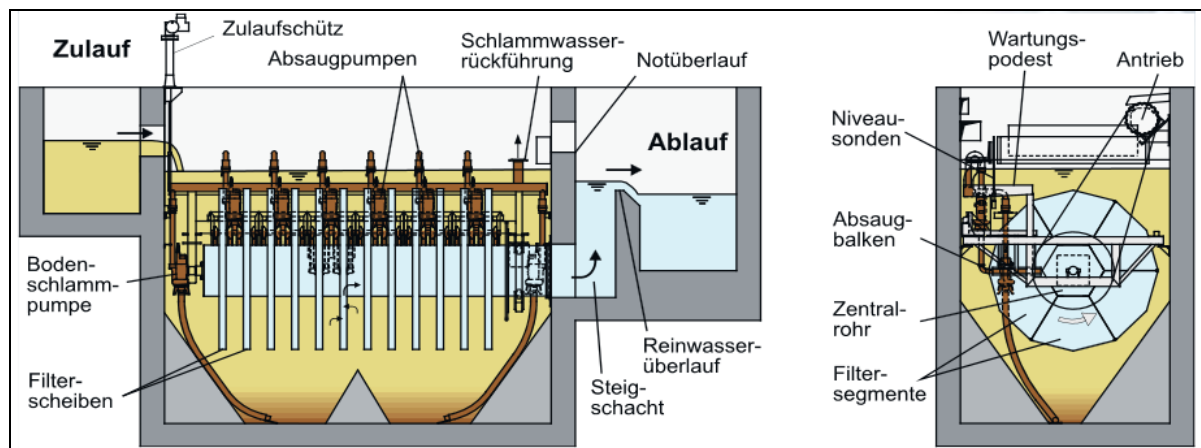


Bild 13: Polstoff-Scheibentuchfilter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Mecana Umwelttechnik GmbH)

**Schwerkraftfilter**

Das Funktionsprinzip wird in Bild 14 verdeutlicht.

- 1 Das Rohwasser tritt über ein Zulaufgefäß ein (1)
- 2 Über die Zulaufleitung (2) fließt das Wasser der Filterkammer zu (4) und durchströmt die Sandschicht, bzw. die Aktivkohleschicht von oben nach unten
- 3 Über den Filterboden gelangt das Wasser in die Filtrat-Sammelkammer (5) und von dort über eine Steigleitung in den Ablauf, sobald der Rückspülspeicher (7) über Leitrohre (8) befüllt ist.
- 4 Druckverlust in der Sandschicht durch zunehmende Verschmutzung bewirkt einen Anstieg der Wassersäule in der Zulaufleitung (2) und der Rückspüleleitung (9).
- 5 Erreicht der Wasserstand in der Rückspüleleitung (9) den oberen Krümmer, tritt ein automatischer Rückspülvorgang ein, durch Absaugen von Luft aus der Rückspüleleitung tritt eine Heberwirkung auf, der Wasser aus der Rückspülkammer durch das Filtermedium saugt und Partikel ausschwemmt. Das Filterbett wird aufgelockert und gereinigt.
- 6 Der Rückspülvorgang wird beendet, sobald der Wasserstand im Rückspülspeicher die Öffnung des Unterbrecherrohres erreicht.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

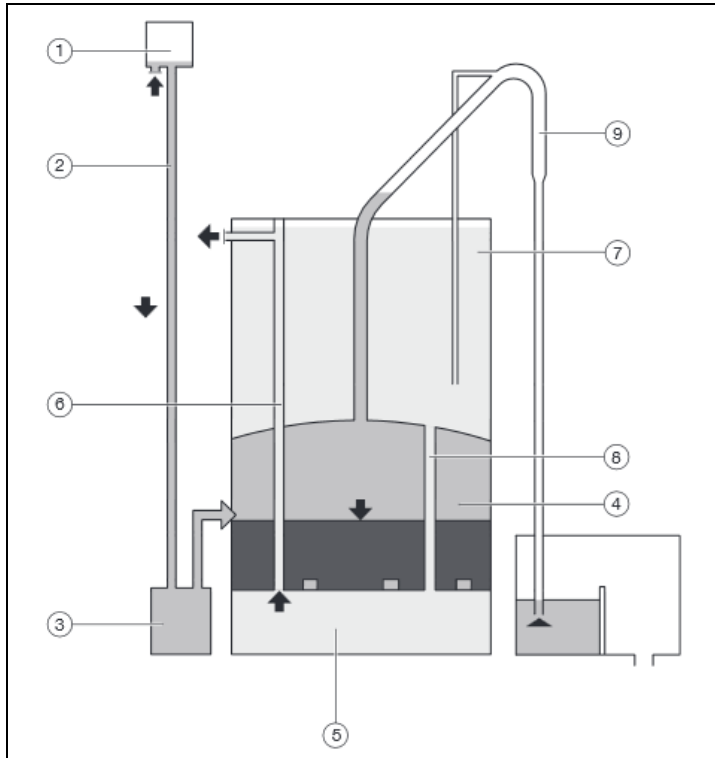


Bild 14: Schema – Automatischer Schwerkraftfilter (Quelle: Fa. Prominent)

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

### 5.5 Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren

Die Wirksamkeit der verschiedenen Verfahren zur Spurenstoffelimination wurde u.a. von Bolle et al. [36] untersucht. Eine grobe Verfahrensbewertung zeigt Tabelle 2. Die Eliminationsleistung wird wie folgt beurteilt:

Kategorie: - schlechte Eliminationsleistung: < 10 %

Kategorie: 0 mäßige Eliminationsleistung: 10 % - 50 %

Kategorie: + gute Eliminationsleistung: 50 % - 90 %

Kategorie: ++ sehr gute Eliminationsleistung > 90 %

Tabelle 2: Bewertung der Eliminationsleistung verschiedener Verfahren bezüglich der Elimination ausgewählter Spurenstoffe [36]

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

NF = Nanofiltration; RO = Reverse Osmosis (Umkehrosmose); UV = Ultraviolett Strahlung; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = Wasserstoffperoxid

Unter den Arzneimitteln werden Carbamazepin und Diclofenac in der Regel mit 90% eliminiert. Für den Betablocker Metoprolol wurden gute bis sehr gute Eliminationen für Ozonung sowie für Adsorption an PAK u.a. gefunden. Das Antibiotikum Sulfamethoxazol wird bei oxidativen Verfahren u.a. gut entfernt, bei adsorptiven Verfahren jedoch nur mäßig bis gut entfernt. Das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure erweist sich als das am schwersten zu eliminierende Arzneimittel [36].

Grundsätzlich wird bei Verfahren mit GAK und PAK von ähnlichen Eliminationsleistungen auszugehen sein. Die Ergebnisse der Tabelle 2 beruhen auf diversen Literatur. Unter Umständen sind



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Abweichungen bei Eliminationsleistungen auch auf systematische Unterschiede in den diversen Untersuchungen zurückzuführen.

### 5.6 Großtechnische Betriebserfahrungen zur Mikroschadstoffelimination auf Kläranlagen

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

Eine Übersicht der in Baden-Württemberg in Planung, in Bau und in Betrieb befindlichen Kläranlagen mit einer 4.Stufe zur Spurenstoffelimination gibt Bild 15 [32]. Bild 16 zeigt eine entsprechende Übersicht zu Anlagen aus Nordrhein Westfalen [33].

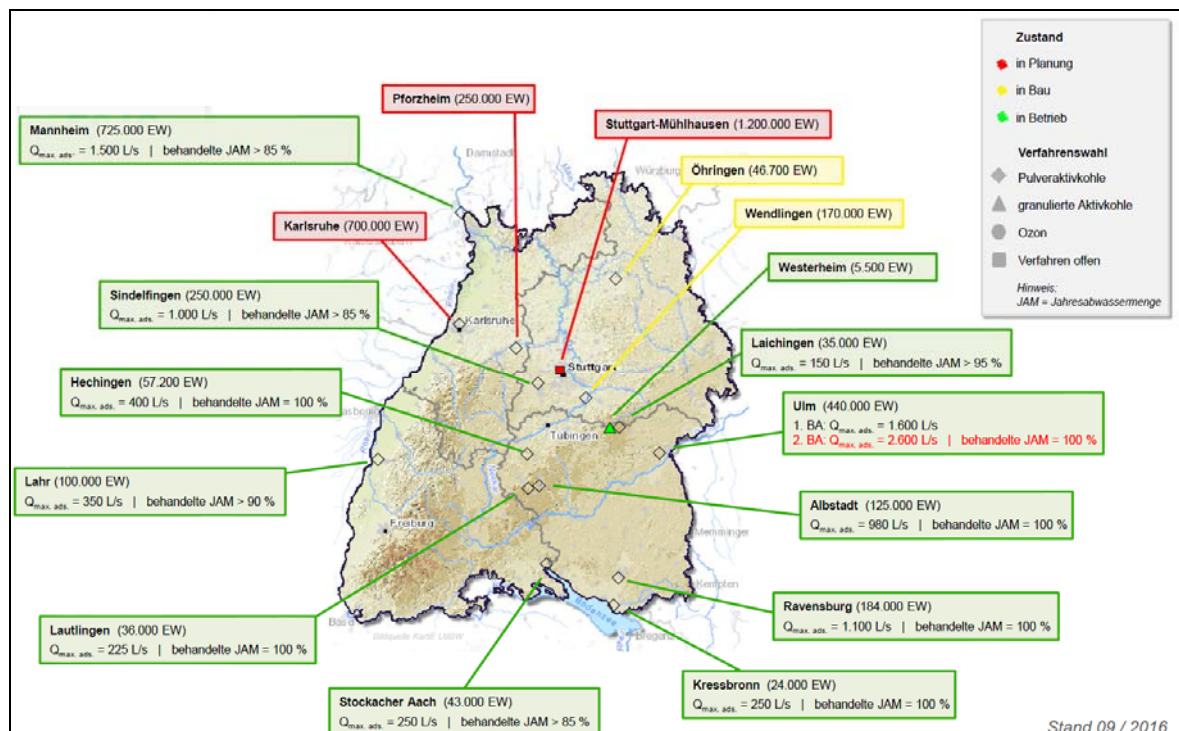


Bild 15: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in Baden-Württemberg (Stand: 9/2016) [32]



5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

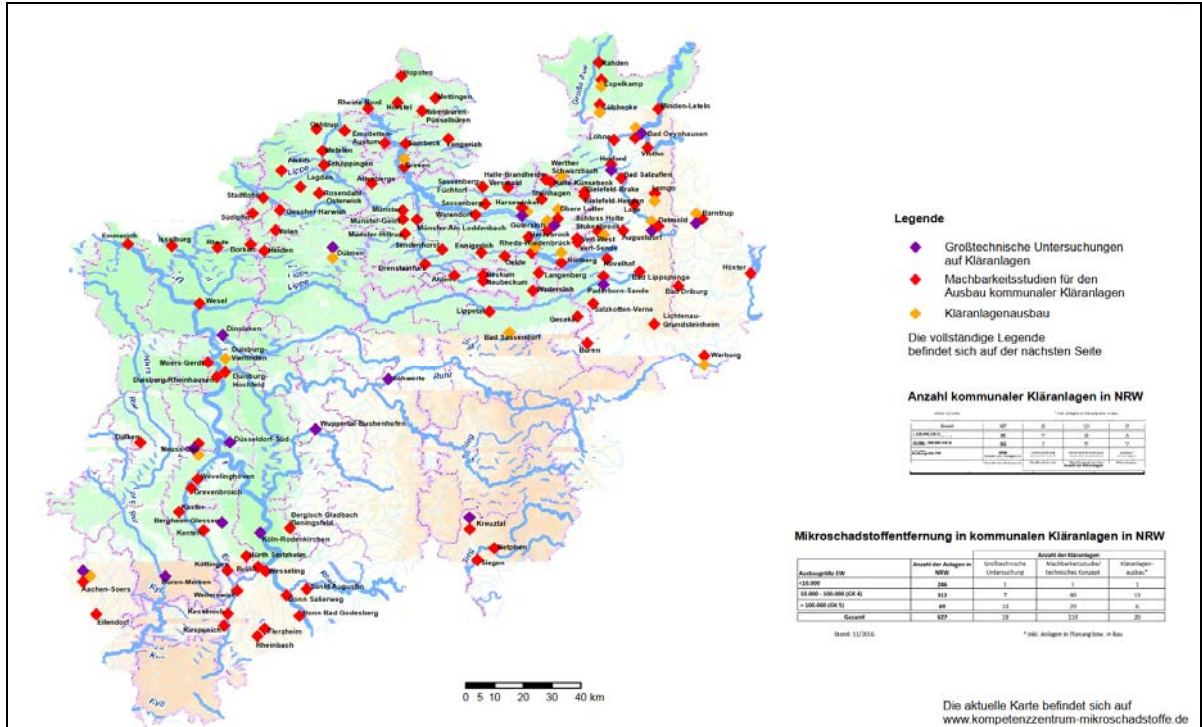


Bild 16: Übersicht zu Kläranlagen mit geplanter / realisierter 4.ter Stufe zur Spurenstoffelimination in NRW (Stand: 9/2016) [33]

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**5.6.1 Realisierte Anlagen zur Mikroschadstoffelimination**

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

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

Kläranlage	Verfahren	Einwohner	Art /Stand
Dülmen	PAK Adsorptionsanlage	55.000 E	Großtechnik / in Bau
Neuss Ost	PAK Dosierung in Flo.fil.	80.000 E / (280.000 E)	Großtechnik / in Planung
Barntrop	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

**Kläranlage Barntrop (Stadt Barntrop)**



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

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

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**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

**Kläranlage Rietberg (Stadt Rietberg)**


(Foto: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH)

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

**Mikroschadstoffelimination auf Basis von Ozonierung**

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

**Kläranlage Düsburg Vierlinden (Wirtschaftsbetriebe Düsburg)**



(Foto: Wirtschaftsbetriebe Duisburg)

Grunddaten	Technik	Kosten
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	Ozonung: eine Diffusorstraße ( $V=100 \text{ m}^3$ ) eine Injektorstraße ( $V=100 \text{ m}^3$ ) biologische Nachbehandlung DOC Steuerung Ozondosierung	ca. 1,5 Mio. Euro netto
Betrieb seit 2011		

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

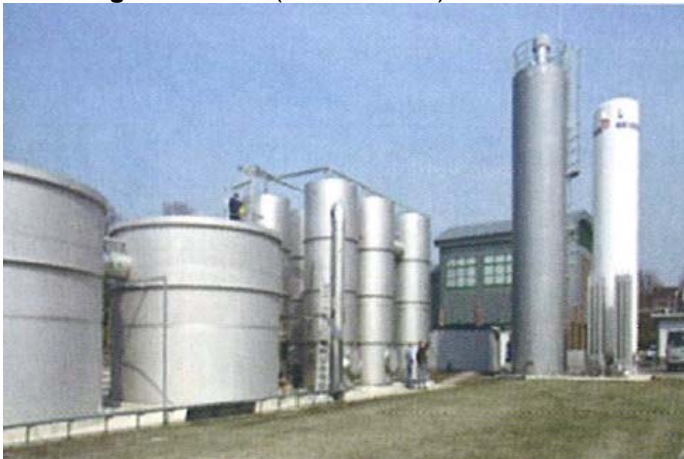
**Kläranlage Bad Sassendorf (Lippeverband)**



(Foto: Emschergenossenschaft / Lippeverband)

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

**Kläranlage Schwerte (Ruhrverband)**



(Foto: Ruhrverband)

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

### 5.7 Auslegung von Anlagen zur Spurenstoffelimination

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

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

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

Zusammenfassend werden die Empfehlungen der Arbeitsgruppe des Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW [1] wiedergegeben. Zu ergänzenden, bzw. abweichenden Auslegungsempfehlungen werden die Quellen benannt.

#### **Auslegungswassermenge:**

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

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

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Die empfohlene Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge wird in Bild 17 dargestellt.

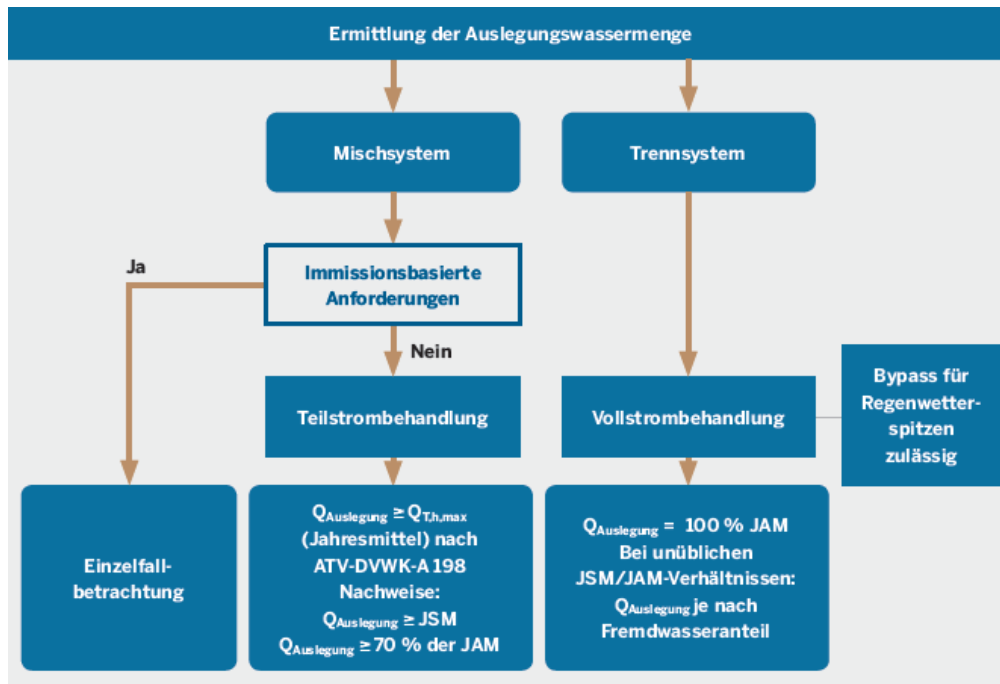


Bild 17: Vorgehensweise zur Ermittlung der Auslegungswassermenge [1]

Bei Auslegung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf den Mischwasserabfluss statt auf den maximalen Trockenwetterabfluss und Annahmen einer Reduzierung der Spurenstoffen in der biologischen Stufe von 25% und in der nachgeschaltete Mikroschadstoffstufe von 75%, erhöht sich nach Berechnungen von Metzner [9] der auf die Jahresfracht bezogene Gesamtwirkungsgrad um nur 7 %. Wirtschaftlich kann somit nur eine Auslegung in Bezug auf den max. Trockenwetterabfluss sein. Ozonanlagen in Duisburg-Vierlinden und Bad Sassendorf wurden entsprechend ausgelegt ( $Q_{T,2h,max}$ ) [8]. Alternativ ist eine Ozonanlage über einen festzulegenden Anteil der Jahresabwassermenge (JAM) auszulegen [7].

**Standortspezifische Abwassereigenschaften für Verfahrensauswahl:**

- Gelöster, organischer Kohlenstoff (DOC) bzw. CSB im Zulauf zur Verfahrensstufe
- Feststoffgehalt (AFS) im Zulauf zur Verfahrensstufe
- Bromidkonzentration (bei Ozonungsverfahren wg. Bildung von Bromat)
- Spurenstoffe – Mindestumfang 24h-Mischproben bei Trockenwetterbedingungen, Screening von standortrelevanten Stoffen sowie Leitparameter (s. Tabelle 3) und standortrelevante Stoffe, Perfluorierte Tenside (PFT), Galaxolide (HHCB, Moschusduftstoffe).



## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

### Kriterien der Verfahrensauswahl:

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

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

### Eliminationsziel:

Für den emissionsbasierten Ansatz wird das Erreichen des Reinigungsziels durch Sicherstellung einer Elimination von 80% bezogen auf die Gesamtkläranlage für ausgewählte Indikatorsubstanzen sowie durch die Vorgabe einer zu behandelnden Abwassermenge überprüft. Als Indikatorsubstanz werden die in Tabelle 3 angegebenen Substanzen vorgeschlagen [1]. Das Eliminationsziel von 80% ist für die Indikatorsubstanzen als Jahresmittel zu erreichen. Berechnet wird die Gesamtelimination der Kläranlage einschließlich der Anlage zur gezielten Entfernung der Mikroschadstoffe.

Tabelle 3: Umfang Indikatorsubstanzen zur Bewertung der Reinigungsleistung [1]

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

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

### Auslegung Ozonanlage:

#### **Ozonerzeugung**

- Maximale Ozonmenge, empfohlene Dosis als Auslegungsgröße in Abhängigkeit von der DOC Konzentration:  $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,8 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$  [11].  
Maximale Ozonmenge zur Elimination der meisten Spurenstoffe gemäß schweizerischem Bundesamt für Umwelt  $z_{\text{spez}} = 0,7 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$  [10]  
Empfohlener Auslegungsbereich:  $z_{\text{spez}} = 0,6 - 0,9 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$ ,  
im Mittel:  $z_{\text{spez}} = 0,75 \text{ g O}_3 / \text{g DOC}$   
Die angegebenen Ozonkonzentrationen setzen eine stabile Nitrifikation voraus und geringe Feststoffablaufwerte der Nachklärung.
- Festlegung der applizierten Ozonkonzentration:  
 $C_{\text{O}_3} = z_{\text{spez}} \times C_{\text{DOC}}$
- Ermittlung der benötigten Produktionskapazität:  
 $B_{\text{O}_3, \text{max}} = Q_{\text{Bem}} \times C_{\text{O}_3}$   
Bemessungswassermenge  $Q_{\text{Bem}}$  entspricht dem Spitzenabfluss bei Trockenwetter ( $Q_{\text{T,h,max}}$  oder  $Q_{\text{T,2h,max}}$ )
- Ozonerzeugung über flüssigen Sauerstoff (LOX), komprimierte Luft, Sauerstoff aus PSA-Anlage. LOX-Anlagen wandeln ca. 10 M.% in  $\text{O}_3$  um.

#### **Ozonreaktor**

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

#### **Ozoneintrag**

- Ozoneintrag über Diffusoren oder Pumpe-Injektorsystem
- Bei Ozoneintrag über Diffusoren ist eine Beckentiefe min. 5 m erforderlich
- Bei Eintrag über Injektorsystem, Eintrag in Abwasserteilstrom, Treibwasserpumpe erforderlich. Wahl Eintragungssystem nach wirtschaftlichen, betrieblichen Faktoren
- Steuerung proportional zur Zulaufmenge. Zusätzlich ggf. SAK-, UV-Vis-Sonden, DOC-Messung,  $\text{O}_3$ -Konzentration im Off-Gas oder in der gelösten Phase
- $\text{O}_3$  ggf.  $\text{O}_2$ -Messungen in Betriebsräumen (Arbeitssicherheit)

## 5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

---

- Empfohlene Anwendung der zulaufmengenproportionalen Ozondosierung für Kläranlagen unter 100.000 EW und ohne starke Schwankungen des DOC [1]

### **Nachbehandlung - Ozonungsanlagen**

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

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

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

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

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

## **6 Kläranlage Verl-West**

### **6.1 Kurzbeschreibung Kläranlage**

Die Kläranlage Verl-West wurde Mitte der siebziger Jahre errichtet, Mitte der achtziger Jahre wurde die Anlage auf eine Ausbaugröße von 30.000 Einwohnerwerte (EW) erweitert und als einstufige Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisation betrieben.

Durch steigende Schmutzfrachten und erhöhte Reinigungsanforderungen hatte das Klärwerk Mitte der neunziger Jahre seine Kapazitätsgrenze erreicht und musste umgebaut und erweitert werden. Hierbei erfolgte die Umstellung der Kläranlage Verl-West von der aeroben auf die anaerobe Schlammstabilisation mit der Errichtung eines Vorklärbeckens und der Schlammfäulung.

Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Ergänzung Mengenummessung im Zulaufpumpwerk,
- Umbau Rechengebäude mit Feinstrechen, Rechengutwaschpresse und Containeranlage,
- Umbau belüfteter Sand- und Fettfang mit Sand- und Fetträumung, Sandwasch- und Containeranlage,
- Neubau zweistraßiges Vorklärbecken mit Primärschlammumpwerk, Bypassleitung
- Ausstattung der vorhandenen Belebungsbecken mit neuen Belüftungseinrichtungen,
- Neubau Gebläsegebäude, Neubau Nachfällungsanlage,
- Austausch des vorhandenen Leitungssystems des Voreindickers und des Schlammstapelbehälters,
- Neubau von Faulbehälter, Gasspeicher, Nacheindicker, BHKW-Anlage, Gasfackel sowie verbindende Leitungen und EMSR-Technik.

6. Kläranlage Verl-West

Die Ausbaugröße der Kläranlage beträgt 47.000 EW. Für die Erweiterung der biologischen Stufe ist ein 3. Belebungsbecken vorgesehen. Der Lageplan der Kläranlage ist in Bild 18 dargestellt.

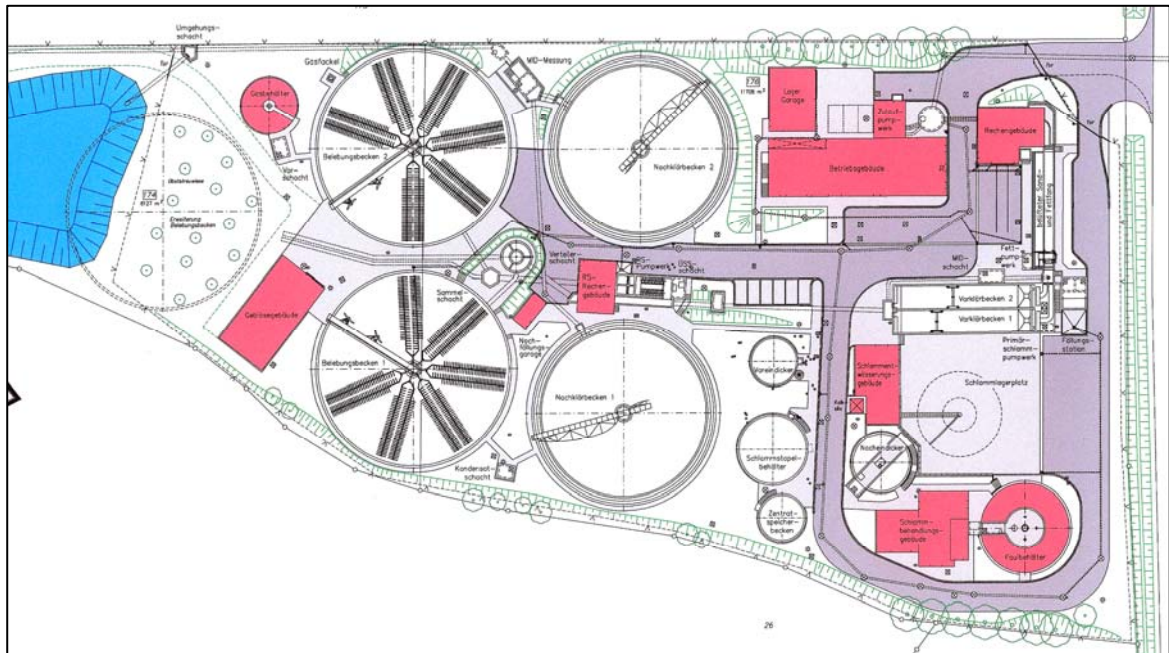


Bild 18: Lageplan Kläranlage Verl-West (rot – Ausbau 2004)

6. Kläranlage Verl-West

---



Bild 19: Sandfang, Vorklärbecken (links, oben), Faulbehälter, BHKW-Gebäude (rechts oben);  
Nacheindicker u.a. (links, unten), Belebungsbecken, Gasbehälter (rechts, unten)

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Verl für den Istzustand sowie Ausbauzustände (1998, 2008, 2018) werden in Tabelle 4 zusammengefasst.

## 6. Kläranlage Verl-West

Tabelle 4: Bemessung- und Auslegungswerte Kläranlage Verl-West [2, modifiziert]

<b>Einwohnerwerte</b>	<b>1998 (Ist)</b>	<b>2008 (Prognose)</b>	<b>2018 (Prognose)</b>
Wohngebiete einschl. Kleingewerbe	18.600 EW	21.265 EW	23.445 EW
Gewerbe, Industrie	8.140 EW	9.460 EW	10.175 EW
Starkverschmutzerzuschlag	8.000 EW	10.000 EW	12.000 EW
Einwohner aus Kanalisation	34,740 EW	40.725 EW	45.620 EW
Fäkalschlamm (gerundet)	1.260 EW	1.275 EW	1.380 EW
<b>Summe Einwohnerwerte (Bemessung)</b>	<b>36.000 EW</b>	<b>42.000 EW</b>	<b>47.000 EW</b>
<b>Summe Einwohnerwerte (im Mittel)</b>	<b>27.000 EW</b>	<b>31.500 EW</b>	<b>35.250 EW</b>

<b>Trockenwetterzufluss</b>	<b>1998 (Ist)</b>	<b>2008 (Prognose)</b>	<b>2018 (Prognose)</b>
Täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$	3.200 m <sup>3</sup> /d	3.650 m <sup>3</sup> /d	4.100 m <sup>3</sup> /d
minimaler Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$	27 m <sup>3</sup> /h	31 m <sup>3</sup> /h	35 m <sup>3</sup> /h
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$	133 m <sup>3</sup> /h	152 m <sup>3</sup> /h	171 m <sup>3</sup> /h
maximaler Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$	220 m <sup>3</sup> /h	259 m <sup>3</sup> /h	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>

Jährliche Schmutzwassermenge	1,168 Mio. m <sup>3</sup> /a	1,332 Mio. m <sup>3</sup> /a	1,496 Mio.m <sup>3</sup> /a
------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------

<b>Mischwasserzufluss</b>	<b>1998 (Ist)</b>	<b>2008 (Prognose)</b>	<b>2018 (Prognose)</b>
Mischwasserzufluss $Q_m$	446 m <sup>3</sup> /h	516 m <sup>3</sup> /h	570 m <sup>3</sup> /h
maximaler Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$ (Leistung Zulaufpumpwerk)	850 m <sup>3</sup> /h	850 m <sup>3</sup> /h	850 m <sup>3</sup> /h

Das Abwasser der Stadt Verl entspricht im Wesentlichen den durchschnittlichen Werten für kommunales Abwasser des Arbeitsblattes DWA-A131. Krankenhäuser und indirekt einleitende Industriebetriebe die zu einer potentiell hohen Fracht an Spurenstoffen im Abwasser beitragen könnten, sind soweit bekannt nicht an die KA Verl-West angeschlossen.

Der Größte Teil der an das Klärwerk angeschlossenen Gebiete sind trennkanalisiert. Das Kerngebiet von Verl wird im Mischverfahren entwässert.

Für die Ermittlung der spezifischen Kosten in Bezug zu den „gebührenwirksamen Abwassermengen“ werden die Mittelwerte der Jahre 2012 - 2014 angesetzt (1.273.000 m<sup>3</sup>/a, 1.231.000 m<sup>3</sup>/a, 1.273.000 m<sup>3</sup>/a), im Mittel rd. 1.254.000 m<sup>3</sup>/a.

6. Kläranlage Ver-West

Die Abwasser- und Schlammwege u.a. sind dem nachfolgen dargestellten Verfahrensfließbild zu entnehmen.

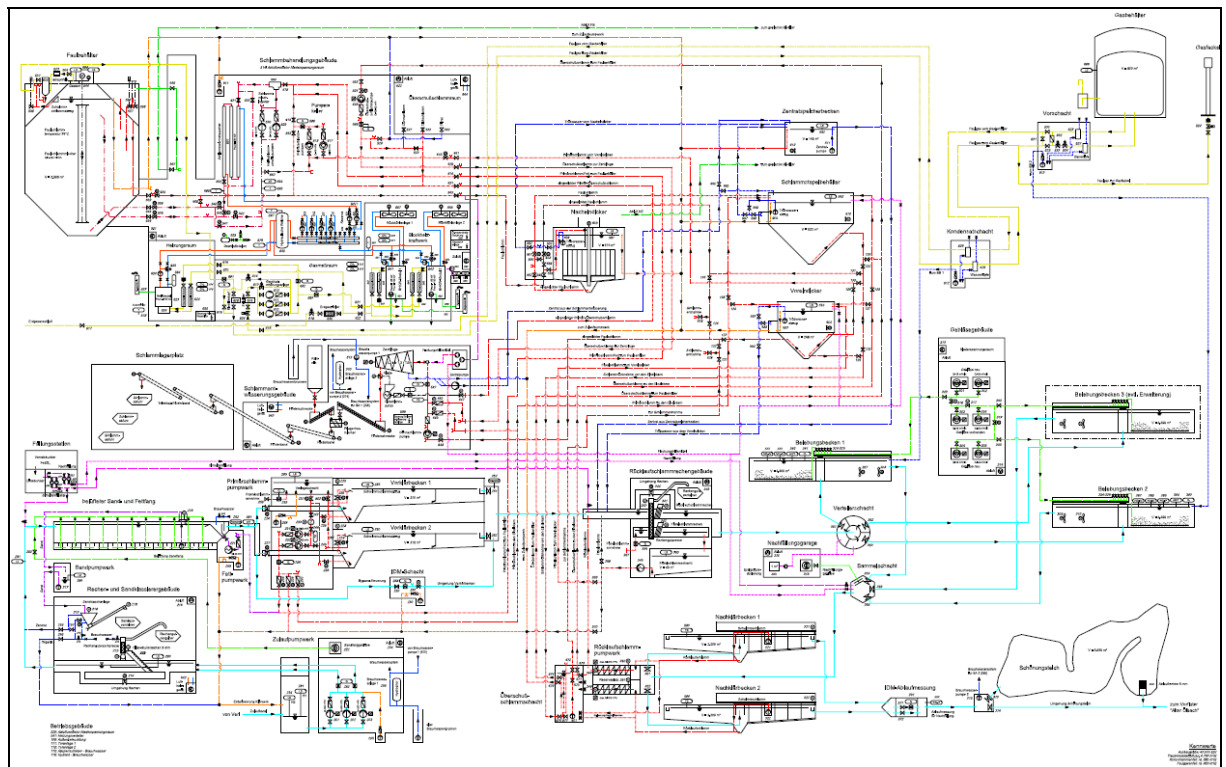


Bild 20: Verfahrensfließbild - Kläranlage Ver-West



6. Kläranlage Verl-West

**6.2 Situation Gewässer**

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Alten Ölbach (nicht berichtspflichtiges Gewässer). Der Alte Ölbach fließt nach kurzer Strecke in den Ölbach, der weitere Gewässerverlauf ist dann Wapelbach, Dalkebach, Ems. Das Gewässersystem zeigt Bild 21.

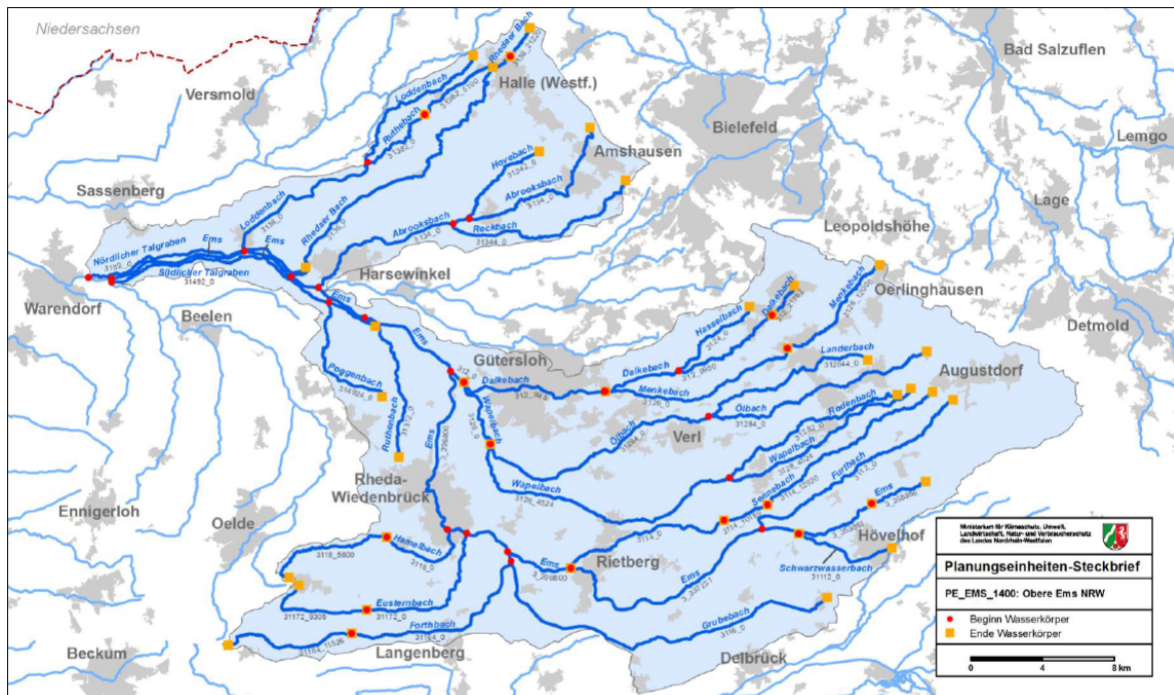


Bild 21: Oberflächengewässerkörper in der Planungseinheit PE\_EMS\_1400 Obere Ems NRW [40]

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold am Alten Ölbach ergaben ein MNQ von 0,003 m³/s (2012). Bezogen auf die Jahresabwassermenge der Kläranlage von 1,717 Mio. m³ (2012) bzw. 0,054 m³/s ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von 1 zu 0,055 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 1.724 % (Jahr 2012).

Der Alte Ölbach wird also im Wesentlichen aus dem Abfluss der Kläranlage gespeist. Der Abwasserabfluss ist rd. 18 mal höher als der natürliche Gewässerabfluss bei MNQ.

Der Abwasseranteil am MQ von 0,018 m³/s beträgt ca. 308 %.

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.

## 6. Kläranlage Verl-West

---

### **Alter Ölbach:**

Zum Alten Ölbach liegen keine Daten zur Gewässerqualität vor.

### **Ölbach:**

Der ökologische Zustand des Ölbachs ist im 2. und 3. Monitoringzyklus von der Mündung in die Wapel südl. Gütersloh bis zur Quelle westl. Augustdorf als „unbefriedigend“ bewertet. Insbesondere für Fische und Phytobenthos (Diatomeen) ist der Zustand unbefriedigend. Das ökologische Potenzial wird ebenfalls als „unbefriedigend“ bewertet, der chemische Zustand als „nicht gut“.

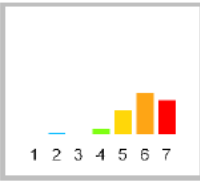
Es wurde unter den allgemeinen chemischen und physikalischen Parametern (ACP) für organische Kohlestoffe (TOC), Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphor-Phosphat Konzentrationen festgestellt die Orientierungswerte überschreiten.

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

Die Wasserkörpertabelle mit der ökologischen Zustandsbewertung des Ölbaches zeigt Bild 22 [40].

Als Folge des erhobenen Gewässerzustandes des Ölbaches sieht der Bewirtschaftungsplan Ems /Ems NRW (2016-2021) für die Kläranlage Verl-West einen technischen Ausbau der 4. Reinigungsstufe in Abhängigkeit vom Ergebnis der Machbarkeitsstufe vor [40].

6. Kläranlage Verl-West

Planungseinheit	PE_EMS_1400	
Wasserkörper-ID	31284_0 <sup>1</sup>	
Gewässername	Ölbach	
Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung in die Wapel südl. Gütersloh. bis zur Quelle westl. Augustdorf	
LAWA-Fließgewässertyp	14	
Trinkwassergewinnung	ja	
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB	
HMWB-Fallgruppe	LuH-TLB	
<b>Monitoringzyklus</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Ökologischer Zustand	unbefr.	unbefr.
MZB Saprobie	gut	gut
MZB Allgemeine Degradation	unbefr.	mäßig
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.
MZB Gesamt	unbefr.	mäßig
Fische	unbefr.	unbefr.
Makrophyten (PHYLIB)		
Makrophyten (NRW)	sehr gut	
Phytobenthos (Diatomeen)	unbefr.	unbefr.
Phytobenthos o. Diatomeen		mäßig
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.
Ökologisches Potenzial	unbefr.	unbefr.
MZB Allgemeine Degradation	mäßig	mäßig
MZB Gesamt	mäßig	mäßig
Fische	unbefr.	unbefr.
Metalle (Anl. 5 OGewV)	sehr gut	gut
PBSM (Anl. 5 OGewV)	gut	
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)		
ACP Gesamt (OW)	eing. gut	nicht eing.
Gewässerstruktur		
Metalle n. ges. verb. (OW)	nicht eing.	eing. gut
PBSM n. ges. verb. (OW)	eing. gut	
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	eing. s. gut	eing. s. gut
<b>Chemischer Zustand<sup>1</sup></b>	<b>nicht gut</b>	<b>nicht gut</b>
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut	
Metalle (Anl. 7 OGewV <sup>2</sup> )	gut	
PBSM (Anl. 7 OGewV)	gut	
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)		
Nitrat (Anl. 7 OGewV)	gut	

Planungseinheit	PE_EMS_1400
Wasserkörper-ID	31284_0 <sup>4</sup>
Gewässername	Ölbach
Wasserkörperbezeichnung	von der Mündung in die Wapel südl. Gütersloh. bis zur Quelle westl. Augustdorf
ACP Gesamt (OW)	Ammonium-Stickstoff; Gesamtphosphat-Phosphor; Organischer Kohlenstoff,gesamt (TOC)
<b>Stoffgruppen des ökologisch</b>	
Metalle (Anl. 5 OGewV)	
PBSM (Anl. 5 OGewV)	
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGewV)	
<b>Gesetzlich nicht verbindlich</b>	
Metalle n. ges. verb. (OW)	Gadmium
PBSM n. ges. verb. (OW)	
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)	
<b>Stoffgruppen des chemische</b>	
Metalle (Anl. 7 OGewV) <sup>1</sup>	
PBSM (Anl. 7 OGewV)	
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGewV)	

Bild 22: Gewässerzustand Ölbach (Wasserkörpertabelle) [40]

## 6. Kläranlage Verl-West

---

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



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

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

Untersucht wurden 23 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe (siehe Anhang). Unter anderem wurde analysiert:

Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a.

Es wurde im Zeitraum 11.03.2014 bis 14.03.2014 eine Mischprobe im Ablauf der Kläranlage entnommen (Ablauf Schönungsteich).

Die Probe wurde als 72-Stunden Mischprobe zeitproportional entnommen. Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vor der Probenahme trat kein Niederschlag auf.

Die nachfolgend aufgeführte Tabelle 5 zeigt die festgestellte Konzentration der Spurenstoffe sowie eine qualitative Einschätzung der Konzentrationshöhe des Labors im Vergleich zu Ergebnissen von Spurenstoffuntersuchungen des Labors an Abläufen von kommunalen Kläranlagen (131 Untersuchungen) (OWL Umweltanalytik, Leopoldshöhe) und eine Gegenüberstellung der Grenzwerte der D4-Liste des Leitfadens Monitoring Oberflächengewässer des MKULNV NRW.



7. Screening zu Spurenstoffen

Tabelle 5: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Verl-West (11.03 – 14.03.2014)

Spurenstoffe:		Spurenstoff-Messwerte		Bewertung Labor OWL	Grenzwerte D4-Liste
Gruppe	Wirkstoffe	Ablauf KA			LAWA/PNEC, WRRL
<b>Antiepileptikum</b>	Carbamazepin	µ g/l	0,93	mittel	0,5 / 2,5
<b>Antibiotika</b>	Clarithromycin	µ g/l	0,30	über mittel	0,02
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,19	unter mittel	0,15
<b>Schmerzmittel</b>	Diclofenac	µ g/l	3,40	über mittel	0,1
	Naproxen	µ g/l	0,27	über mittel	0,1
	Phenazon	µ g/l	0,09	über mittel	1,1
<b>Betablocker</b>	Metoprolol	µ g/l	3,70	hoch	7,3
	Sotalol	µ g/l	0,47	mittel	0,1
	Atenolol	µ g/l	0,13	mittel	0,1
	Bisoprolol	µ g/l	0,41	hoch	0,1
<b>Röntgenkontrast</b>	Amidotrizoesäure	µ g/l	< 0,05	kein Nachweis	0,1
	Iopamidol	µ g/l	< 0,05	kein Nachweis	0,1
	Iopromid	µ g/l	< 0,1	kein Nachweis	0,1
	Iomeprol	µ g/l	< 0,06	gering	
<b>Psychopharmaka</b>	Oxacepam	µ g/l	0,15	gering	
<b>Lipidsenker</b>	Bezafibrat	µ g/l	0,12	gering	
<b>Komplexbildner</b> (Geschirrspülmittel)	Benzotriazol	µ g/l	4,10	mittel	0,1 /4,5/10
<b>Herbizid</b>	Terbutryn	µ g/l	0,03	gering	0,03 / 0,065
	Isoproturon	µ g/l	< 0,05	gering	0,3
	Diuron	µ g/l	< 0,05	gering	0,1
<b>Hormon</b>	17-alpha				0,000035
	Ethinylestradiol	µ g/l	< 0,001	gering	(Ethinylestradiol)
	17-beta-Estradiol	µ g/l	< 0,001	gering	0,0004 (für
	Estron	µ g/l	< 0,001	gering	Estron)

Der Lipidsenker Bezafibrat konnte in geringer Konzentration nachgewiesen werden.

Die Schmerzmittel Diclofenac, Naproxen und Phenazon fanden sich alle im Ablauf der KA Verl-West und lagen jeweils über den für alle bisher durchgeführten Untersuchungen (Labor OWL) gebildeten Mittelwerten.

Das Antiepileptikum Carbamazepin konnte in fast allen bisher untersuchten Kläranlagen-Abläufen des Labors nachgewiesen werden. Ebenso im Ablauf der KA Verl-West. Die ermittelte Konzentration wurde in der Größenordnung anderer Untersuchungen vorgefunden.

Die Betablocker Atenolol, Bisoprolol, Metoprolol und Sotalol konnten sämtlich am Ablauf der Kläranlage nachgewiesen werden. Während die Konzentrationen an Atenolol und Sotalol



## 7. Screening zu Spurenstoffen

---

durchschnittlich waren, lagen die gefundenen Konzentrationen von Metoprolol und Bisoprolol im oberen Bereich.

Die Antibiotika Clarithromycin und Sulfamethoxazol konnten nachgewiesen werden, ersteres eher über-, letzteres eher unterdurchschnittlich im Vergleich zu anderen Abläufen kommunaler Kläranlagen.

Das Psychopharmaka Oxazepam konnte in geringer Konzentration gemessen werden. Die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure, Iopamidol und Iopromid konnten nicht, Iomeprol nur in geringer Konzentration am Ablauf der KA Verl-West nachgewiesen werden.

Von den Pflanzenschutzmitteln Diuron, Isoproturon und Terbutryn wurde lediglich letzteres in sehr geringer Konzentration im Ablauf der Kläranlage festgestellt.

Die Konzentration des u.a. in Geschirrspülmitteln enthaltenen Korrosionsschutzmittels Benzotriazol fand sich in geringen Mengen im Ablauf der Kläranlage.

Weiterhin wurde keines der drei Steroidhormone Estron, 17-alpha-Ethinylestradiol und 17-beta-Estradiol im Ablauf der Kläranlage Verl-West über der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

Grenzwerte der D4-Liste werden für Clarithromycin, Sulfamethoxazol, Naproxen, Sotalol, Atenolol und Bisoprolol geringfügig bis deutlich überschritten. Für Diclofenac und Benzothiazol wurden sehr hohe Überschreitungen der Orientierungswerte gemäß D4-Liste festgestellt.



7. Screening zu Spurenstoffen

In Bild 23 werden die wesentlichen im Ablauf des Schönungsteiches festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt (Anzahl Stickproben: 1). Auffallend ist, dass für einzelne Substanzen hohe Konzentrationen über 3 µg/l festgestellt wurden. Insbesondere für das Schmerzmittel Diclofenac werden häufig vergleichsweise hohe Konzentrationen beobachtet (s. auch Tabelle 6). Andere Substanzen liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Dies betrifft u.a. Röntgenkontrastmittel. Offenbar waren im Beobachtungszeitraum keine oder wenige entsprechend untersuchte Patienten im Einzugsbereich der Kläranlage angesiedelt.

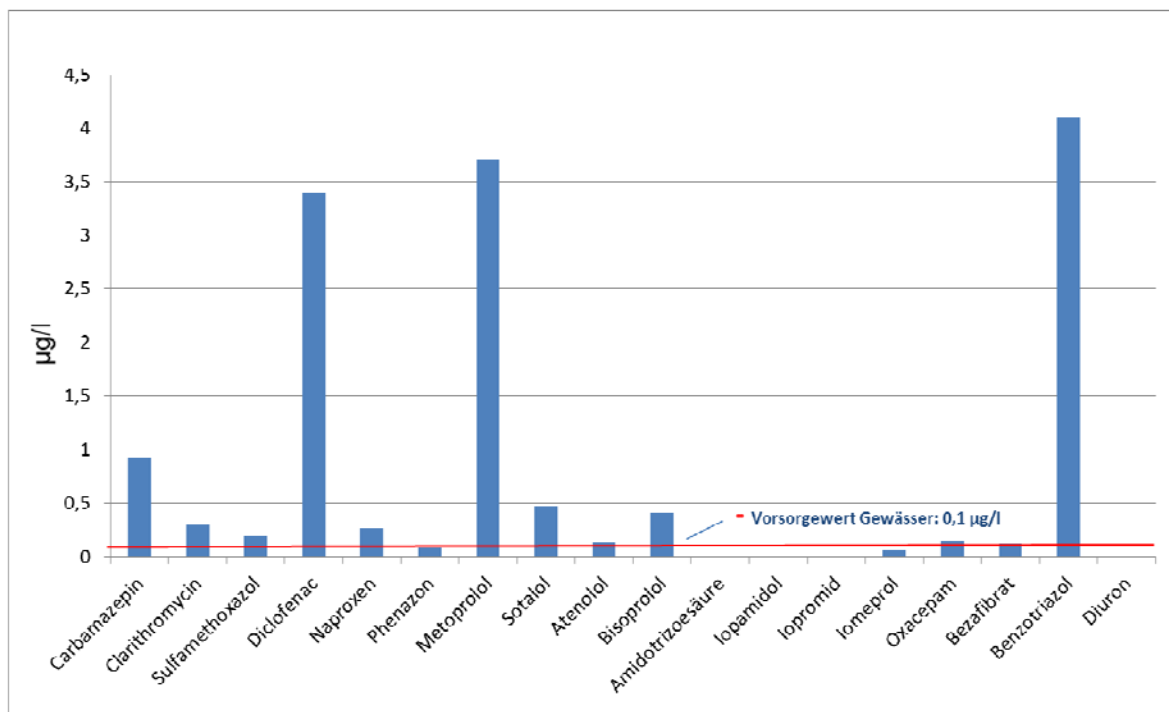


Bild 23: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf des Schönungsteiches

Ein Vergleich der festgestellten Spurenstoffkonzentrationen mit ausgewählten Parametern der Literatur ist Tabelle 6 zu entnehmen. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den auf anderen Kläranlagen gefundenen Spurenstoffkonzentrationen.

Von durchschnittlichen Spurenstoffkonzentrationen in Abwässern stark abweichende Konzentrationen wurden für die Kläranlage Verl-West nicht beobachtet.




 7. Screening zu Spurenstoffen
 

---

Tabelle 6: Spurenstoffkonzentrationen im Vergleich mit Beobachtungen anderer Kläranlagen

Spurenstoff	Wirkstoff	KA Verl- West	KA Verl- Sende	KA Rietberg	KA Neuss / KA Sassendorf [3]
Antiepileptika	Carbamazepin	0,93 µg/l	1,3 µg/l	1,1 - 2,8 µg/l	1,4 / 1,3 µg/l
Antibiotika	Clarithromycin	0,3 µg/l	0,56 µg/l	<0,5 - 0,19 µg/l	0,7 / 0,71 µg/l
	Sulfamethoxazol	0,19 µg/l	0,33 µg/l	0,5 - 1,1 µg/l	
Schmerzmittel	Diclofenac	3,4 µg/l	4,4 µg/l	1,8 – 3,7 µg/l	1,1 / 4,9 µg/l
	Naproxen	0,27 µg/l	0,17 µg/l	0,06 – 0,19 µg/l	
	Phenazon	0,09 µg/l	0,09 µg/l	<0,05 - 0,09 µg/l	
Betablocker	Metoprolol	3,7 µg/l	3,7 µg/l	1,6 – 3,5 µg/l	
	Sotalol	0,47 µg/l	0,32 µg/l	0,56 - 0,75 µg/l	
	Atenolol	0,13 µg/l	0,38 µg/l	0,13 - 0,27 µg/l	
	Bisoprolol	0,41 µg/l	0,54 µg/l		
Röntgenkon- trastmittel	Amidotrizoesäure	< 0,05 µg/l	3,4 µg/l	< 0,05 – 2,9 µg/l	10,4 / 0,45 µg/l
	Iopamidol	< 0,05 µg/l	< 0,1 µg/l	< 0,05 – 2,8 µg/l	1,3 / 1,5 µg/l
	Iopromid	< 0,1 µg/l	< 0,1 µg/l	<0,05 - 0,77 µg/l	
	Iomeprol	< 0,06 µg/l	< 0,93 µg/l	< 0,05 – 5,0 µg/l	2,7 / 0,38 µg/l
Psychopharm.	Oxacepam	0,15 µg/l	0,16 µg/l		
Lipidsenker	Bezafibrat	0,12 µg/l	0,16 µg/l	< 0,05 – 0,9 µg/l	
Komplexbildner	Benzotriazol	4,1 µg/l	7,6 µg/l	3,6 – 7,2 µg/l	



## **8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Verl West zur Spurenstoffelimination**

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

Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf die nachgeschaltete Verfahrensstufe, einem Filtersystem oder einem Schönungsteich.

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

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

- PAK in Belebung (ohne nachgesch. Filter, mit nachgesch. Dyna-Sand Filter, Scheibentuchfilter)
- PAK in adsorptiver Reinigungsstufe (nachgesch. Dyna-Sand Filter, nachgesch. Scheibentuchfilter)

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

- GAK in Dyna-Sand-Karbon Filter
- GAK in Festbett – Adsorberstufe
- GAK in automatischem Carbon Schwerkraftfilter

### **3. Oxidative Verfahren**

- Ozonung + Schönungsteich
- Ozonung + Sandfilter (Dyna-Sand Filter)

Die Verfahren werden im Hinblick auf:

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

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

## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

### 8.1 Vorhandene Erweiterungsfläche

Die unterschiedlichen Varianten zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfordern unterschiedlich große Flächen. Die verfügbaren Erweiterungsflächen liegen westlich der Kläranlage, teilweise im Bereich des Schönungsteiches. Ein Teile des Schönungsteiches wird bei entsprechendem Platzbedarf zu verfüllen sein.

Zu berücksichtigen ist, dass Platz für ein drittes Belebungsbecken freizuhalten ist.

Die verfügbare Fläche beträgt ca. 1.500 bis 1.800 m<sup>2</sup>, sofern ein Rückbau eines Teiles des Schönungsteiches zulässig ist.

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



Bild 24: Luftbild KA Verl-West, potentielle Erweiterungsflächen (Quelle: Google-Earth)


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

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

Die Dimensionierung der Reinigungsstufe erfolgt unter Ansatz von Literaturempfehlungen (s. Kap. 5.4). Im Wesentlichen werden die Empfehlung der Arbeitsgruppe Mikroschadstoffe innerhalb des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe zu Grunde gelegt [1].

Die hydraulische Auslegung der Verfahrensstufe zur Spurenstoffelimination bezieht sich auf die Auslegung der sonstigen Verfahrensstufen der Kläranlage, mechanische Stufe, Biologie, Schlammbehandlung. Die Dimensionierung erfolgt für die prognostizierten Abwassermengen für das Jahr 2018 [2].

Tabelle 7: Zulaufmengen Spurenstoff - Behandlungsstufe

Zulaufmenge - Spurenstoffbehandlung	Trockenwetter	Mischwasser
Mittel $Q_{\text{mittel}}$	171 m <sup>3</sup> /h	570 m <sup>3</sup> /h
Maximum $Q_{\text{max.}}$	285 m <sup>3</sup> /h	850 m <sup>3</sup> /h
Minimum $Q_{\text{min}}$	35 m <sup>3</sup> /h	
Jahresmenge $Q_a$	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	1,7 Mio. m <sup>3</sup> /a *

\*Jahresabwassermenge – Mittelwert 2011 – 2013 (gerundet)

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

**8.3 Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung**

**8.3.1 Verfahrensbeschreibung**

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

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination in Variante 1.1. b wird schematisch in Bild 25 gezeigt:

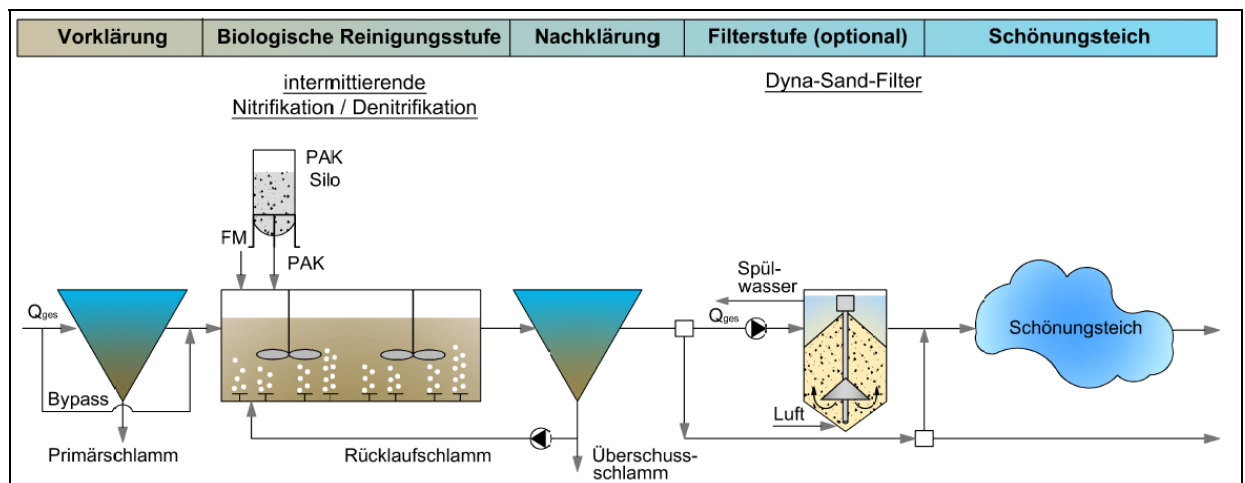


Bild 25: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1.b

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

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

Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerie-

## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

ren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird gravimetrisch dosiert und z.B. über einen Rohrdispersierger Staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen ins Verteilerbauwerk der Belebung dosiert.

Die Dosierung der PAK erfolgt proportional zum Abwasserzufluss. Es wird der maximale Trockenwetterzufluss von 285 m<sup>3</sup>/h als Bemessungswert angesetzt.

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen.

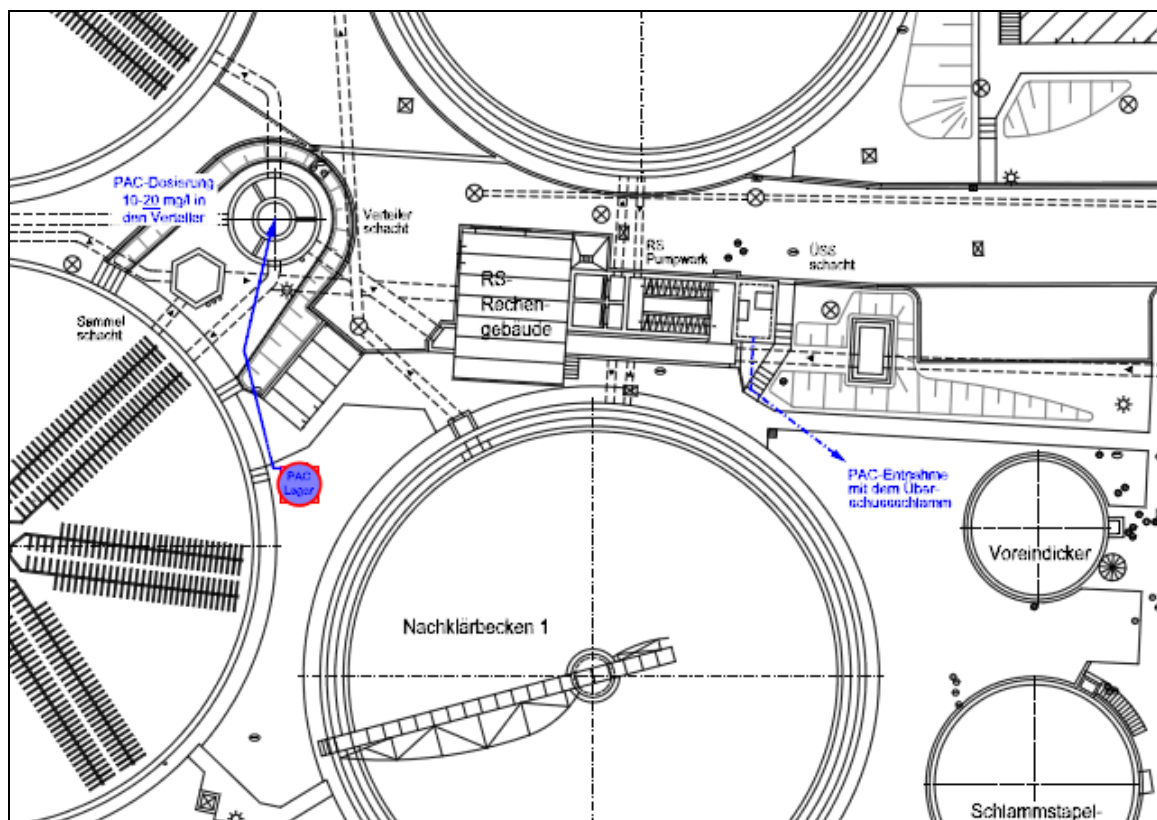


Bild 26: Lageplan KA Verl West - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung

Als Ergänzung zu Variante 1.1 wird optional im Ablauf der Nachklärung eine Dyna-Sand Filtration vorgesehen, um aus der Nachklärung ausgetragene Pulveraktivkohle rückhalten zu können (Variante 1.1.b). Der Regenwetterablauf wird mit einem Zwischenpumpwerk gehoben und über die Filtration geführt (Bild 27).

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

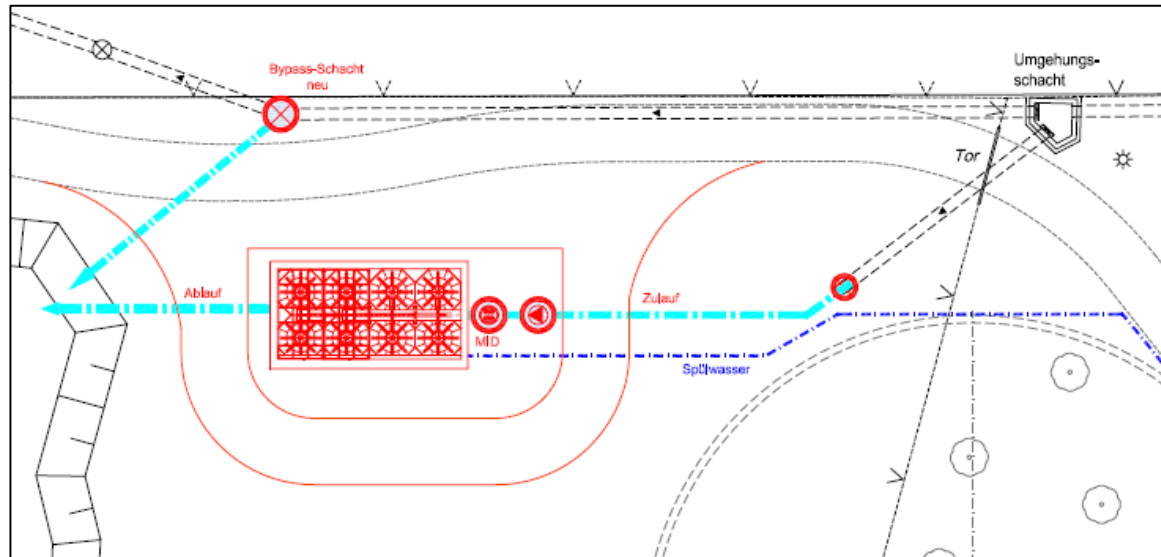


Bild 27: Lageplan KA Verl West - Variante 1.1.b – PAK Dosierung in die Belegung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

### Dyna-Sand Filtration

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt für die mittlere Regenwetterwassermenge  $Q_m = 570 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Die Zuführung erfolgt vom Umgehungs-schacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Dyna-Sand Filtration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 8 Filterzellen.

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

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

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



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

Das Filtrat verlässt das Filterbecken in einem Kanal auf einer Höhe von etwa 5 m. Das Zulaufniveau liegt bei 1,1 m über Filteroberkante, bei ca. 7 m.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

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

Die Installation erfolgt in einem separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 33)

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

### **Polstoff-Scheibentuchfiltration**

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermenge entspricht dem Vollstrom der Kläranlage und beträgt für die mittlere Regenwetterwassermenge  $Q_m = 570 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Polstoff-Scheibentuchfilter (18 Segmente / je 6 Filterelemente),
- maschinelle Einrichtung (Filterreinigungssysteme, Filterantrieb, Tauch-, Prallwand, Bodenschlamm- u. Entleerungspumpe), Wartungspodest, Betonbau
- Elektro-, MSR Technik, Einhausung Elektrotechnik

Die Polstoff-Scheibentuchfiltration wird in Betonbauweise errichtet.

Der Filtereinbau entspricht Typ: SF 18/90-B-240-3-PMF-A4 (Mecana)

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4404 ausgeführt.

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

Das Funktionsprinzip der Tuchfiltration wird in Abschnitt 5.4 beschrieben.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s Bild 28)

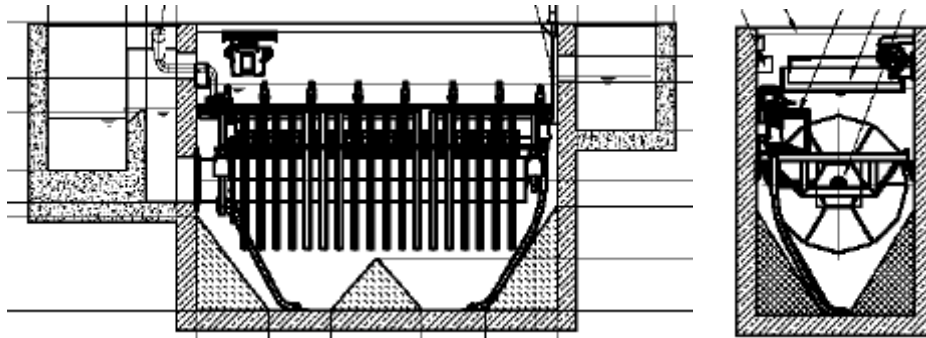


Bild 28: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung)  
(Quelle: Fa. Mecana)

### 8.3.2 Vordimensionierung

Nachstehend werden in Tabelle 8 sind die wesentlichen Bemessungsparameter und die Auslegung der Anlage zusammengefasst.

Tabelle 8: Auslegung Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung (Nitrifikation)

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge – PAK Dosierung	285 m <sup>3</sup> /h
Bemessungswassermenge – Dyna-Sand Filtration / Tuchfiltration	570 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge (PAK-Dosierung /Filtration)	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a / 1,7 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	20 mg/l
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	2.544 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	30.534 kg/a
PAK Silo gewählt	50 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

### 8.3.3 Diskussion Variante 1.1 PAK Dosierung in Belebung

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

Der Platzbedarf ist insgesamt gering.

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
- Verfahren saisonal einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Geringer Energiebedarf
- Keine direkte konzentrationsabhängige Regelung der Dosierung möglich, maximal ist eine träge Dosierung in Abhängigkeit von CSB, DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf zu wählen
- Kein Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- Geringer Anteil an Maschinentchnik sowie MSR-Technik (Variante 1.1) bis mäßiger Aufwand (Varianten 1.1.b, 1.1.c), keine anspruchsvolle Wartung
- erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, eine Verbrennung erforderlich
- 

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

## 8.4 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. Optional ist der Anlage ein Sandfilter, z.B. vom Typ Dyna-Sand oder Polstoff-Tuchfilter, nachzuschalten.

Die adsorptive Reinigungsstufe wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 285 m<sup>3</sup>/h. Die Zuführung erfolgt vom Umgehungschacht der Ablaufleitung.

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 1.2 wird schematisch in Bild 29 gezeigt:

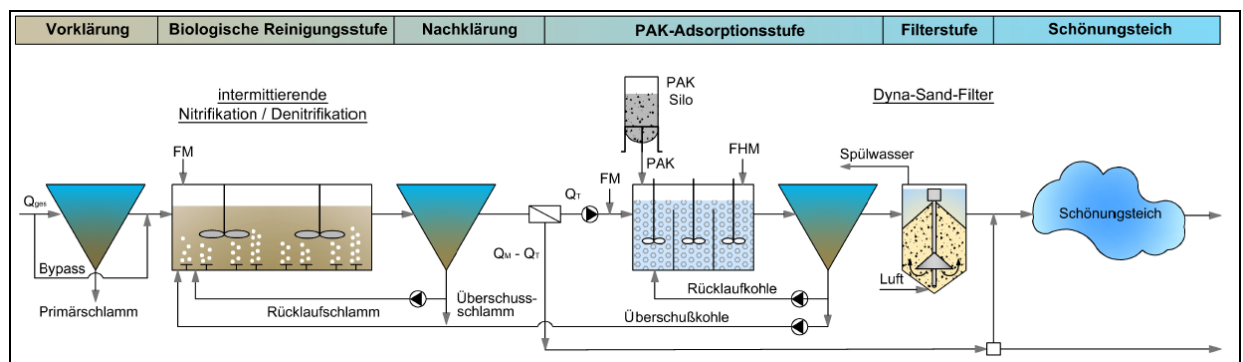


Bild 29: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

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

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

Frisches PAK wird in die zweite Stufe des Kontaktreaktors dosiert sowie optional Flockungshilfsmittel (Polymere) zur besseren Abtrennung des feinen Kohlestaubes in den Ablauf des Kontaktreaktors. Die Kammern des Kontaktbeckens werden kontinuierlich durchmischt.



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Der PAK Schlamm wird mit dem Überschussschlamm abgezogen.

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

Die Adsorptionsstufe ist im Bereich des Schönungsteiches anzuordnen, ein Teil des Schönungsteiches ist hierzu rückzubauen (Bild 30).

Da der Austrag von PAK-Feinstoffen aus dem Absetzbecken nicht auszuschließen ist, ist optional eine Sandfiltration oder Tuchfiltration nachzuschalten.

**Dyna-Sand Filtration**

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

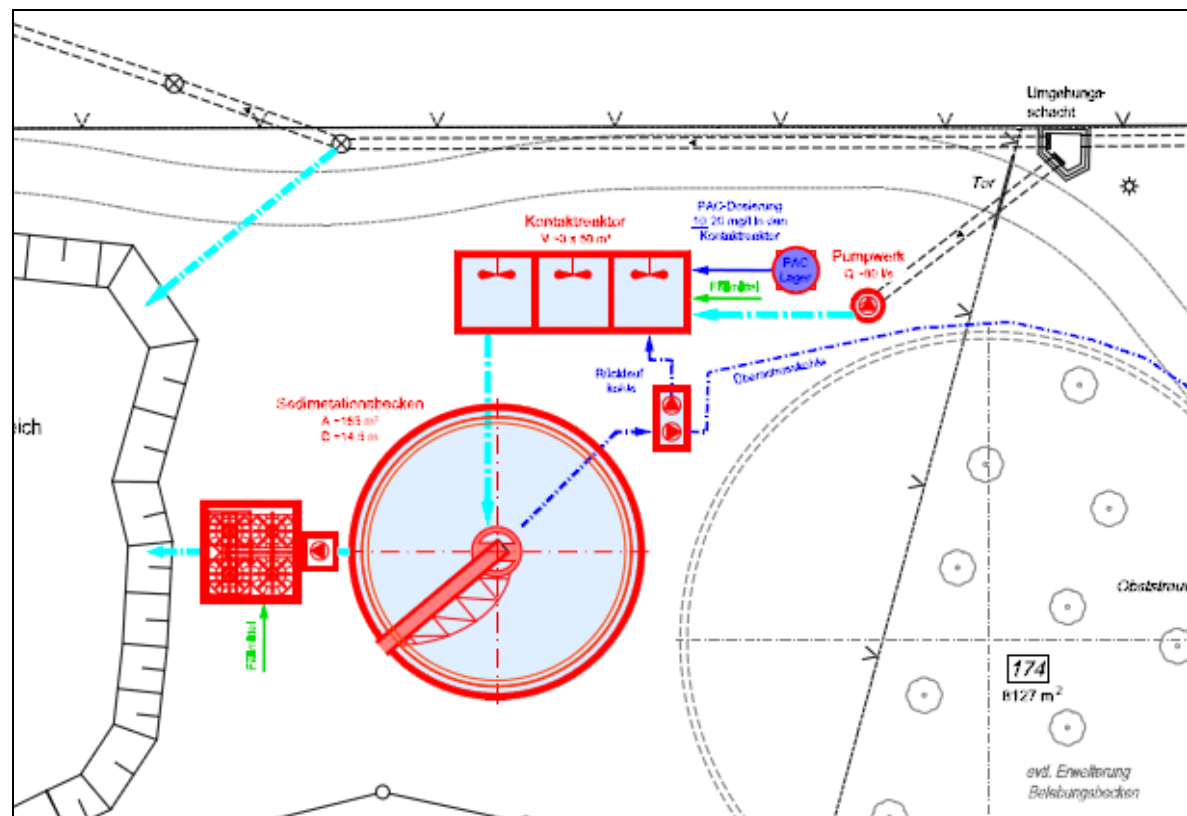


Bild 30: Lageplan KA Verl West - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

**Polstoff-Scheibentuchfiltration**

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

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 1.1.c).

Aufgrund der geringeren Bemessungswassermenge besteht der Polstoff-Scheibentuchfilter aus 9 Filterscheiben mit je 6 Filterelementen. Verwendet wird beispielhaft Typ: SF 9/45-B-240-3-PMF-A4 (Mecana).

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 31).

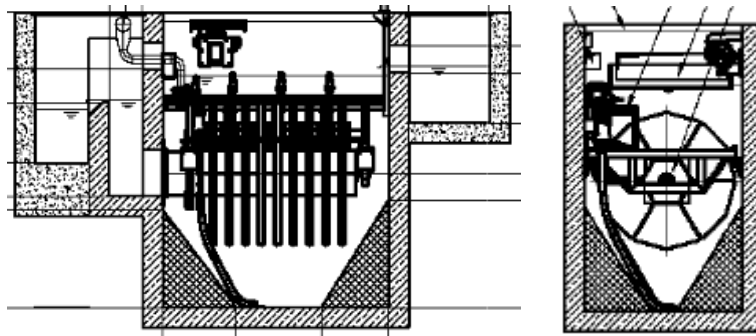


Bild 31: Längsschnitt, Querschnitt Polstoff-Scheibentuchfiltration (Konstruktionszeichnung)  
(Quelle: Fa. Mecana)


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

**8.4.2 Vordimensionierung**

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

Tabelle 9: Auslegung Variante 1.2 PAK in adsorptive Reinigungsstufe

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge	285 m <sup>3</sup> /h,
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung spezifische Dosierrate PAK	10 mg/l (5 – 15 mg/l)
Monatlicher PAK Verbrauch (mittel)	1.272 kg/Monat
Jährlicher PAK Verbrauch	15.267 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 <sup>3</sup>
Volumen Kontaktbecken gewählt	150 m <sup>3</sup>
Volumen Absetzbecken gewählt	578 m <sup>3</sup>
Oberfläche Absetzbecken gewählt	165 m <sup>3</sup>
PAK Silo gewählt	50 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



### **8.4.3 Diskussion Variante 1.2 PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe**

Die Installation und Integration einer adsorptiven Reinigungsstufe ist mit hohem baulichem Aufwand verbunden. Zudem ist der Flächenbedarf groß, so dass der Schönungsteich deutlich verkleinert werden muss.

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 möglich, in Abhängigkeit von Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziel möglich. Dosierung in Abhängigkeit von CSB, DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf möglich
- Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- geringer Anteil an Maschinenteknik, dennoch aufwändige, anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht weiter möglich, eine 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 - Spurenstoffelimination

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

**8.5.1 Verfahrensbeschreibung**

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

Die Filtration wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 285 m<sup>3</sup>/h. Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.1 wird schematisch in Bild 32 gezeigt:

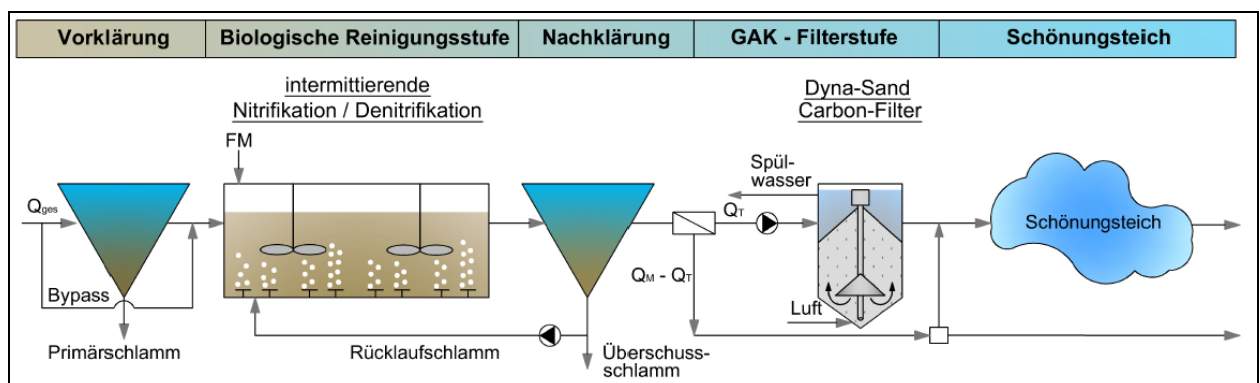


Bild 32: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

Die Dyna-Sand Carbonfiltration wird in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 8 Filterzellen. Der Filtereinbau entspricht Typ: DS 5000 D. Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Das Filtrat verlässt das Filterbecken in einem Kanal auf einer Höhe von etwa 5 m. Das Zulaufniveau liegt bei 1,1 m über Filteroberkante, bei ca. 7 m.

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt.

Der Rückspülprozess findet kontinuierlich und parallel zur Filtration statt, der Filtrationsvorgang wird nicht beeinträchtigt. Das Funktionsprinzip der Dyna-Sand Filtration wird in Abschnitt 5.5 beschrieben.

Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 33).

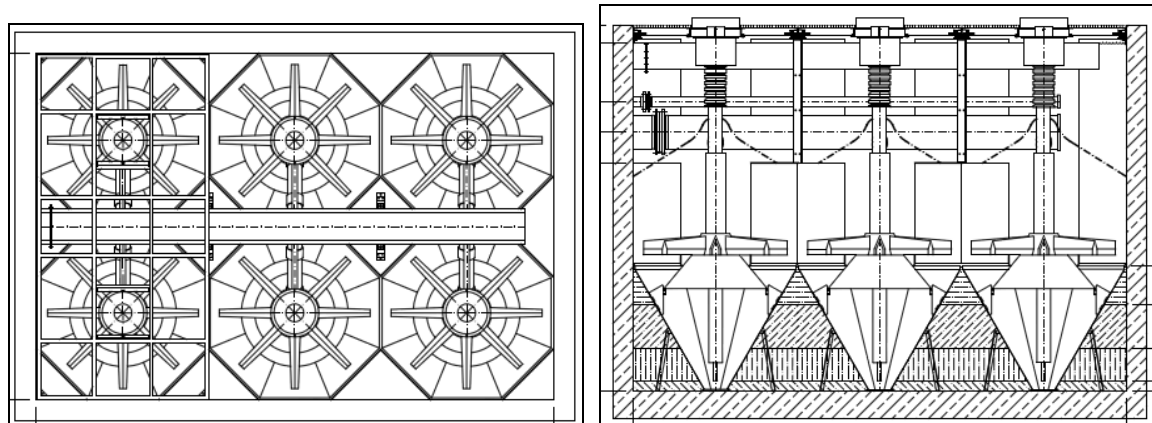


Bild 33: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung – Variante 6 Filtereinheiten) (Quelle: Fa. Nordic Water)

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

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

Ein Beispiel für eine Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) zeigt Bild 34

## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---



Bild 34: Dyna-Sand Carbon Filtration (KA Rietberg) (Quelle: Ingenieures. Dr. Knollmann mbH)

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

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

Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.

Die Druckluftversorgung erfolgt über eine separate Kompressorstation (s.beispielhaft Bild 35).

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination



Bild 35: Kompressorstation (Quelle: Fa. Nordic Water)

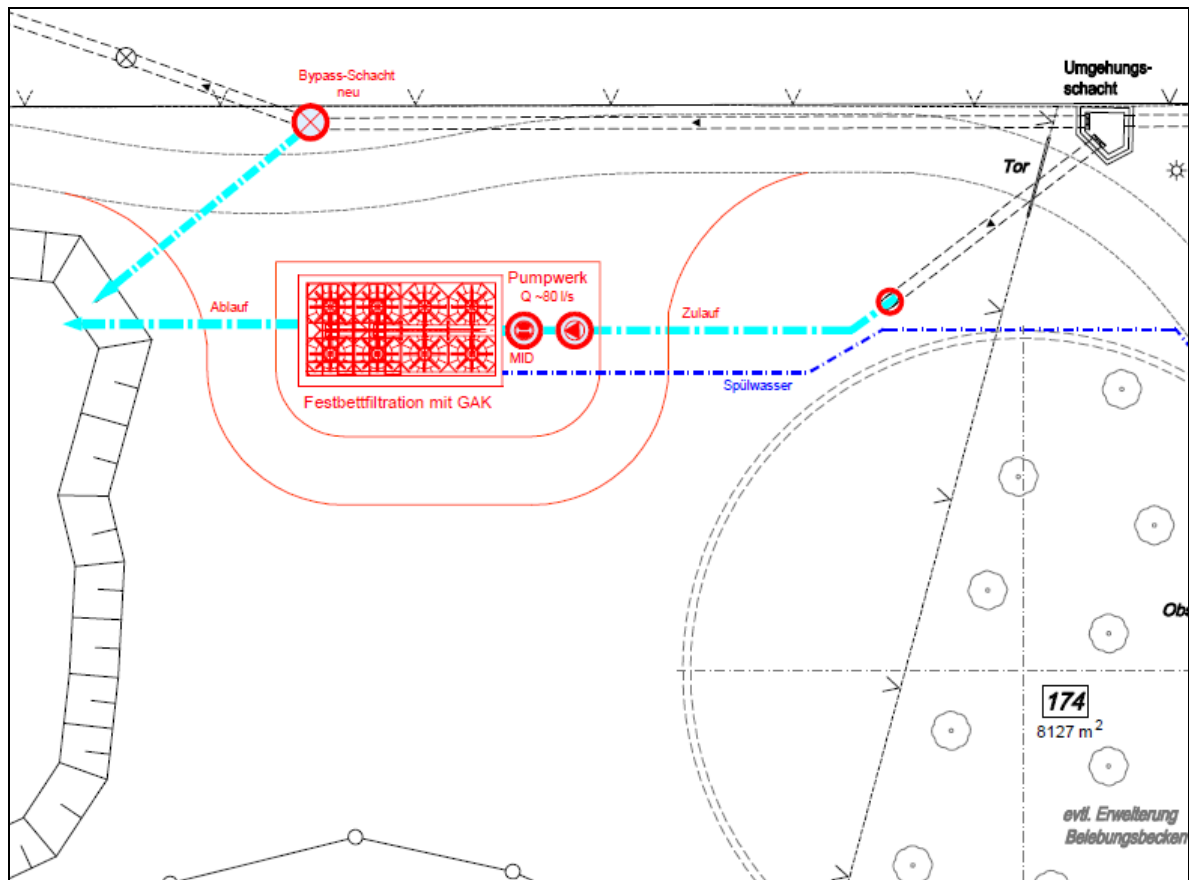


Bild 36: Lageplan KA Verl West - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

### 8.5.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 10: Auslegung Variante 2.1 GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge / mittlere TW-Wassermenge	285 m <sup>3</sup> /h / 171 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D	8
Filterfläche je Einbauteil	5 m <sup>2</sup>
Filterfläche gesamt	40 m <sup>2</sup>
Oberflächenbelastung	7 m/h
Spülwassermenge	1 - 2 m <sup>3</sup> /h/Filter bzw. 12 m <sup>3</sup> /h
Druckluftbedarf	8 Nm <sup>3</sup> /h
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	6,5 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	52 t
Mittlere Aufenthaltszeit	0,62 h
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)	261 m <sup>3</sup> (4,9 m x 9,7 m x 5,5 m)
Anbau masch. Technik	ca. 50 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



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

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

Der Flächenbedarf bedingt einen geringen Rückbau des Schönungsteiches bei Aufstellung im westlichen Grundstücksbereich der KA Verl-West.

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

- mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Verfahren saisonal einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- geringer Energiebedarf
- konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich
- mittlerer Anteil an Maschinenteknik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik
- erhöhte Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich

Betriebserfahrung mit entsprechenden Anlagen in Deutschland liegen derzeit für zwei Kläranlagen vor, u.a. auf der KA Rietberg. Bei Betrieb mit Aktivkohle auf Basis von Steinkohle zeigt sich, dass nur ein sehr geringer Abrieb der Kohle nach etwa einem halben Jahr Betriebszeit auftrat. Ursächlich ist die schonende Umwälzung der Aktivkohle über Mammutpumpen.

Aufwendige technische Einbauten zur Rückspülung sind nicht erforderlich.

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

**8.6.1 Verfahrensbeschreibung**

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

Die Adsorberstufe wird 2-straßig ausgelegt. Eine redundante Stufe wird zunächst nicht berücksichtigt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 285 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.2 wird schematisch in Bild 37 gezeigt:

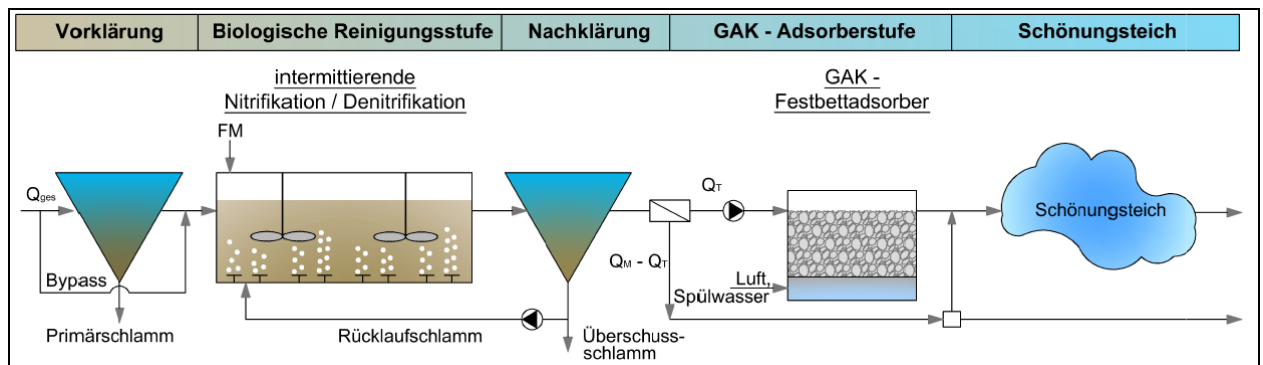


Bild 37: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

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

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



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

### Elektrotechnische Anbindung:

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

### Auslegung Becken-Filterspülwasser

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

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

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

Redundante Ausführung der Pumpen. Steuerung über Frequenzumrichter.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

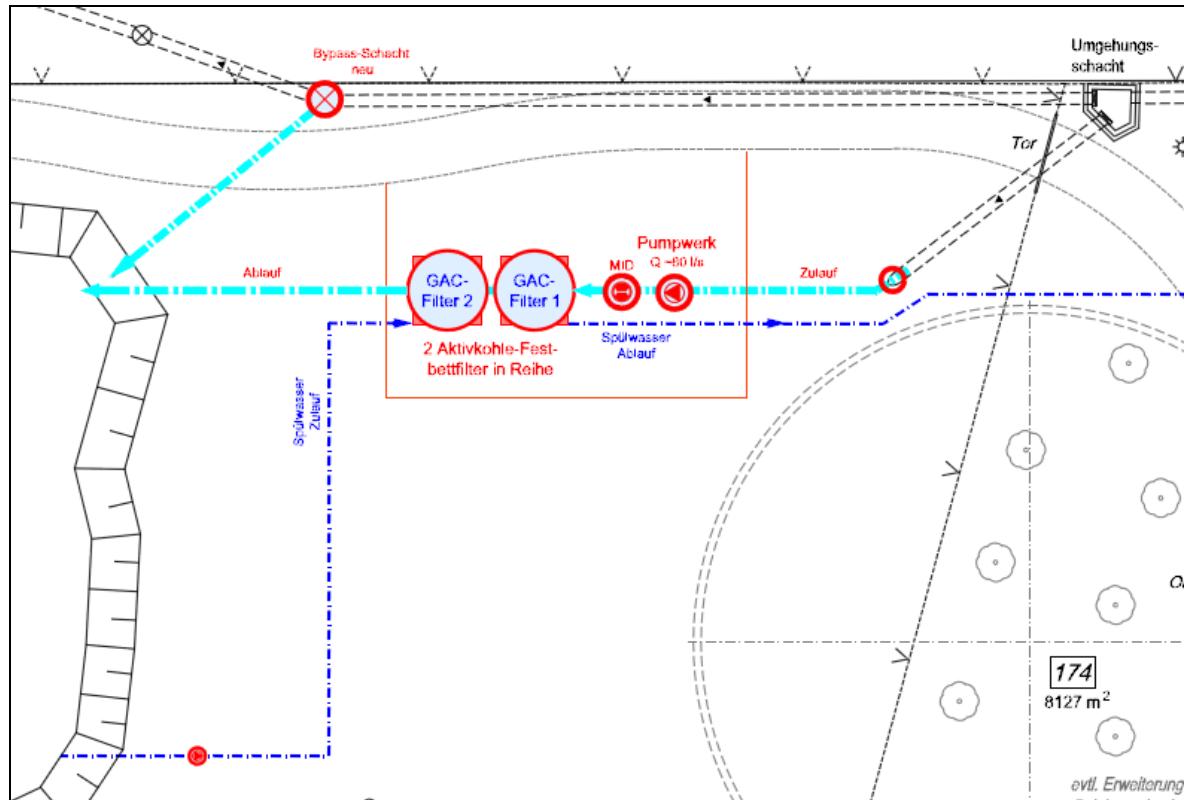


Bild 38: Lageplan KA Verl West - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

### 8.6.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 11: Auslegung Variante 2.2 GAK in Festbett-Adsorberstufe

Auslegungsparameter	
Bemessungswassermenge / mittlere TW-Wassermenge	285 m <sup>3</sup> /h / 171 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Anzahl GAK Filter (ohne Reserve)	2
Filterfläche gesamt	30 m <sup>2</sup>
Oberflächenbelastung	10 m/h
Volumen gesamt Filterbett	105 m <sup>3</sup>
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	25,7 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	51,4 t
Mittlere Aufenthaltszeit	0,61 h

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

In der derzeitigen Auslegung ist kein Reservefilter vorgesehen.



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

Die Installation und Integration einer Festbett Adsorberstufe ist mit relativ geringem baulichem Aufwand verbunden.

Der Flächenbedarf ist gering und bedingt nur einen geringen Rückbau des Schönungsteiches bei Aufstellung im westlichen Grundstücksbereich der KA Verl-West.

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

- mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Verfahren saisonal einsetzbar - einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- geringer Energiebedarf
- konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- kein weiterer Bau zusätzlicher Beckenvolumina erforderlich. Optional ist der Bau eines Spülwasserspeichers vorzusehen
- Mittlerer Anteil an Maschinentechnik, weniger anspruchsvolle Wartung der MSR-Technik im Verhältnis zu Ozonverfahren oder Verfahren mit separater PAK-Adsorberstufe
- kaum erhöhte Schlammengen
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Nachteilig ist das Fehlen eines vorgeschalteten Sandfilters, im Falle von Schlammabtrieb aus der Nachklärung
- Redundanz im Falle von Spülvorgängen bedingt den Bau eines weiteren Filters, derzeit wird darauf verzichtet. Die Durchsatzleistung der Anlage im Falle eines Spülvorganges sinkt entsprechend. Ein zusätzlicher Filter vermindert die Wirtschaftlichkeit der Variante, erhöht jedoch die Bewertung der Betriebssicherheit u.a..

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

**8.7 Variante 2.3 - GAK in automatischen Carbon Schwerkrafftfilter**

**8.7.1 Verfahrensbeschreibung**

In Variante 2.3 wird eine Spurenstoffelimination durch Betrieb eines modifizierten automatischem Schwerkrafftfilters mit granulierter Aktivkohle (GAK) untersucht.

Die Filtration wird aufgrund der verfügbaren Baugröße 4-straßig ausgelegt. Grundsätzlich ist ein mindestens 2-straßiger Betrieb anzustreben. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 285 m³/h. Die Zuführung erfolgt vom Umgehungsschacht der Ablaufleitung.

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Automatischer Schwerkrafftfilter, maschinelle Einrichtung, Fundamentplatte
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 2.3 wird schematisch in Bild 39 gezeigt:

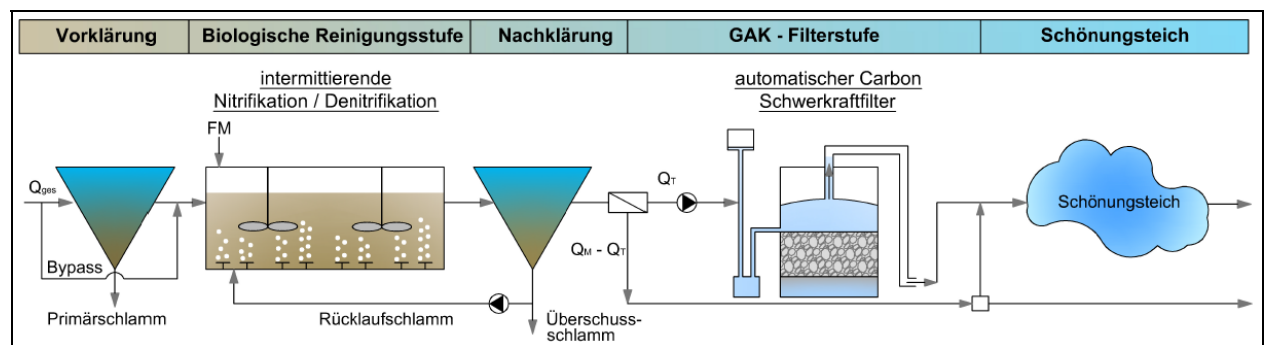


Bild 39: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.3

Die Automatischen Schwerkrafftfilter werden in beschichteter Stahlbauweise ausgeführt. Vorgehen ist der Einsatz aufgrund der derzeit am Markt verfügbaren Filtergröße vier automatische Schwerkrafftfilter, die parallel betrieben werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich jeweils ein Filter im Rückspülmodus befindet, so dass jeder Filter eine Durchsatzleistung von 95 m³/h aufweist (285 m³/h / 3). Bei Wahl von 5 oder 6 Filtern sind analog spezifische Durchsatzleistungen von 71 m³/h bzw. 48 m³/h.

## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

Der Filter Typ: SK-36 (Prominent) weist folgende Bauteile auf:

- Beschichteter Stahlbehälter, unterteilt in drei Kammern
- Düsenboden
- Verbindende Rohrleitung
- Heberleitung – Rückspülung
- Zulaufleitung, Entlüftungsgefäß
- Eine Druckluftunterstützung des Spülvorganges ist optional vorzusehen.

Das Funktionsprinzip der automatischen Schwerkraftfilter wird in Abschnitt 5.5 beschrieben.

Die Filter werden vorgefertigt und vor Ort montiert. Die Installation erfolgt auf Fundamentplatten.

Beispielhaft wird das Modell eines Filters in Bild 40 gezeigt.

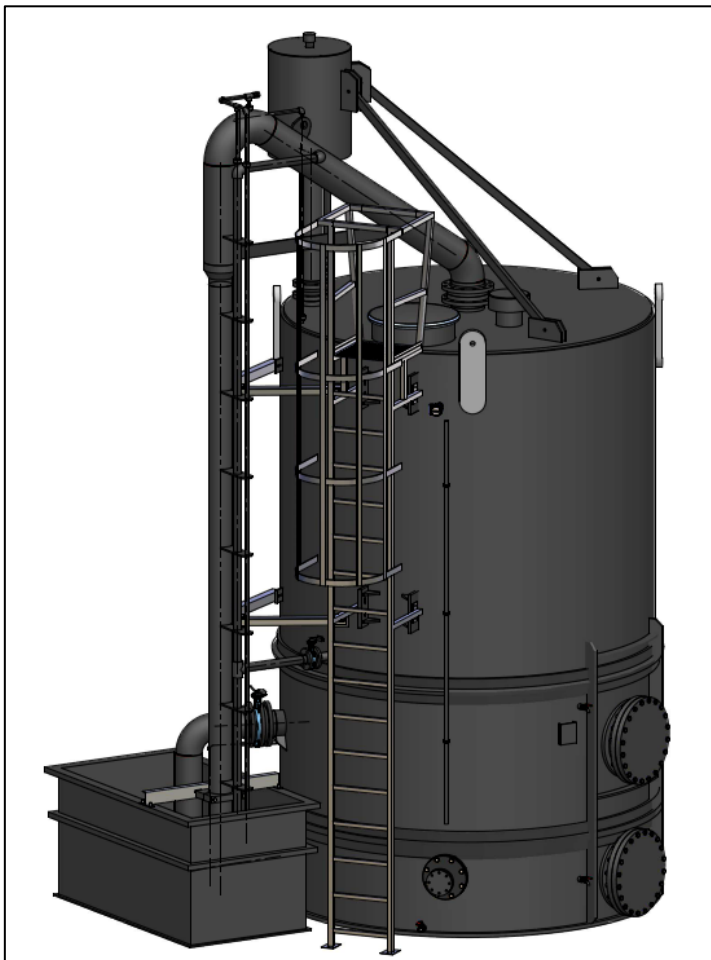


Bild 40: Ansicht – Modell Automatischer Schwerkraftfilter (Quelle: Fa. Prominent)

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

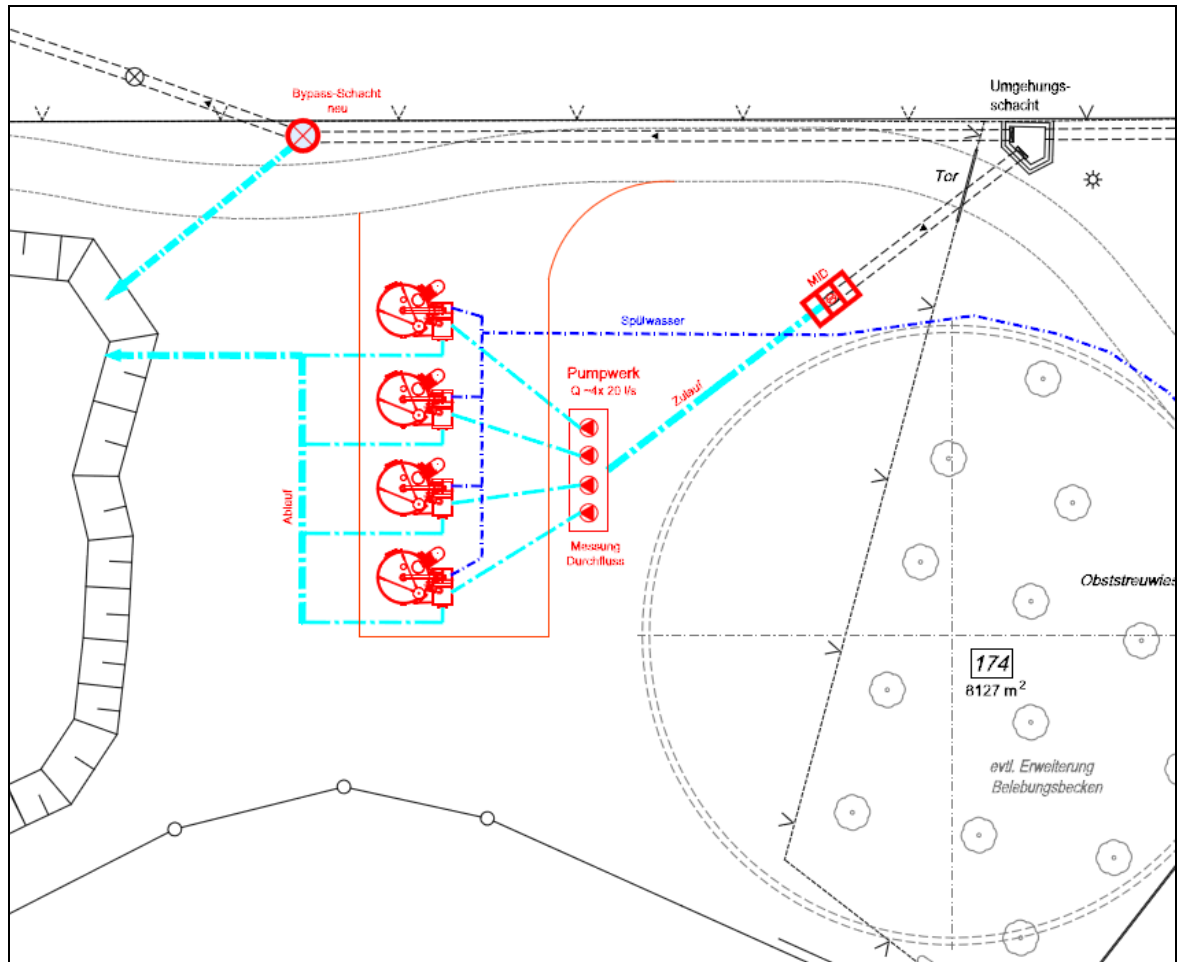


Bild 41: Lageplan KA Verl West - Variante 2.3 – GAK in automatischem Schwerkrafftfilter


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

### 8.7.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 12: Auslegung Variante 2.3 GAK in automatischem Schwerkrafftfilter

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge / mittlere TW-Wassermenge	285 m <sup>3</sup> /h / 171 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Filter Fa. Prominent (Beispiel) Typ SK 36 alt. SK 27	4 alt. 6
Durchflussgeschwindigkeit	3 – 10 m/h
Rückspülintervall (Betrieb Sand)	8 bis 36 h
Rückspülgeschwindigkeit	30 m/h bis 44 m/h
Durchmesser (SK 27), Bauhöhe Filter	D = 2,7 m; H = 6,5 m
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)	1,7 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle (6 Filter)	10,2 t
Mittlere Aufenthaltszeit	<b>0,12 h</b>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

### 8.7.3 Diskussion Variante 2.3 Automatischer Schwerkrafftfilter (GAK)

Automatische Schwerkrafftfilter werden von einer Reihe von Herstellern geliefert. Vorteilhaft ist die einfache, wartungsarme Technik. Die Installation und Integration einer entsprechenden Anlage ist mit relativ geringem baulichem Aufwand verbunden. Nur die Montage der Filter erfolgt vor Ort.

Der Flächenbedarf bedingt einen geringen Rückbau des Schönungsteiches bei Aufstellung im westlichen Grundstücksbereich der KA Verl-West.

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

- mittlere Adsorptionskinetik durch mittlere Partikeldurchmesser
- Verfahren saisonal einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- Tatsächliche Entnahme von Spurenstoffen möglich, im Gegensatz zu Ozonung
- geringer Energiebedarf



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

- konzentrationsabhängige Betrieb möglich in Abhängigkeit von CSB (SAK), DOC Konzentrationen im Zu- oder Ablauf
- nach Anlieferung kein Bau zusätzlicher Beckenvolumina vor Ort erforderlich
- geringer Anteil an Maschinenteknik, geringer Aufwand Wartung der Anlagen- und MSR-Technik
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiter möglich
- Keine aufwendigen, technischen Einbauten zur Rückspülung erforderlich.

Entsprechende Filter werden mit Filtersand nach DIN 4942 befüllt. Anlagen sind u.a. auf der KA Meldorf und der KA Sankt Peter Ording im Einsatz.

Der Betrieb eines entsprechenden Filters mit granulierter Aktivkohle zur Spurenstoffelimination ist bisher nicht bekannt. Vor einem großtechnischen Einsatz sind in jedem Fall halbtechnische Versuche zur Auslegung einer entsprechenden Filtration und zur Untersuchung der Betriebseigenschaften, Energieverbrauch, Kornbeanspruchung etc. vorzunehmen.

Zu untersuchen ist, ob eine Bauform mit vergrößerter Filterkammer möglich ist, um die adsorbierende Aktivkohlemenge pro Filter zu erhöhen. Dies ist Voraussetzung für eine längere Standzeit pro Filter.

**Aufgrund der geringen Abwasser-Aufenthaltszeit im Filter von unter 10 min wird die Variante 2.3 von weiteren Betrachtungen zunächst ausgeschlossen und hier nicht weiter verfolgt.**

Eine Anwendung der Technik erscheint vor allem für deutlich kleinere Kläranlagen sinnvoll. Ob ggf. auch mit größeren Bauformen eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich mit konkurrierenden Verfahrenstechniken gegeben ist, ist zu untersuchen.



8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

**8.8 Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich**

**8.8.1 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.

Die Ozonung wird 1-straßig ausgelegt. Die Auslegungswassermengen ist analog zu den anderen Varianten die maximale Trockenwetterwassermenge von 285 m<sup>3</sup>/h.

Es werden folgende Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerk
- Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Oszondosierung
- Restozonvernichter

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

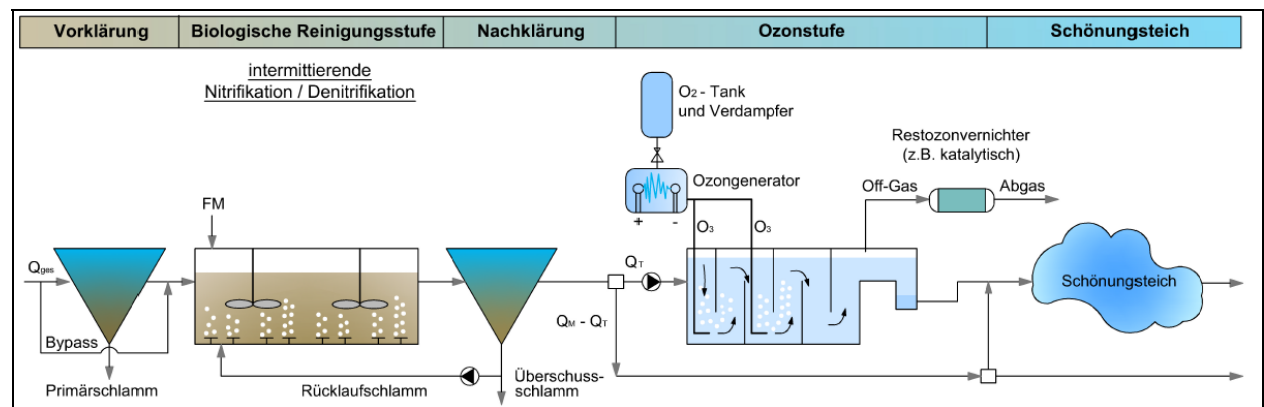


Bild 42: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Die Ozon-Behandlungsstufe wird zwischen Erweiterungsfläche für das dritte Belebungsbecken  
und Schönungsteich angeordnet. Die Einbindung erfolgt an dem Umgehungsschacht hinter der  
MID-Messung. Abwasser wird der Ozonstufe bis zur Bemessungswassermenge über ein Zulauf-  
pumpwerk zugeführt.

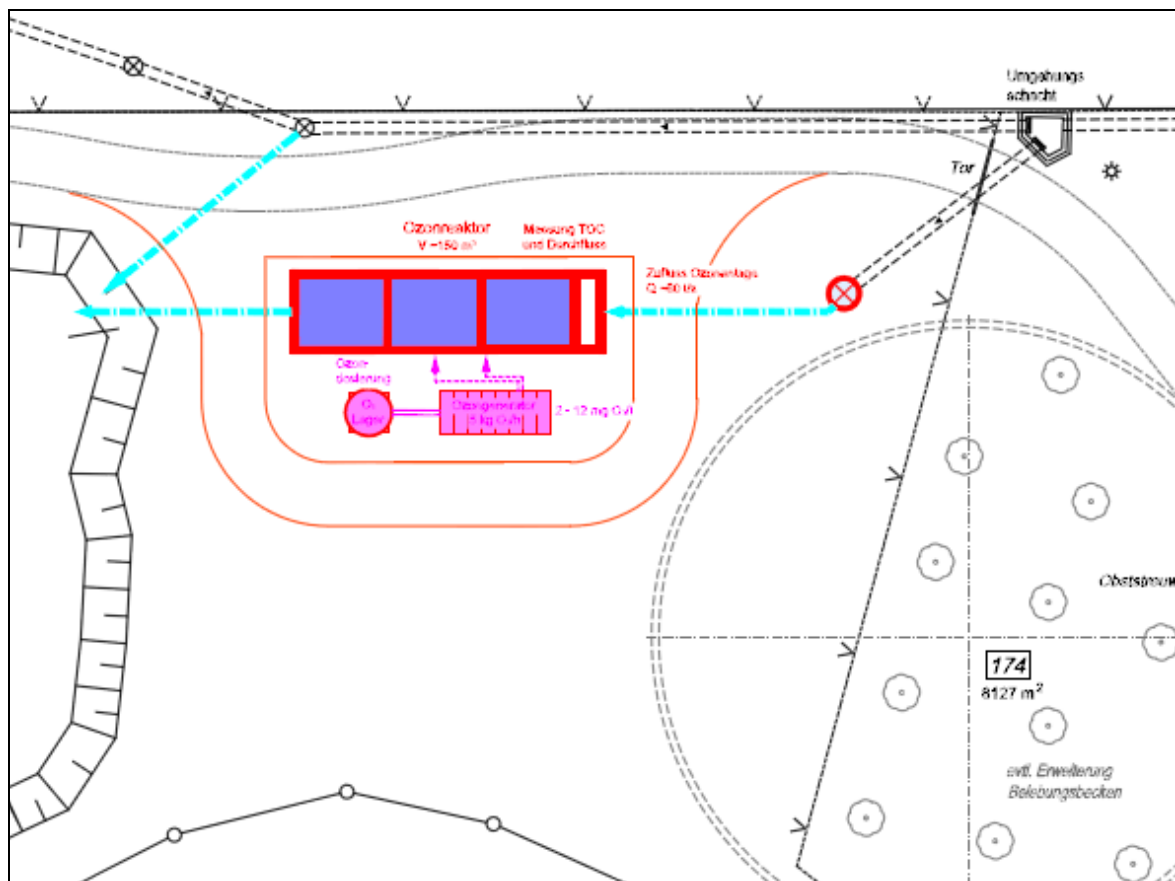


Bild 43: Lageplan KA Verl West - Variante 3.1 – Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich



## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

### **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 [25].

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

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

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

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

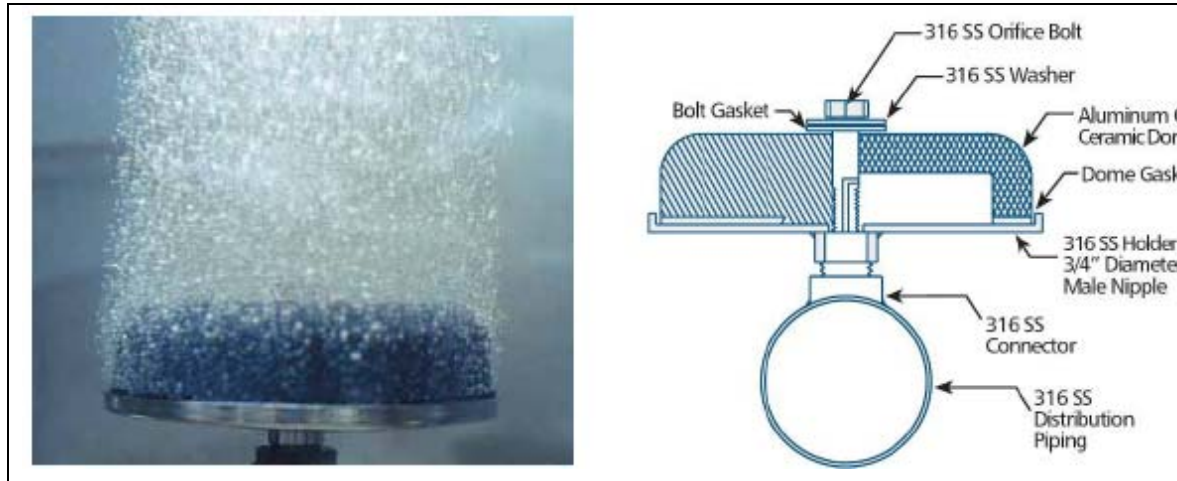


Bild 44: Beispiel Domdiffuser (Quelle: Fa. Xylem)

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

**Auslegung - Ozonung:**

Als Ozonerzeuger wird zunächst ein wassergekühlter Röhrenozonerzeuger vorgesehen. Ein Mittelfrequenzumrichter und Hochspannungstransformator stellt aus der eingespeisten Netzspannung die für die Ozonerzeugung erforderliche mittelfrequente Hochspannung (1-1000 Hz) her. Die bei der Ozonbildung entstehende Verlustwärme wird über einen Rohrbündel-Wärmetauscher an das Kühlwasser abgeführt.

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

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

Beispielhaft wird eine entsprechende Ozonung in Bild 45 gezeigt.

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

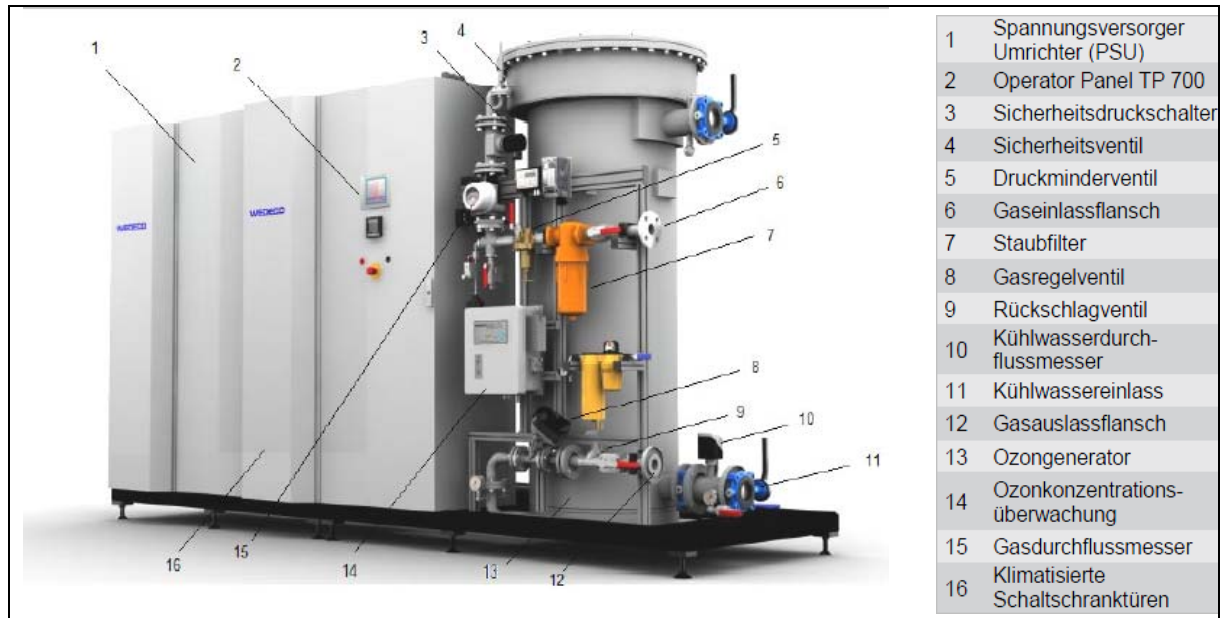


Bild 45: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination



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

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

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

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

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

Der Ablauf der Ozonungsstufe wird dem Schönungsteich zugeleitet. Es wird davon ausgegangen, dass hier ein weitergehender Abbau von Metaboliten und Transformationsprodukten auftritt.


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

### 8.8.2 Vordimensionierung

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

Tabelle 13: Auslegung Variante 3.1 Ozonierung mit nachgeschaltetem Schönungsteich

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge	285 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Auslegung maximale Ozonmenge	0,75 mgO <sub>3</sub> /mg DOC
Dosierung Ozon	2 – 12 mg/l
Sauerstoffbedarf	10 mgO <sub>2</sub> /mgO <sub>3</sub>
Leistung Ozogenerator	3,34 kgO <sub>3</sub> /h
Aufenthaltszeit Ozonreaktor	20 min
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung	10 min
Ozonreaktor gewählt	100 m <sup>3</sup>
Ausgasungsbereich gewählt	50 m <sup>3</sup>
Volumen Ozonreaktor gesamt	150 m <sup>3</sup>

Maßgeblich für die Ozondosierung ist der TOC bzw. DOC Gehalt im Abwasserstrom. Beispielhaft zeigt Bild 47 Ergebnisse der Anlagenüberwachung. Eine entsprechende Online-Messung sollte in ein Steuerungskonzept zur Ozondosierung eingebunden werden.

## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

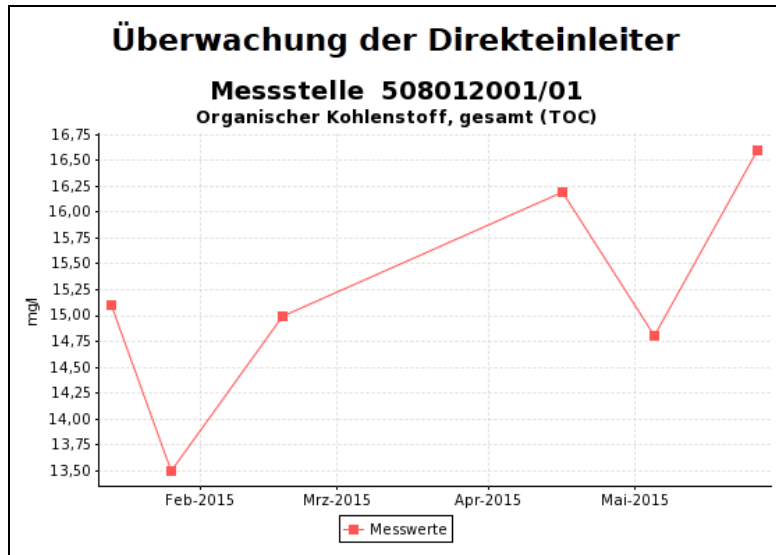


Bild 47: TOC Ablauf KA Verl West – Überwachungswerte (Quelle: ELWAS)

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.

### 8.8.3 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.

Der Platzbedarf ist insgesamt gering. Die Anlage ist vorgelagert zum Schönungsteich aufzustellen.

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

- Spurenstoffe werden nicht entfernt sondern lediglich zerstört, Transformationsprodukte sind weiterhin im Abwasser enthalten
- Öko- und humantoxikologische Auswirkungen von entstehenden Metaboliten und Transformationsprodukten sind nicht absolut auszuschließen.
- Bestimmte Spurenstoffe sind zudem einer Zerstörung durch Ozon nicht oder kaum zugänglich, keine Eliminationsleistung für spezifische adsorbierbare Stoffe (z.B. PFT)
- Verfahren flexibel einsetzbar, einfache Inbetriebnahme, Außerbetriebnahme
- hoher Energiebedarf





## 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

---

- 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 Schönungs- teiche bereits vorhandenen
- hoher Anteil an Maschinenteknik sowie MSR-Technik, anspruchsvolle Wartung
- zusätzliche Entkeimung bzw. Hygienisierung des Kläranlagenablaufes
- keine erhöhten Schlammengen bzw. andere Entsorgungsprodukte
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung weiterhin möglich
- die Bromidkonzentration wurde nicht erfasst, kritische Werte sind nicht bekannt. Vor einer möglichen Realisierung der Anlage sind entsprechend Analysen vorzunehmen.

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

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

**8.9 Variante 3.2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter**

Die Variante ist im Wesentlichen identisch mit Variante 3.1. Als zusätzliche Behandlungsstufe wird eine Sandfiltration zu weitergehenden Behandlung der Abwasserabläufe der Ozonung vorgesehen.

Die Bemessungswassermenge entspricht der Bemessungswassermenge der Ozonung:  
max.  $O_T = 285 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Es wird davon ausgegangen, dass die Sandfiltration der Nachbehandlung im Schönungsteich überlegen ist. Nach Abbegglen et al. [25] werden durch biologische Aktivität im Filter mögliche negative Auswirkungen einer Ozonierung ausgeglichen. Die ökotoxikologische Auswirkung wird in der Folge als gleichwertig zu Verfahren mit Aktivkohleadsorption angesehen.

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
- Elektro-, MSR Technik

Die Konzeption der Mikroschadstoffelimination nach Variante 3.2 wird schematisch in Bild 48 gezeigt:

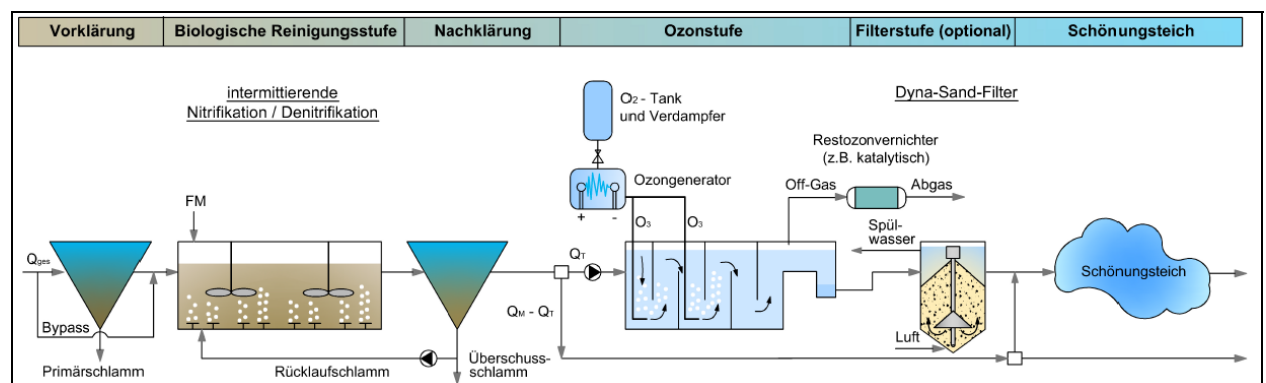


Bild 48: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2

8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination

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

Einbaumaterialien werden in Edelstahl 1.4571 ausgeführt.

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

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

Beschreibung der Filtration analog – Variante 2.1.

Zur Beschickung ist ein weiteres Zulaufpumpwerk vorzusehen.

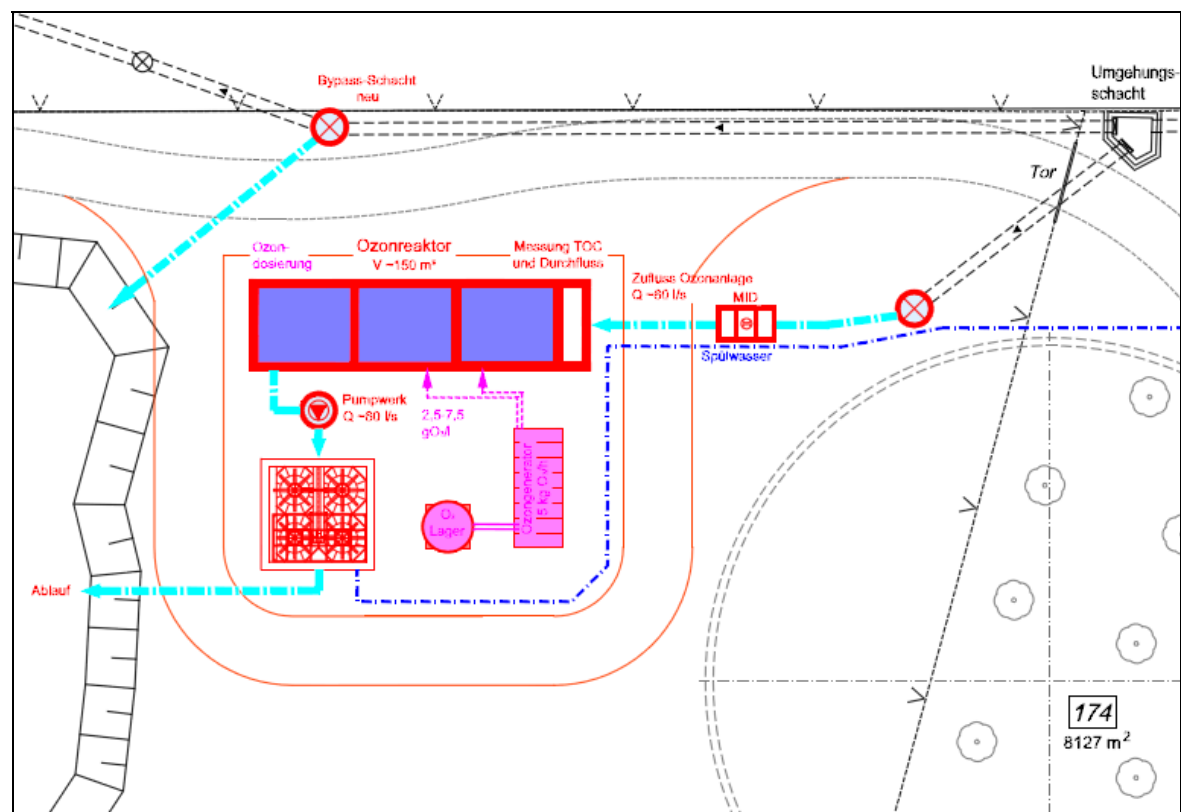


Bild 49: Lageplan KA Verl West - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration


 8. Variantenuntersuchung - Spurenstoffelimination
 

---

### 8.9.1 Vordimensionierung

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

Tabelle 14: Auslegung Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration

<b>Auslegungsparameter</b>	
Bemessungswassermenge	285 m <sup>3</sup> /h
jährliche Behandlungsmenge	1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E	4
Filterfläche je Einbauteil	5 m <sup>2</sup>
Filterfläche gesamt	20 m <sup>2</sup>
Oberflächenbelastung	14,25 m/h
Spülwassermenge	5,4 m <sup>3</sup> /h
Druckluftbedarf	11,5 Nm <sup>3</sup> /h
Filtersand (Körnung: 1 – 2 mm)	16 t/Filter
Gesamtmenge Aktivkohle	64 t
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)	132 m <sup>3</sup> (4,9 m x 4,9 m x 5,5 m)
Anbau masch. Technik	ca. 50 m <sup>3</sup>

Die Auslegung der Variante ist der Anlage zu entnehmen.



### **8.9.2 Diskussion Variante 3.2 Ozonung, Dyna-Sand Filtration**

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

Der Betrieb einer weiteren Reinigungsstufe ist mit zusätzlichem Personal- und Betriebsaufwand 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 [29].

### 9.1 Investitionskosten

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

In Tabelle 15 werden die Summen der ermittelten Investitionskosten unterteilt nach Bautechnik, Technischer Ausrüstung und EMSR-Technik für die untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination aufgeführt. In den Kostenvergleich wurden auch Baunebenkosten (Honorare, Gutachten, Unvorhergesehenes etc.) als pauschaler Satz einbezogen.

Tabelle 15: Zusammenstellung Investitionskosten

	Variante 1 - PAK				
	Variante 1.1 - PAK in Belebung	Variante 1.1.b - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1.c - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
<b>Baukosten</b>	64.200 €	514.135 €	390.871 €	866.486 €	827.966 €
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	165.000 €	395.500 €	438.500 €	517.000 €	517.000 €
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	30.000 €	60.500 €	60.500 €	107.500 €	107.500 €
<b>Summe Investkosten (netto)</b>	259.200 €	970.135 €	889.871 €	1.490.986 €	1.452.466 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	51.840 €	194.027 €	177.974 €	298.197 €	290.493 €
<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>	311.040 €	1.164.162 €	1.067.845 €	1.789.183 €	1.742.959 €
Mehrwertsteuer 19%	59.098 €	221.191 €	202.891 €	339.945 €	331.162 €
<b>Summe Investkosten (brutto)</b>	<b>370.138 €</b>	<b>1.385.353 €</b>	<b>1.270.736 €</b>	<b>2.129.128 €</b>	<b>2.074.121 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>35%</b>	<b>132%</b>	<b>121%</b>	<b>202%</b>	<b>197%</b>



## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö-nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Baukosten</b>	537.140 €	347.022 €	324.210 €	568.705 €
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	325.000 €	292.500 €	337.500 €	482.500 €
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	92.500 €	97.500 €	75.000 €	92.500 €
<b>Summe Investkosten (netto)</b>	954.640 €	737.022 €	736.710 €	1.143.705 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	190.928 €	147.404 €	147.342 €	228.741 €
<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>	1.145.568 €	884.426 €	884.052 €	1.372.446 €
Mehrwertsteuer 19%	217.658 €	168.041 €	167.970 €	260.765 €
<b>Summe Investkosten (brutto)</b>	<b>1.363.226 €</b>	<b>1.052.467 €</b>	<b>1.052.022 €</b>	<b>1.633.211 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>130%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>155%</b>

Es zeigt sich, dass die Investitionskosten für Variante 1.1 nur rd. ein Drittel der nächst günstigeren Varianten beträgt. Im Wesentlichen ist eine Dosiereinrichtung für PAK zu errichten. Die Bewertung und Zulässigkeit einer Variante ohne nachgeschaltete Filterstufe zum Rückhalt von nicht im Nachklärbecken zurückgehaltener Filterkohle ist mit der Aufsichtsbehörde abzustimmen.

Die Varianten 2.2 und 3.1 weisen mit rd. 1.05 Mio. Euro etwa gleiche Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 30% über diesen Varianten liegt mit rd. 1,36 Mio. Euro Variante 2.1 Dyna-Sand Carbon-Filtration im mittleren Investitionskostenbereich. Die Varianten 1.1.b und 1.1.c liegen um 32% bzw. 21% über den günstigeren Varianten. Beide Varianten weisen jedoch eine Vollstrombehandlung auf, da PAK direkt in die Biologie dosiert wird.

Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 0,37 Mio. Euro und 2.19 Mio. Euro brutto erheblich.

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

Bild 50 zeigt die ermittelten Investitionskosten (brutto) unterteilt nach Bau-, Maschinen- und EMSR Technik.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

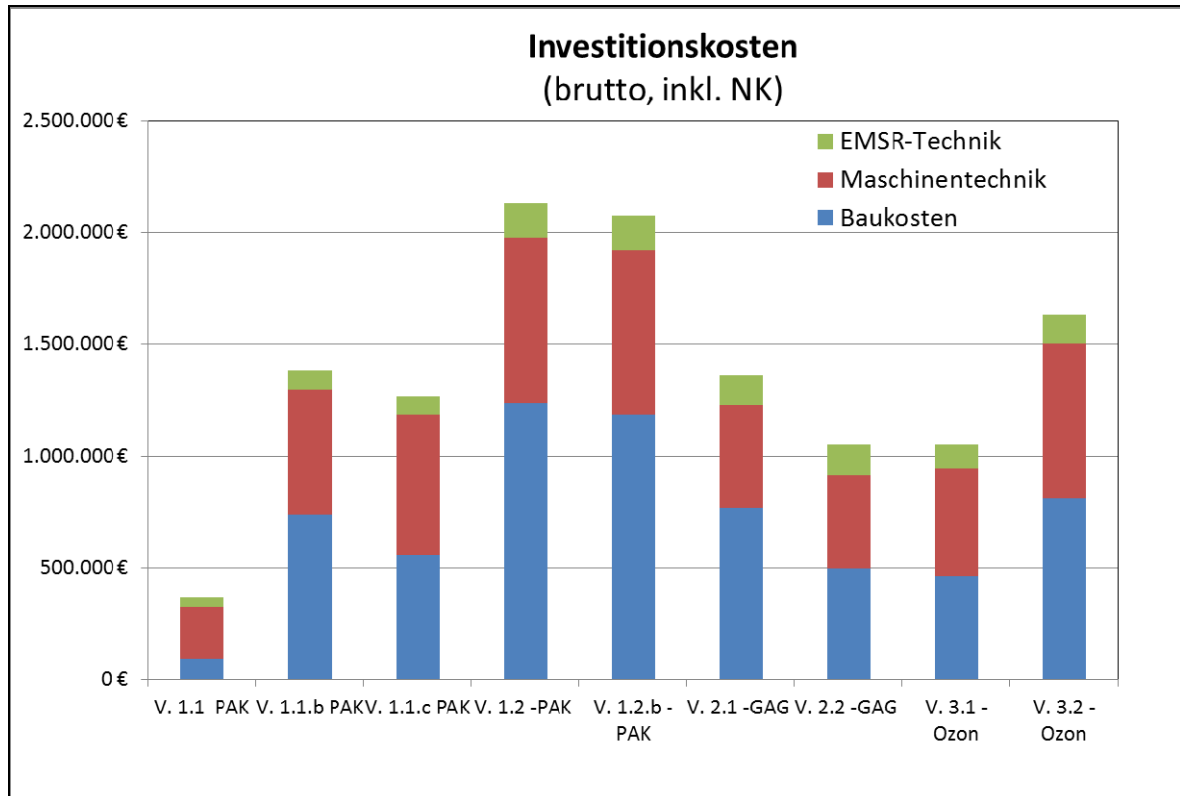


Bild 50: Investitionskosten der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto, inkl. Nebenkosten)

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

## 9.2 Betriebskosten

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

Die Betriebskosten sind unterteilt in Wartung und Instandhaltung, Verbrauchsstoffe, Energiebedarf, Schlammmentsorgung 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





## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

Energie:	0,15 €/kWh
Pulveraktivkohle (PAK):	1,50 €/kg
Granulierte Aktivkohle (GAK):	1,30 €/kg; Kostenansatz regenerierte GAK: 1,00 €/kg
Fällmittel:	0,13 €/kg
Flockungshilfsmittel:	2,50 €/kg
Personal:	45.000,-- €/a
Sauerstoff:	0,20 €/kg O <sub>2</sub>

Die spezifischen Kosten für Sauerstoff beinhalten auch die Tankmiete.

Schlammensorgung als Differenz landwirtschaftliche Schlammverwertung / Verbrennung:

45,-- €/t<sub>FS</sub> (entwässerter Schlamm) (Angabe Betreiber).

Da es bei Einsatz von Pulveraktivkohle und gemeinsamer Abtrennung der Kohle zusammen mit dem Primär- und Überschussschlamm nicht mehr möglich ist den entwässerten Schlamm in der Landwirtschaft zu entsorgen, ist der gesamte Schlamm der Verbrennung zuzuführen. Die Mehrkosten sind im Rahmen des Kostenvergleiches anzusetzen. Als Preisspanne der Entsorgungskosten von mechanisch entwässertem Schlamm (20 – 45 %TS) benennen Schumacher et al. ([30] zitiert in [31]) 33,-- bis 45,-- €/t<sub>FS</sub> für (überregionale) landwirtschaftliche Entsorgung und 80,-- bis 120,-- €/t<sub>FS</sub> für Monoverbrennung bzw. 75,-- bis 100,-- €/t<sub>FS</sub> für Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken an.

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

Alternative Polymere die zur Entwässerung von Klärschlämmen einzusetzen sind, z.B. auf Stärkebasis, sind aufgrund der geringen Scherfestigkeit in der Schlammflocke nur bedingt einzusetzen. Auch unter diesem Aspekt wird die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zunehmend problematisch. Die bodenbezogene Klärschlammverwertung steht damit ggf. schon ab 2017 vor dem Aus.



## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

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

Die Stadt Verl erwägt vor diesem Hintergrund einen kompletten Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung.

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 bei Entwässerung in Dekanter ohne Kalkkonditionierung: 2.200 t/a mit rd. 25 % TS. (Angaben Betreiber).

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. 0,7 Jahre, entsprechend rd. 8,4 Monate angesetzt. Es sind also 1,4 Befüllungen mit Aktivkohle pro Jahr erforderlich. Dies entspricht für beide Varianten rd. 10.000 durchgesetzten Bettvolumina (BV), bzw. für Variante 2.1: 9.970 behandelte Bettvolumina und für Variante 2.2: 9.883 Bettvolumina. Auswirkungen abweichender Standzeiten auf die Betriebskosten werden in Abschnitt 9.4 untersucht.

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

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



## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 16: Zusammenstellung Betriebskosten mit und ohne Schlammensorgungskosten

	Variante 1 - PAK				
	Variante 1.1 - PAK in Belebung	Variante 1.1.b - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1.c - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	6.192 €	18.216 €	18.274 €	26.325 €	27.530 €
Verbrauchsstoffe	44.895 €	46.175 €	56.606 €	24.808 €	30.023 €
Energiebedarf	2.814 €	10.996 €	9.499 €	14.698 €	13.218 €
Mehrkosten therm. Schlammensorgung	100.527 €	100.527 €	100.527 €	101.200 €	101.200 €
Personalkosten	5.625 €	11.250 €	8.438 €	11.250 €	11.250 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	<b>160.053 €</b>	<b>187.164 €</b>	<b>193.344 €</b>	<b>178.281 €</b>	<b>183.221 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	30.410 €	35.561 €	36.735 €	33.873 €	34.812 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>190.463 €</b>	<b>222.725 €</b>	<b>230.079 €</b>	<b>212.154 €</b>	<b>218.033 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>157%</b>	<b>184%</b>	<b>154%</b>	<b>146%</b>	<b>180%</b>
<b>Summe Betriebskosten ohne Schlammensorgung (brutto)</b>	<b>70.836 €</b>	<b>103.098 €</b>	<b>110.452 €</b>	<b>91.726 €</b>	<b>97.605 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>77%</b>	<b>112%</b>	<b>120%</b>	<b>100%</b>	<b>106%</b>

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Wartung u. Instandhaltung	16.971 €	14.195 €	14.867 €	22.012 €
Verbrauchsstoffe	94.640 €	93.548 €	34.453 €	35.093 €
Energiebedarf	10.041 €	8.745 €	44.184 €	51.603 €
Mehrkosten therm. Schlammensorgung	0 €	0 €	0 €	0 €
Personalkosten	5.625 €	5.625 €	8.438 €	16.875 €
<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	24.183 €	23.201 €	19.369 €	23.861 €
<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>	<b>151.460 €</b>	<b>145.314 €</b>	<b>121.311 €</b>	<b>149.444 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>125%</b>	<b>120%</b>	<b>100%</b>	<b>123%</b>
<b>Summe Betriebskosten ohne Schlammensorgung (brutto)</b>	<b>151.460 €</b>	<b>145.314 €</b>	<b>121.311 €</b>	<b>149.444 €</b>
<b>Prozente</b>	<b>165%</b>	<b>158%</b>	<b>132%</b>	<b>163%</b>



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die Betriebskosten variieren von rd. 121.000 €/a der Varianten 3.1 bis rd. 230.000,-- € bei Variante 1.1.c (brutto). Die kostengünstigsten Varianten mit GAK Filtration liegen mit einem Abstand von rd. 20 % in ähnlicher Größenordnung wie Variante 3.1.

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

Bild 51 zeigt die Verteilung der Betriebskosten nach den einzelnen Kostengruppen. Es wird deutlich, dass einzelne Kostengruppen eine besonders hohe Auswirkung auf die Summe der Betriebskosten haben. Die angenommenen spezifischen Betriebskosten können nur am Markt genau bestimmt werden. Die Auswirkung von Abweichungen dieser für die Wirtschaftlichkeit besonders sensiblen Kosten wird in Abschnitt 9.4 im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

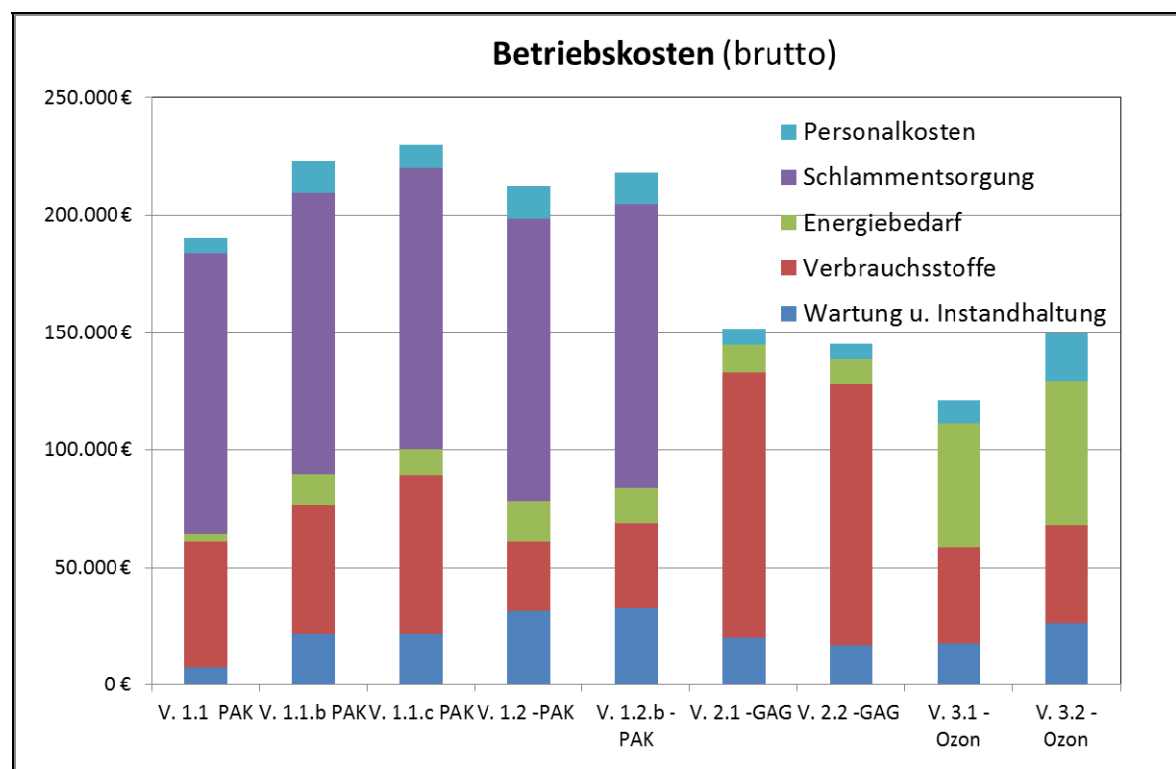


Bild 51: Jährliche Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

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

Vernachlässigt man die Schlammentsorgungskosten ist die Varianten 1.1 das Verfahren mit den geringsten Betriebskosten. Da eine Variante mit PAK Dosierung in die Biologie ggf. nur mit nachgeschalteter Filtration zum Einsatz kommen kann (Varianten 1.1.b, 1.1.c), ist die Variante 1.2 – PAK in Adsorptionsstufe und nachgeschaltete Dyna-Sand Filtration am günstigsten in Bezug auf die Betriebskosten.

Der hohe Kostenanteil der Verbrauchsmaterialien (GAK) an den Betriebskosten der Varianten 2.1 und 2.2 wird in Bild 52 deutlich. Die Schwankungen der Einkaufspreise für GAK auf die Jahreskosten der Varianten wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse untersucht (Abschnitt 9.3).

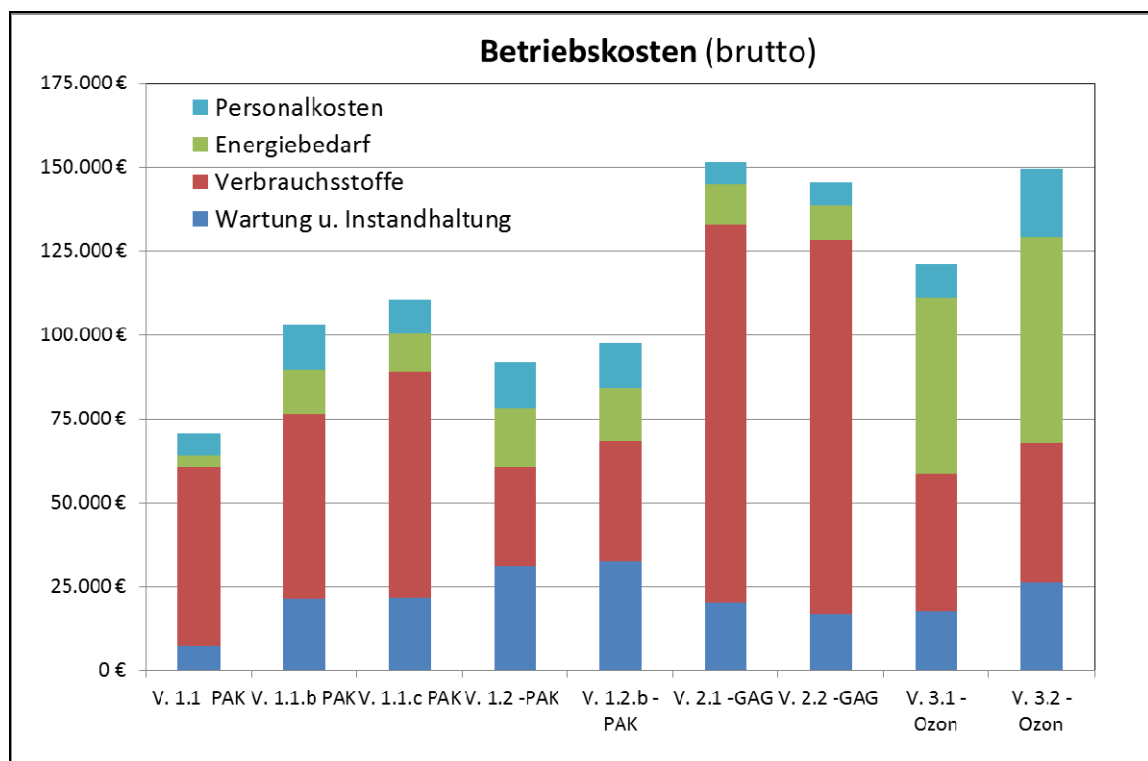


Bild 52: Jährliche Betriebskosten der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination ohne Schlammentsorgungskosten (brutto)



### **9.3 Jahreskosten**

Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Varianten wurde mit einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach KVR-Richtlinie der LAWA [29] überprüft.

Die Jahreskosten wurden unter Berücksichtigung folgender Randbedingungen ermittelt.

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

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 17: Zusammenstellung Jahreskosten (ohne Berücksichtigung einer Förderung)

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1 - PAK				
	Variante 1.1 - PAK in Belebung	Variante 1.1.b - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1.c - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe - ST Filtr.
<b>Baukosten (gesamt)</b>	64.200 €	514.135 €	390.871 €	866.486 €	827.966 €
<b>Baukosten (ohne GAK Erstbef.)</b>	64.200 €	514.135 €	390.871 €	866.486 €	827.966 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Jahreskosten Bau</b>	<b>3.275 €</b>	<b>26.231 €</b>	<b>19.942 €</b>	<b>44.208 €</b>	<b>42.243 €</b>
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	165.000 €	395.500 €	438.500 €	517.000 €	517.000 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR <sub>3,15</sub>	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
<b>Jahreskosten MT</b>	<b>13.822 €</b>	<b>33.131 €</b>	<b>36.733 €</b>	<b>43.309 €</b>	<b>43.309 €</b>
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	30.000 €	60.500 €	60.500 €	107.500 €	107.500 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR <sub>3,10</sub>	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
<b>Jahreskosten EMSR</b>	<b>3.517 €</b>	<b>7.092 €</b>	<b>7.092 €</b>	<b>12.602 €</b>	<b>12.602 €</b>
<b>Jahreskosten Invest (netto)</b>	20.614 €	66.455 €	63.768 €	100.119 €	98.154 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	4.123 €	13.291 €	12.754 €	20.024 €	19.631 €
<b>Jahreskosten Invest,NK (netto)</b>	<b>24.737 €</b>	<b>79.746 €</b>	<b>76.521 €</b>	<b>120.143 €</b>	<b>117.785 €</b>
<b>ohne Förderung</b>					
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>160.053 €</b>	<b>187.164 €</b>	<b>193.344 €</b>	<b>178.281 €</b>	<b>183.221 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(netto)</b>	<b>184.790 €</b>	<b>266.910 €</b>	<b>269.865 €</b>	<b>298.424 €</b>	<b>301.006 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(brutto)</b>	<b>219.900 €</b>	<b>317.622 €</b>	<b>321.140 €</b>	<b>355.125 €</b>	<b>358.197 €</b>
<b>Prozente</b>	111%	161%	162%	179%	181%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	4,68 €/EW/a	6,76 €/EW/a	6,83 €/EW/a	7,56 €/EW/a	7,62 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,15 €/m <sup>3</sup>	0,21 €/m <sup>3</sup>	0,21 €/m <sup>3</sup>	0,24 €/m <sup>3</sup>	0,24 €/m <sup>3</sup>
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,18 €/m <sup>3</sup>	0,25 €/m <sup>3</sup>	0,26 €/m <sup>3</sup>	0,28 €/m <sup>3</sup>	0,29 €/m <sup>3</sup>
<b>ohne Förderung und ohne Klärschlammuntersorgungskosten</b>					
<b>Jahreskosten Betrieb ohne Schlammuntersorgung (netto)</b>	<b>59.526 €</b>	<b>86.637 €</b>	<b>92.817 €</b>	<b>77.081 €</b>	<b>82.021 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(netto)</b>	<b>84.263 €</b>	<b>166.383 €</b>	<b>169.338 €</b>	<b>197.224 €</b>	<b>199.806 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(brutto)</b>	<b>100.273 €</b>	<b>197.995 €</b>	<b>201.513 €</b>	<b>234.697 €</b>	<b>237.769 €</b>
<b>Prozente</b>	51%	100%	102%	119%	120%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	2,13 €/EW/a	4,21 €/EW/a	4,29 €/EW/a	4,99 €/EW/a	5,06 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,07 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,08 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,19 €/m <sup>3</sup>	0,19 €/m <sup>3</sup>



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	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
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$				
<b>Baukosten (gesamt)</b>	537.140 €	347.022 €	324.210 €	568.705 €
<b>Baukosten</b> (ohne GAK Erstbef.)	469.540 €	280.202 €	324.210 €	568.705 €
Nutzungsdauer	30 a	30 a	30 a	30 a
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Jahreskosten Bau</b>	<b>23.956 €</b>	<b>14.296 €</b>	<b>16.541 €</b>	<b>29.015 €</b>
<b>Maschinentechnik Kosten</b>	325.000 €	292.500 €	337.500 €	482.500 €
Nutzungsdauer	15 a	15 a	15 a	15 a
KFAKR <sub>3,15</sub>	0,08377	0,08377	0,08377	0,08377
<b>Jahreskosten MT</b>	<b>27.225 €</b>	<b>24.503 €</b>	<b>28.272 €</b>	<b>40.419 €</b>
<b>EMSR-Technik Kosten</b>	92.500 €	97.500 €	75.000 €	92.500 €
Nutzungsdauer	10 a	10 a	10 a	10 a
KFAKR <sub>3,10</sub>	0,11723	0,11723	0,11723	0,11723
<b>Jahreskosten EMSR</b>	<b>10.844 €</b>	<b>11.430 €</b>	<b>8.792 €</b>	<b>10.844 €</b>
<b>Jahreskosten Invest (netto)</b>	62.025 €	50.229 €	53.606 €	80.278 €
Jahreskosten Nebenkosten (netto)	12.405 €	10.046 €	10.721 €	16.056 €
<b>Jahreskosten Invest,NK (netto)</b>	<b>74.430 €</b>	<b>60.274 €</b>	<b>64.327 €</b>	<b>96.334 €</b>
<b>ohne Förderung</b>				
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(netto)</b>	<b>201.707 €</b>	<b>182.387 €</b>	<b>166.269 €</b>	<b>221.917 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(brutto)</b>	<b>240.031 €</b>	<b>217.041 €</b>	<b>197.860 €</b>	<b>264.081 €</b>
<b>Prozente</b>	121%	110%	<b>100%</b>	133%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	5,11 €/EW/a	4,62 €/EW/a	4,21 €/EW/a	5,62 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,15 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,18 €/m <sup>3</sup>
Behandelte Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,19 €/m <sup>3</sup>	0,17 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,21 €/m <sup>3</sup>
<b>ohne Förderung und ohne Klärschlamm Entsorgungskosten</b>				
<b>Jahreskosten Betrieb ohne Schlamm Entsorgung (netto)</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(netto)</b>	<b>201.707 €</b>	<b>182.387 €</b>	<b>166.269 €</b>	<b>221.917 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt(brutto)</b>	<b>240.031 €</b>	<b>217.041 €</b>	<b>197.860 €</b>	<b>264.081 €</b>
<b>Prozente</b>	121%	110%	<b>100%</b>	133%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	5,11 €/EW/a	4,62 €/EW/a	4,21 €/EW/a	5,62 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,15 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,18 €/m <sup>3</sup>
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,19 €/m <sup>3</sup>	0,17 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>	0,21 €/m <sup>3</sup>





9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Die ermittelten Jahreskosten ohne Berücksichtigung einer Förderung variieren zwischen brutto rd. 197.000,-- € der Variante 3.1 mit Ozonierung und Nachbehandlung im Schöngsteich und 358.000,-- € für Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe. Der Unterschied der Jahreskosten beträgt maximal 81 %. Im unteren Bereich liegen die Jahreskosten der Varianten mit GAK Filtration, Variante 2.1 mit Mehrkosten von 21 % und Variante 2.2 mit Mehrkosten von 10 % sowie der Behandlungsvarianten mit Ozon und Nachbehandlung mit Dyna-Sand Filtration Variante 3.2 mit Mehrkosten von 33%.

Varianten 1.1 weist geringe Minderkosten von 11% auf, hat allerdings den Nachteil der fehlenden Filtration und damit die fehlende Sicherheit gegen Aktivkohleabtriebe.

Bei der Berechnung der Investitionskosten wurden bei Varianten mit GAK Filtration die Erstbefüllung mit Aktivkohle in der Kostenaufstellung herausgenommen, da bereits eine Anrechnung bei den Betriebskosten erfolgt. Die spezifischen Kosten pro angeschlossenen Einwohner bei Annahme von 47.000 EW betragen 4,21 €/EW/a (Variante 3.1) und maximal 7,62 €/EW/a (Variante 1.2.b). Es ergibt sich für die behandelte Wassermenge (Trockenwetter) ein spezifischer Preis von brutto 0,13 €/m<sup>3</sup> (Variante 3.1) und maximal 0,24 €/m<sup>3</sup> (Variante 1.2.b).

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

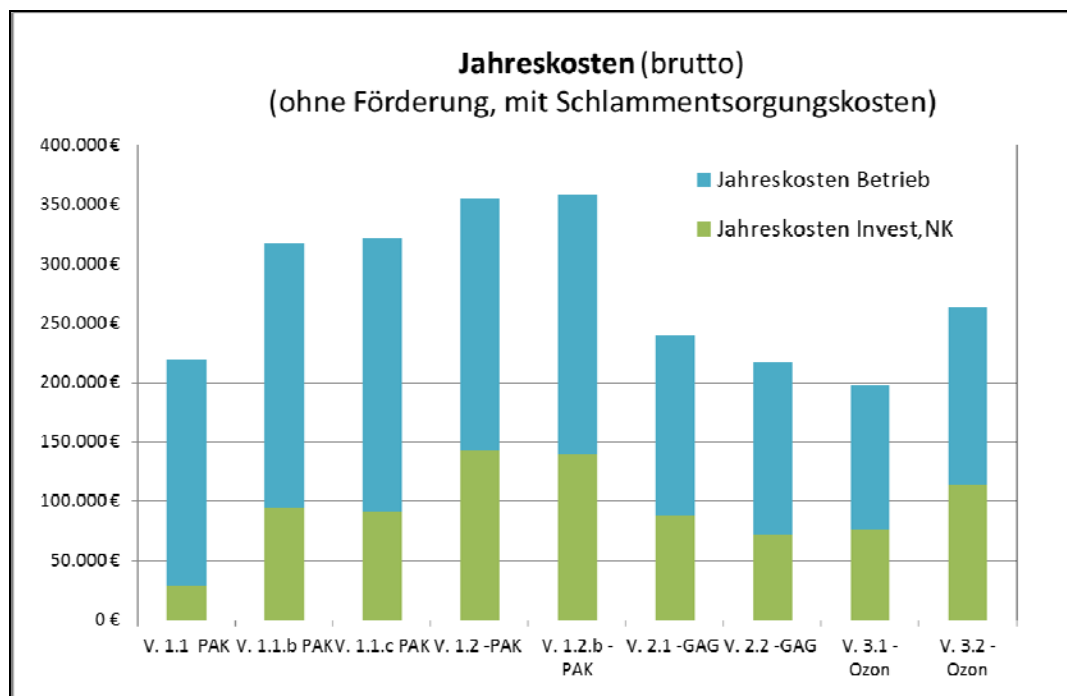


Bild 53: Jahreskosten – ohne Förderung, mit Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Es zeigt sich, dass ohne Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammuntersorgungskosten die Variante 1.1 mit einer PAK Dosierung in die Biologie die geringsten Jahreskosten mit rd. 100.000,- € aufweist. Ob diese Variante ohne nachfolgende Filtration zulässig ist, ist zu untersuchen. Die gleiche Variante, nur mit einer nachgeschalteten Dyna Sand-Filtration (Vollstrom Behandlung) und die Variante 3.1 Ozonung + Schönungsteich sind die nächst günstigen Varianten mit rd. 197.000,- € Jahreskosten.

Varianten mit GAK Adsorption 2.1 und 2.2 sind um rd. 27 % und 10 % vor allem aufgrund der relativ hohen Kosten für granulierten Aktivkohle etwas teurer. Insgesamt ist der Kostenunterschied der Jahreskosten aller Varianten (unter Vernachlässigung von Variante 1.1) mit 33% relativ gering.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (ohne Förderung, ohne Schlammuntersorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 54.

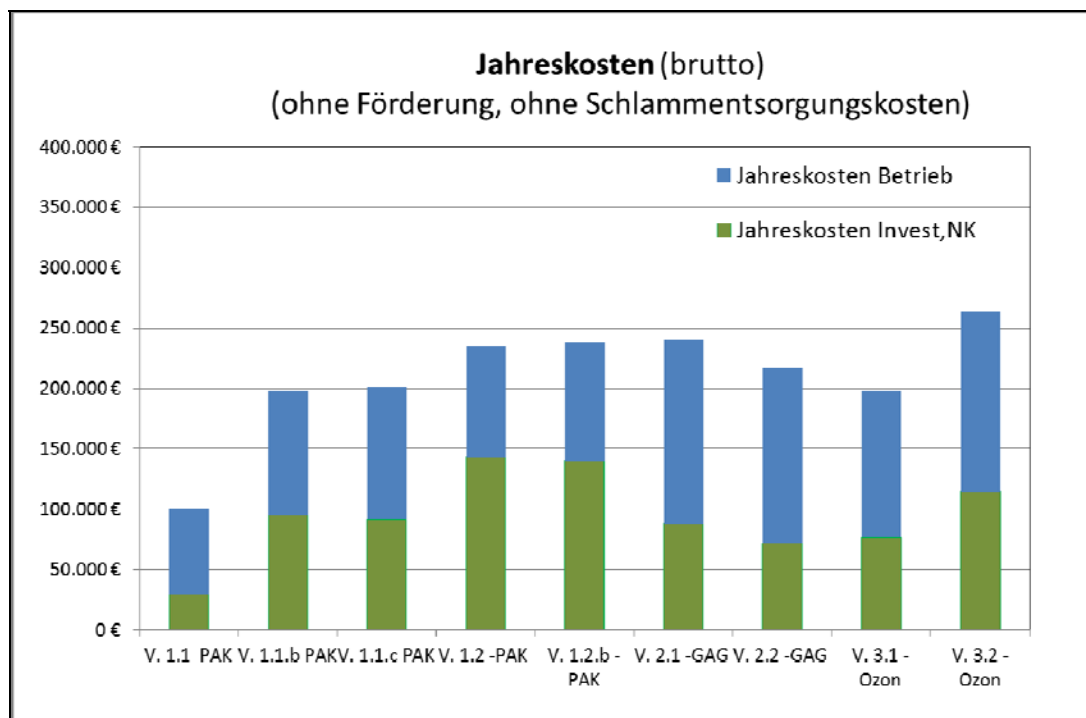


Bild 54: Jahreskosten – ohne Förderung, ohne Schlammuntersorgungskosten - der untersuchten Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Tabelle 18 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von **70 %**.

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

	Variante 1 - PAK				
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Belebung	Variante 1.1.b - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1.c - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 1.2.b - PAK in adsorpt. Stufe - ST Filtr.
<b>Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)</b>	311.040 €	1.164.162 €	1.067.845 €	1.789.183 €	1.742.959 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70 % (netto)	217.728 €	814.913 €	747.492 €	1.252.428 €	1.220.071 €
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70 %)</b>	<b>11.108 €</b>	<b>41.577 €</b>	<b>38.137 €</b>	<b>63.899 €</b>	<b>62.248 €</b>
<b>Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)</b>	<b>13.629 €</b>	<b>38.169 €</b>	<b>38.384 €</b>	<b>56.244 €</b>	<b>55.537 €</b>
<b>mit Förderung (70 %)</b>					
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>160.053 €</b>	<b>187.164 €</b>	<b>193.344 €</b>	<b>178.281 €</b>	<b>183.221 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)</b>	<b>173.682 €</b>	<b>225.333 €</b>	<b>231.728 €</b>	<b>234.525 €</b>	<b>238.758 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	33.000 €	42.813 €	44.028 €	44.560 €	45.364 €
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)</b>	<b>206.681 €</b>	<b>268.146 €</b>	<b>275.757 €</b>	<b>279.085 €</b>	<b>284.122 €</b>
<b>Prozente</b>	129%	167%	172%	174%	177%
<b>Spezifische Kosten (brutto)</b>	<b>Variante 1.1</b>	<b>Variante 1.1.b</b>	<b>Variante 1.1.c</b>	<b>Variante 1.2</b>	<b>Variante 1.2.b</b>
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	4,40 €/EW/a	5,71 €/EW/a	5,87 €/EW/a	5,94 €/EW/a	6,05 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m³/a	0,14 €/m³	0,18 €/m³	0,18 €/m³	0,19 €/m³	0,19 €/m³
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m³/a	0,16 €/m³	0,21 €/m³	0,22 €/m³	0,22 €/m³	0,23 €/m³
<b>mit Förderung (70 %) und ohne Klärschlamm Entsorgungskosten</b>					
<b>Jahreskosten Betrieb ohne Schlamm Entsorgung (netto)</b>	<b>59.526 €</b>	<b>86.637 €</b>	<b>92.817 €</b>	<b>77.081 €</b>	<b>82.021 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt (netto)</b>	<b>73.155 €</b>	<b>124.806 €</b>	<b>131.201 €</b>	<b>133.325 €</b>	<b>137.558 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt (brutto)</b>	<b>87.054 €</b>	<b>148.519 €</b>	<b>156.130 €</b>	<b>158.657 €</b>	<b>163.694 €</b>
<b>Prozente</b>	59%	100%	105%	107%	110%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	1,85 €/EW/a	3,16 €/EW/a	3,32 €/EW/a	3,38 €/EW/a	3,48 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m³/a	0,06 €/m³	0,10 €/m³	0,10 €/m³	0,11 €/m³	0,11 €/m³
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m³/a	0,07 €/m³	0,12 €/m³	0,12 €/m³	0,13 €/m³	0,13 €/m³



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö- nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna- Sand Filtration
<b>Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)</b>	1.145.568 €	884.426 €	884.052 €	1.372.446 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70 % (netto)	801.898 €	619.098 €	618.836 €	960.712 €
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70 %)</b>	<b>40.913 €</b>	<b>31.586 €</b>	<b>31.573 €</b>	<b>49.016 €</b>
<b>Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)</b>	<b>33.517 €</b>	<b>28.688 €</b>	<b>32.754 €</b>	<b>47.318 €</b>
<b>mit Förderung (70 %)</b>				
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)</b>	<b>160.794 €</b>	<b>150.801 €</b>	<b>134.696 €</b>	<b>172.901 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	30.551 €	28.652 €	25.592 €	32.851 €
<b>Jahreskosten Gesamt (brutto)</b>	<b>191.345 €</b>	<b>179.453 €</b>	<b>160.288 €</b>	<b>205.752 €</b>
<b>Prozente</b>	119%	112%	<b>100%</b>	128%
<b>Spezifische Kosten (brutto)</b>	<b>Variante 2.1</b>	<b>Variante 2.2</b>	<b>Variante 3.1</b>	<b>Variante 3.2</b>
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	4,07 €/EW/a	3,82 €/EW/a	3,41 €/EW/a	4,38 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,12 €/m <sup>3</sup>	0,11 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>
Behandelte Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,15 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>
<b>mit Förderung (70 %) und ohne Klärschlamm Entsorgungskosten</b>				
<b>Jahreskosten Betrieb ohne Schlamm Entsorgung (netto)</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt (netto)</b>	<b>160.794 €</b>	<b>150.801 €</b>	<b>134.696 €</b>	<b>172.901 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt (brutto)</b>	<b>191.345 €</b>	<b>179.453 €</b>	<b>160.288 €</b>	<b>205.752 €</b>
<b>Prozente</b>	129%	121%	108%	139%
Angeschlossene Einwohner 47000 EW	4,07 €/EW/a	3,82 €/EW/a	3,41 €/EW/a	4,38 €/EW/a
Behandelte Abwassermenge 1.496.500 m <sup>3</sup> /a	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,12 €/m <sup>3</sup>	0,11 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>
Gebührenwirk. Abwassermenge 1.254.000 m <sup>3</sup> /a	0,15 €/m <sup>3</sup>	0,14 €/m <sup>3</sup>	0,13 €/m <sup>3</sup>	0,16 €/m <sup>3</sup>

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung die Variante 3.1 mit einer Ozonierung die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Varianten mit GAK Filtration liegen mit Mehrkosten von 12 % bis 19 % im mittleren Bereich. Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,11 €/m<sup>3</sup> behandeltes Schmutzwasser, bzw. 0,13 €/m<sup>3</sup> gebührenwirksame Abwassermenge gegenüber 0,13 €/m<sup>3</sup>

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

behandelte Abwassermenge, bzw. 0,16 €/m<sup>3</sup> gebührenwirksame Abwassermenge ohne Förderung (Variante 3.1).

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (mit Förderung, mit Schlammmentsorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 55.

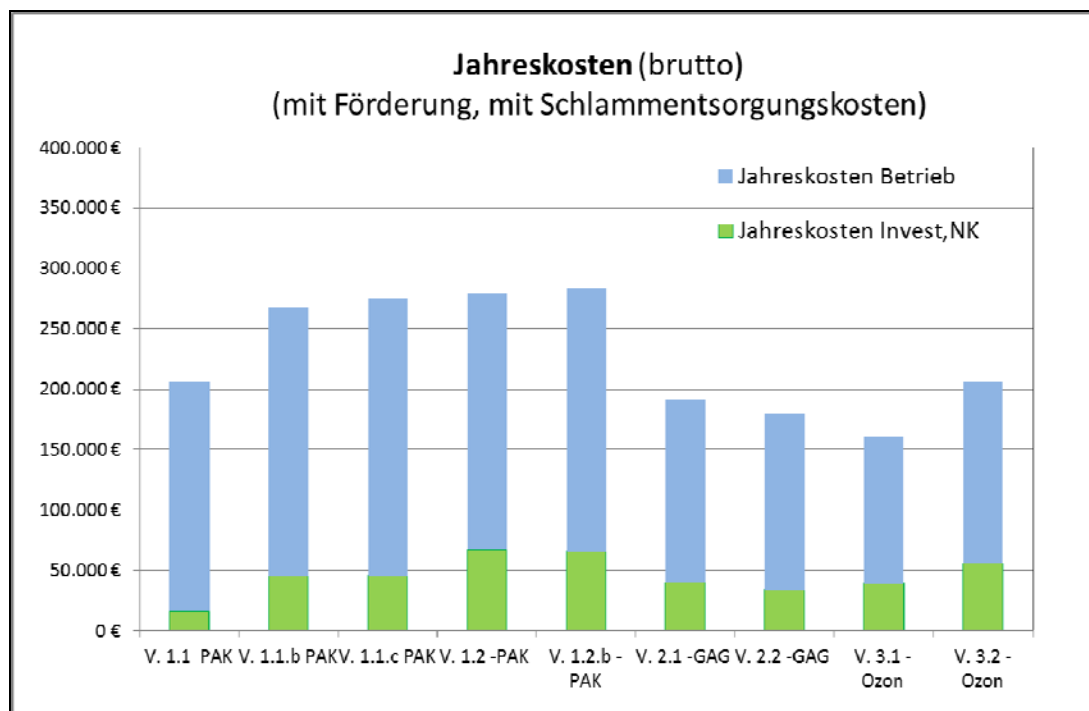


Bild 55: Jahreskosten – mit Förderung, mit Schlammmentsorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)

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

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung und einer Vernachlässigung der Schlammmentsorgungsmehrkosten die Variante 1.1 mit einer PAK Dosierung in die Biologie die geringsten Jahreskosten mit rd. 87.000,- € aufweist. Ob diese Variante ohne nachfolgende Filtration zulässig ist, ist zu untersuchen. Die gleiche Variante, nur mit einer nachgeschalteten Dyna Sand-Filtration (Vollstrom Behandlung) ist mit rd. 148.000,- € die nächst günstige Variante. Ähnliche Jahreskosten weisen die Varianten 1.1.c (+ 5 %), Variante 1.2. (+ 7 %) und Variante 3.1 (+ 8 %) auf.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Varianten mit GAK Adsorption 2.1 und 2.2 sind mit + 29 % und + 21 % vor allem aufgrund der relativ hohen Kosten für granuliert Aktivkohle etwas teurer. Insgesamt ist der Kostenunterschied der Jahreskosten aller Varianten (unter Vernachlässigung von Variante 1.1) mit maximal 39 % relativ gering.

Eine Gegenüberstellung der Jahreskosten (mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten) der untersuchten Varianten zeigt Bild 56.

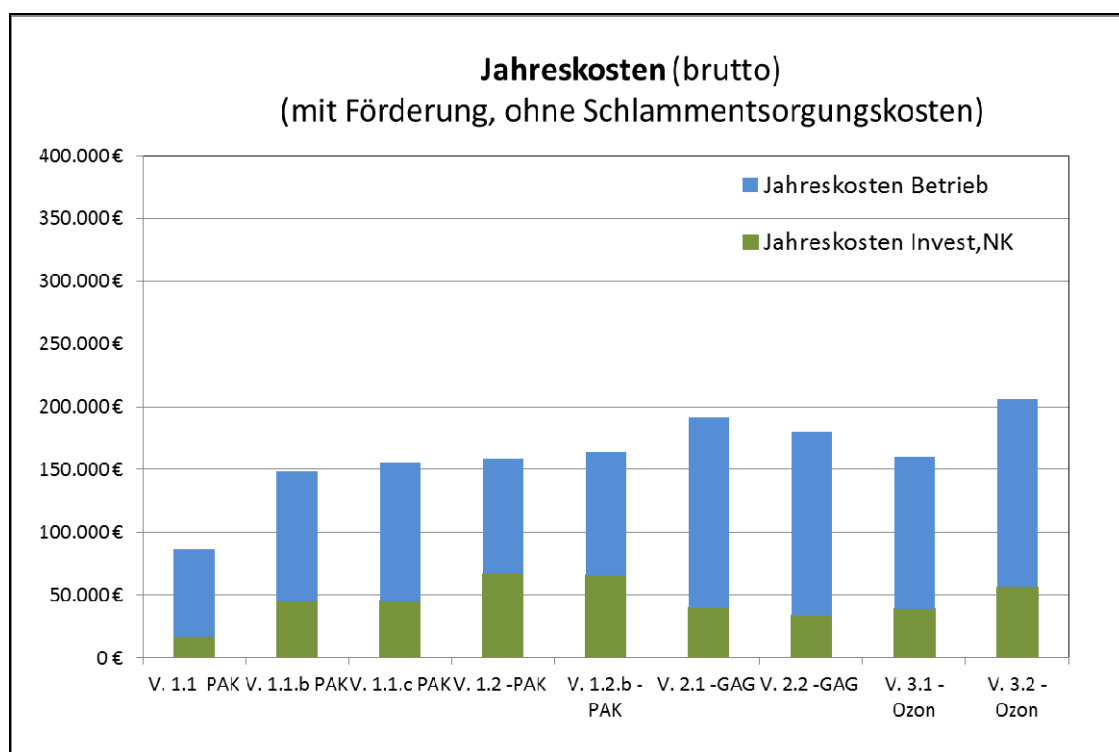


Bild 56: Jahreskosten – mit Förderung, ohne Schlammensorgungskosten - der untersuchen Varianten zur Spurenstoffelimination (brutto)


 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich
 

---

### 9.4 Sensitivitätsanalyse

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

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

Folgende Kosten-Parameter werden betrachtet:

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

sowie als betrieblicher Parameter:

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

Die untersuchten Variationen der wirtschaftlichen Parameter zeigt Tabelle 19.

Tabelle 19: Sensitivitätsanalyse – Variation Parameter

Parameter	Kostenbasis	Variation - Mindestwert	Variation - Maximalwert
Energiekosten	0,15 €/kWh	0,14 €/kWh	0,25 €/kWh
Kosten Aktivkohle PAK	1.500 €/t	1.200 €/t	1.800 €/t
Kosten Aktivkohle GAK	1.300 €/t	1.100 €/t	1.600 €/t
Differenz Kosten therm. Schlammmentsorgung	45 €/tfs	30 €/tfs	60 €/tfs
Kosten Sauerstoff	200 €/t	150 €/t	300 €/t
Standzeit GAK, behandelte BV	rd. 10.000 BV	7. 000 BV	13.000 BV
Dosieraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	20 mg/l	15 mg/l	30 mg/l
Dosieraten PAK (Variante 1.2, 1.2b)	10 mg/l	8 mg/l	20 mg/l
Dosieraten Sauerstoff	12 mg O <sub>3</sub> /l	8 mgO <sub>3</sub> /l	16 mgO <sub>3</sub> /l



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

In Tabelle 20 werden aus den variierten Betriebskosten maximale Jahreskosten ermittelt.  
Die Variante 1.1.c wird aufgrund der Ähnlichkeit mit Variante 1.1.b bei der Betrachtung vernachlässigt, ebenso die Variante 1.2.b aufgrund der Ähnlichkeit mit Variante 1.2.

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

Tabelle 20: Sensitivitätsanalyse – Betriebskosten, Jahreskosten (netto) – ohne Förderung

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB	Variante 1.1.b - 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
Energiekosten	0,14 €/kWh	-188 €/a	-733 €/a	-980 €/a	-669 €/a	-583 €/a	-2.946 €/a	-3.440 €/a
	0,25 €/kWh	1.876 €/a	7.331 €/a	9.282 €/a	6.694 €/a	5.830 €/a	29.456 €/a	34.402 €/a
Kosten Aktivkohle PAK	1.200 €/t	-8.979 €/a	-8.979 €/a	-4.490 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.800 €/t	8.979 €/a	8.979 €/a	4.490 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Aktivkohle GAK	1.100 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-14.560 €/a	-14.398 €/a	0 €/a	0 €/a
	1.600 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	21.840 €/a	21.588 €/a	0 €/a	0 €/a
Differenz Kosten therm. Schlammensorgung	30 €/tfs	-33.509 €/a	-33.509 €/a	-33.733 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	60 €/tfs	33.509 €/a	33.509 €/a	33.733 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Kosten Sauerstoff	150 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-8.613 €/a	-8.613 €/a
	300 €/t	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	17.227 €/a	17.227 €/a
Standzeit GAK, behandelte BV	13.000 BV	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-21.226 €/a	-20.293 €/a	0 €/a	0 €/a
	7.000 BV	0 €/a	0 €/a	0 €/a	41.700 €/a	42.498 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.1, 1.1b)	15 mg/l	-11.224 €/a	-11.224 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	30 mg/l	22.448 €/a	22.448 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten PAK (Variante 1.2)	8 mg/l	0 €/a	0 €/a	-4.490 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
	20 mg/l	0 €/a	0 €/a	22.448 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a
Dosieraten Sauerstoff	8 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	-10.486 €/a	-10.486 €/a
	16 mgO3/l	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	0 €/a	13.482 €/a	13.482 €/a
maximale Veränderung Betriebskosten	min	-53.900 €/a	-54.445 €/a	-43.693 €/a	-36.455 €/a	-35.274 €/a	-22.045 €/a	-22.539 €/a
	max	66.812 €/a	72.267 €/a	69.953 €/a	70.234 €/a	69.916 €/a	60.165 €/a	65.111 €/a
<b>ohne Förderung, mit Klärschlammensorgungskosten</b>								
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	160.053 €	187.164 €	178.281 €	127.277 €	122.113 €	101.942 €	125.583 €
min. Betriebskosten	min	106.153 €	132.719 €	134.588 €	90.822 €	86.839 €	79.897 €	103.044 €
max. Betriebskosten	max	226.865 €	259.431 €	248.234 €	197.511 €	192.029 €	162.107 €	190.694 €
Jahreskosten Gesamt (netto)	mittel	184.790 €	266.910 €	298.424 €	201.707 €	182.387 €	166.269 €	221.917 €
min. Jahreskosten	min	130.890 €	212.465 €	254.731 €	165.252 €	147.113 €	144.224 €	199.378 €
max. Jahreskosten	max	251.602 €	339.177 €	368.377 €	271.941 €	252.303 €	226.434 €	287.028 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	71%	80%	85%	82%	81%	87%	90%
	max	136%	127%	123%	135%	138%	136%	129%
<b>ohne Förderung, ohne Klärschlammensorgungskosten</b>								
Betriebskosten - ohne Schlammens. - mit angen. spez. Kosten	mittel	59.526 €	86.637 €	77.754 €	127.277 €	122.113 €	101.942 €	125.583 €
min. Betriebskosten (ohne Schlammens.)	min	39.135 €	65.701 €	67.794 €	90.822 €	86.839 €	79.897 €	103.044 €
max. Betriebskosten (ohne Schlammens.)	max	92.829 €	125.395 €	113.974 €	197.511 €	192.029 €	162.107 €	190.694 €
Jahreskosten Gesamt (netto)	mittel	84.263 €	166.383 €	169.338 €	201.707 €	182.387 €	166.269 €	221.917 €
min. Jahreskosten	min	63.872 €	145.447 €	159.378 €	165.252 €	147.113 €	144.224 €	199.378 €
max. Jahreskosten	max	117.566 €	205.141 €	205.558 €	271.941 €	252.303 €	226.434 €	287.028 €





9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

In Tabelle 21 wird die Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung einer 70% Förderung der Investitionskosten erstellt. Die minimalen und maximalen Betriebskosten werden aus Tabelle 20 übernommen.

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

Parameter	Variation Kostenbasis	Variante 1.1 - PAK in BB	Variante 1.1.b - 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, Schöpfung.	Variante 3.2 - Ozon, DS Filter
Veränderung Betriebskosten	min	-53.900 €/a	-54.445 €/a	-43.693 €/a	-36.455 €/a	-35.274 €/a	-22.045 €/a	-22.539 €/a
	max	66.812 €/a	72.267 €/a	69.953 €/a	70.234 €/a	69.916 €/a	60.165 €/a	65.111 €/a
Betriebskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	<b>160.053 €</b>	<b>187.164 €</b>	<b>178.281 €</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
min. Betriebskosten	min	106.153 €	132.719 €	134.588 €	90.822 €	86.839 €	79.897 €	103.044 €
max. Betriebskosten	max	226.865 €	259.431 €	248.234 €	197.511 €	192.029 €	162.107 €	190.694 €
Jahreskosten Förderung 70%	mittel	173.682 €	225.333 €	234.525 €	160.794 €	150.801 €	134.696 €	172.901 €
min. Jahreskosten	min	119.782 €	170.888 €	190.832 €	124.339 €	115.527 €	112.651 €	150.362 €
max. Jahreskosten	max	240.494 €	297.600 €	304.478 €	231.028 €	220.717 €	194.861 €	238.012 €
Abweichung Jahreskosten vom Mittelwert	min	69%	76%	81%	77%	77%	84%	87%
	max	138%	132%	130%	144%	146%	145%	138%
<b>mit Förderung (70 %) und ohne Klärschlammorgungskosten</b>								
Betriebskosten - ohne Schlammments. - mit angen. spez. Kosten	mittel	<b>59.526 €</b>	<b>86.637 €</b>	<b>77.754 €</b>	<b>127.277 €</b>	<b>122.113 €</b>	<b>101.942 €</b>	<b>125.583 €</b>
min. Betriebskosten (ohne Schlammments.)	min	39.135 €	65.701 €	67.794 €	90.822 €	86.839 €	79.897 €	103.044 €
max. Betriebskosten (ohne Schlammments.)	max	92.829 €	125.395 €	113.974 €	197.511 €	192.029 €	162.107 €	190.694 €
Jahreskosten mit angen. spez. Kosten	mittel	73.155 €	124.806 €	133.325 €	160.794 €	150.801 €	134.696 €	172.901 €
min. Jahreskosten	min	52.764 €	103.870 €	123.365 €	124.339 €	115.527 €	112.651 €	150.362 €
max. Jahreskosten	max	106.458 €	163.564 €	169.545 €	231.028 €	220.717 €	194.861 €	238.012 €

Die günstigsten Jahreskosten ergeben sich für Annahme minimaler Betriebskosten für Variante 1.1 mit PAK Dosierung und mit leicht höheren Kosten für Varianten 3.1 mit Ozonierung. Bei Annahme ungünstiger, hoher Betriebskosten ist die Variante mit Ozondosierung und Schönungsreich am günstigsten. Es ergeben sich Mehrkosten von 36% im Vergleich zur Betrachtung der Betriebskosten mit den angenommenen spezifischen Kosten.

Die Jahreskosten können bei günstiger Kostenannahme der Betriebskosten um 10 % bis 29 % unter den mittleren Kostenannahmen liegen und bei ungünstiger Kostenannahme um 23 % bis 38 % darüber.



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

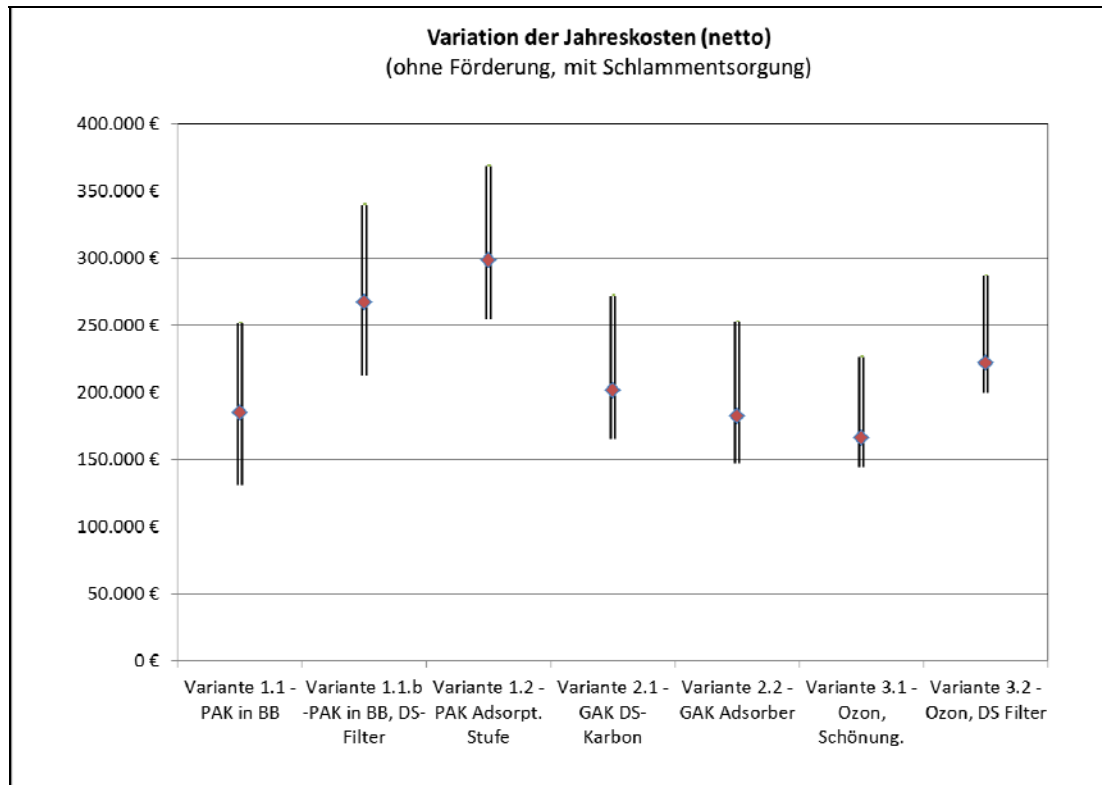


Bild 57: Minimale und maximale Jahreskosten bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, mit Schlammmentsorgungs-(mehr)-kosten (netto)

Die Sensitivitätsanalyse unter Berücksichtigung der verminderten Jahreskosten bei Förderung der Investitionskosten (Förderhöhe 70%) zeigt Bild 58.

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

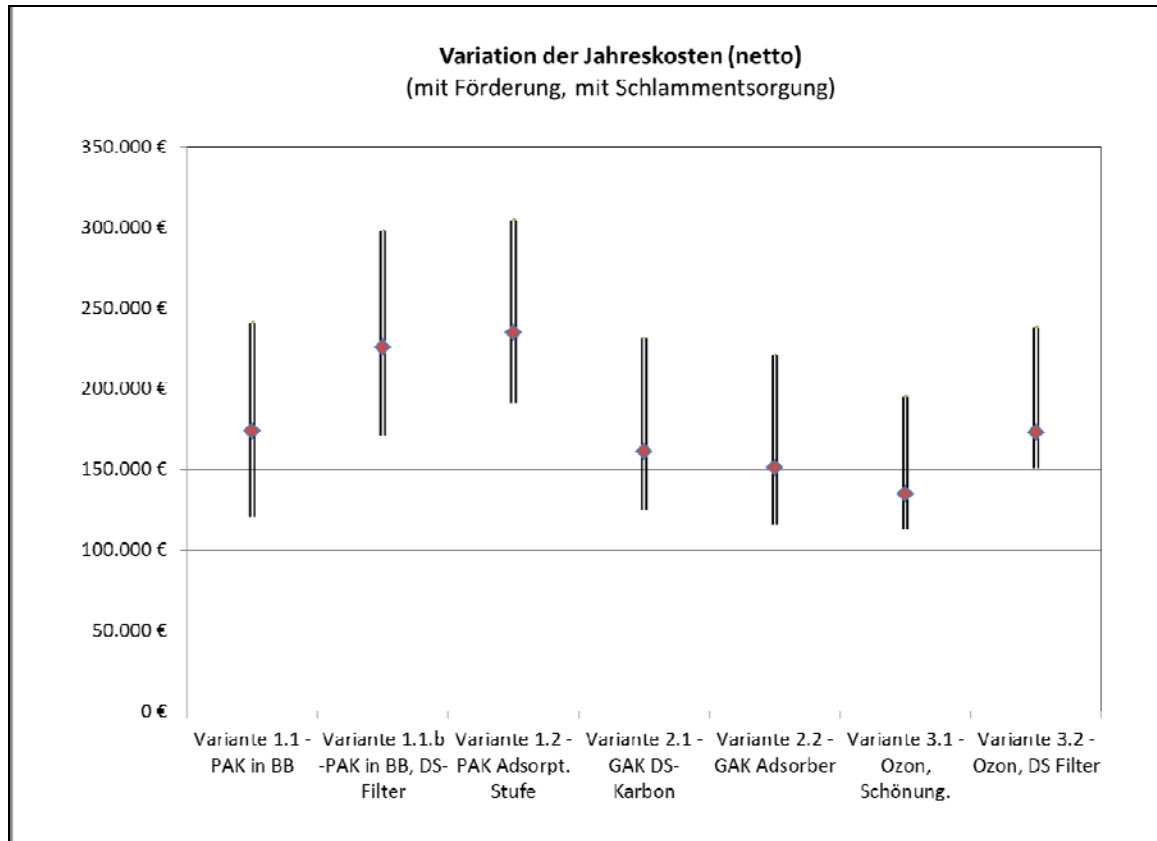


Bild 58: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, mit Schlammmentsorgungs-(mehr)-kosten (netto)

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



9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

Eine deutlich geringere Schwankungsbreite der Jahreskosten für Verfahren mit PAK-Dosierung zeigt sich bei Vernachlässigung der höheren Betriebskosten für die Schlammmentsorgung im Falle einer thermischen Schlammmentsorgung und Aufgabe der landwirtschaftlichen Schlammmentsorgung. Bild 59 und Bild 60 zeigen die entsprechenden Jahreskosten ohne bzw. mit Förderung der Investitionen.

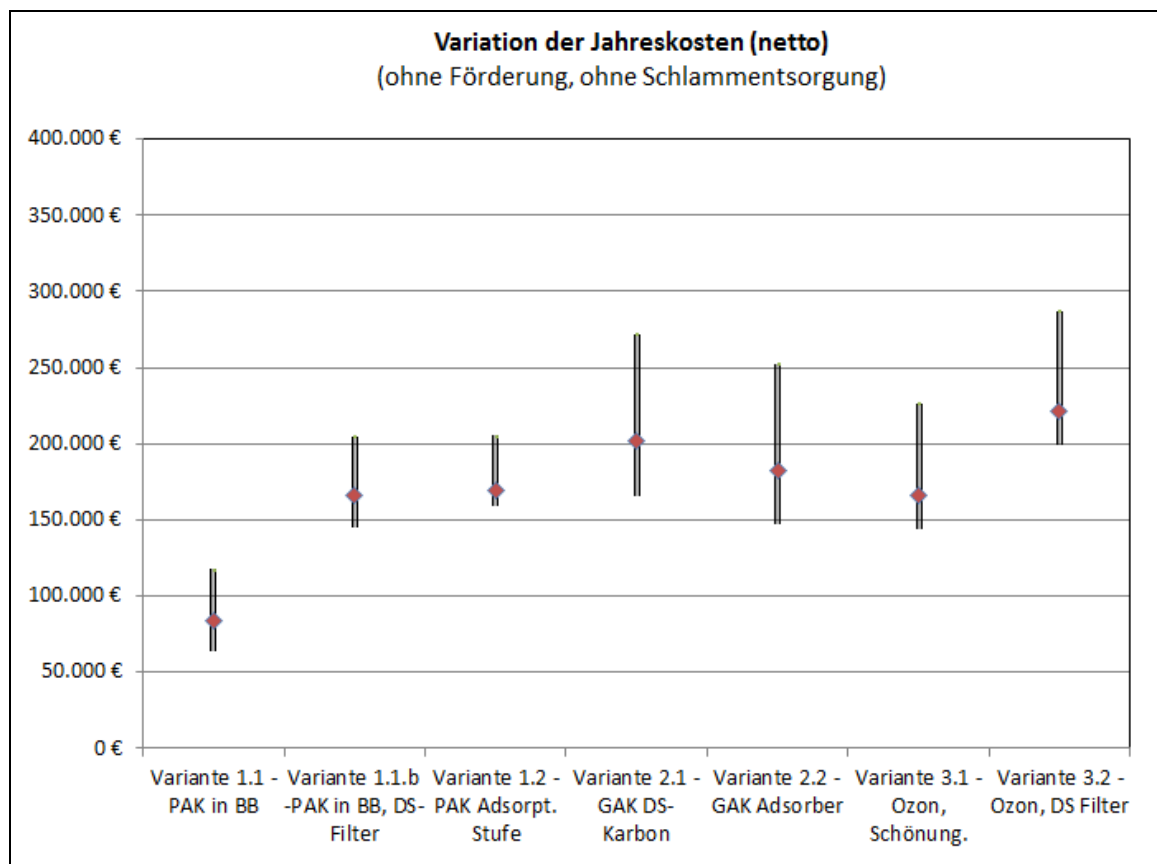


Bild 59: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten ohne Förderung, ohne Schlammmentsorgungskosten (netto)

9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

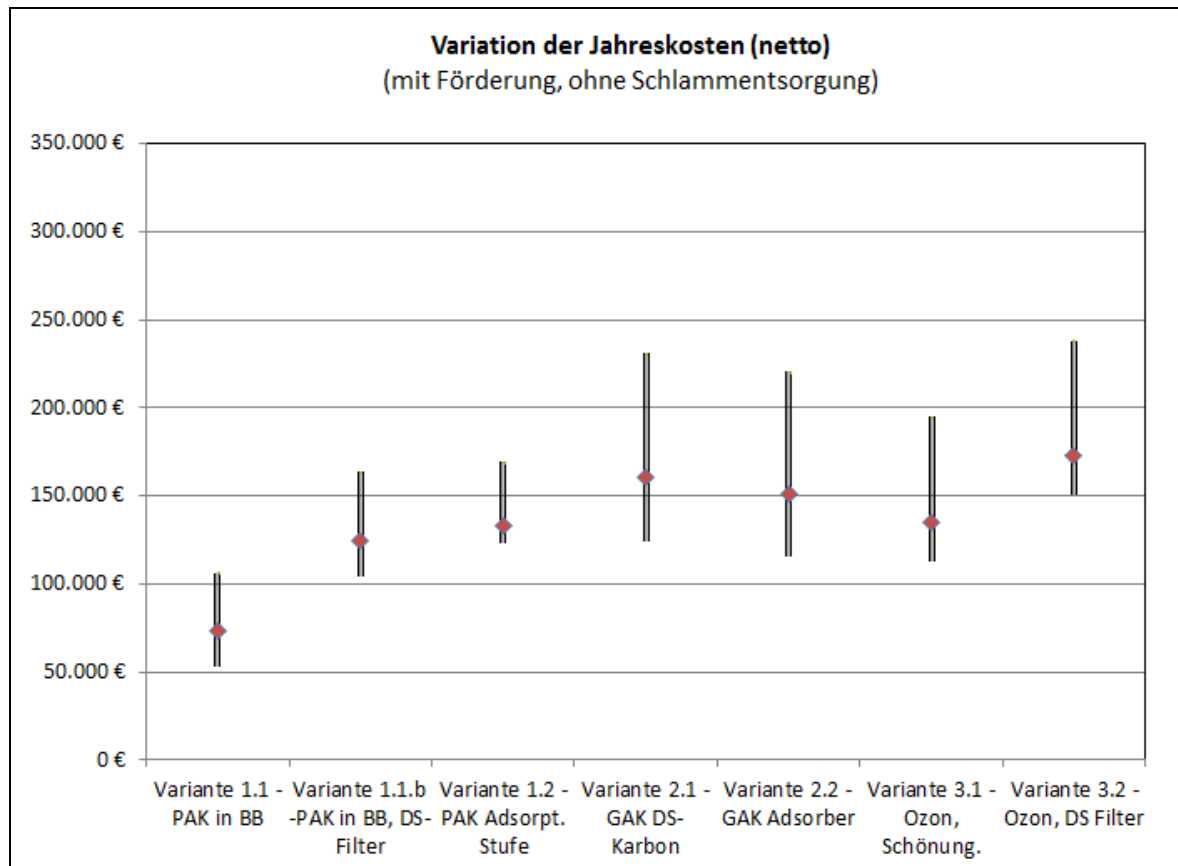


Bild 60: Minimale und maximale Jahreskosten bei Förderung der Investitionen (70 %) bei Variation der Betriebskosten mit Förderung, ohne Schlammmentsorgungs-(mehr)-kosten (netto)

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

Ebenfalls wird vereinfachend die Preisentwicklung zu null angenommen.

Grundsätzlich könnte man die anzunehmende zu behandelte Wassermenge variieren, für die die Spurenstoff-Behandlungsstufen auszulegen sind, da gesetzliche Grundlagen fehlen. Hier



## 9. Wirtschaftlichkeitsvergleich

---

wird angenommen, dass 100% der Trockenwettermenge zu behandeln sind. Werden geringere Wassermengen als ausreichend angesehen, vermindert sich sowohl die Anlagengröße und damit die Investitionskosten, als auch die Betriebskosten.

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

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

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



10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

## 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 dem Abwasserbetrieb der Stadt Verl.

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

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

Tabelle 22: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung	Variante 1.1 - PAK in BB		Variante 1.1.b - 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	Punkte	Gewicht
Jahreskosten ohne Förderung	40%	4	1,60	2	0,80	1	0,40	4	1,60	5	2,00	5	2,00	3	1,20
Jahreskosten mit Förderung	40%	4	1,60	2	0,80	1	0,40	4	1,60	4	1,60	5	2,00	4	1,60
Jahreskosten, mit Förderung, ohne Schlamments.	40%	5	2,00	5	2,00	5	2,00	4	1,60	4	1,60	5	2,00	3	1,20
Reinigungsleistung Spurenstoffe	15%	2,5	0,38	3	0,45	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	10%	2,5	0,25	3	0,30	5	0,50	4	0,40	4	0,40	1	0,10	2	0,20
Bildung Nebenprodukte (Transformationsprodukte)	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	3	0,15	4	0,20
Wartungsaufwand, Betriebsaufwand	5%	5	0,25	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	2,5	0,13
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	4	0,20	5	0,25	5	0,25	3	0,15	4	0,20	3	0,15
Betriebssicherheit	5%	5	0,25	4	0,20	3	0,15	4	0,20	2	0,10	3	0,15	2,5	0,13
Sensitivität Kostensteigerung	5%	2	0,10	3	0,15	4	0,20	3	0,15	3	0,15	4	0,20	4	0,20
Klimarelevanz, CO <sub>2</sub> -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	5	0,25	4	0,20	2	0,10	4	0,20	4	0,20	4	0,20	3	0,15
<b>Summe ohne Förderung</b>	100%		3,68		2,95		2,95		4,20		4,40		4,10		3,30
<b>Summe mit Förderung</b>	100%		3,68		2,95		2,95		4,20		4,00		4,10		3,70
<b>Summe - mit Förderung, ohne Schlamments.</b>	100%		4,08		4,15		4,55		4,20		4,00		4,10		3,30

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 40% angesehen. Das Verfahren mit der günstigsten Jahreskosten wird mit 5 Punkten bewertet (Bereich 0 – 10% Abweichung). Verfahren mit 11 – 30% Abweichung von der Variante mit den günstigsten Jahreskosten werden mit 4 Punkten bewertet, Verfahren mit 31 – 50% Abweichung mit 3 Punkten und Verfahren mit 51 – 70% Abweichung mit 2 Punkten und Verfahren mit über 70% Abweichung mit 1 Punkt.

Im Fall der Jahreskostenermittlung mit Berücksichtigung einer Förderung und ohne Bewertung der Schlamm Entsorgungskosten ist die Variante 1.1.b und nicht die niedrigere Variante 1.1 als Bezugsgröße verwendet, da die Zulässigkeit der Variante 1.1 (PAK in BB) ohne Filtration nur eingeschränkt zu erwarten ist.

Die **Reinigungsleistung für Spurenstoffe** wird als weiteres wesentliches Kriterium mit 15% bewertet. Die Analytik zu vorhandenen Spurenstoffen auf der KA Verl-West 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 sowie frühzeitiger Austausch von GAK Filtermaterial (Bewertung 5 Punkte). Als Nachteilig werde hier Variante 1.1 und 1.1b angesehen, da durch die direkte Zugabe in die Belebung Konkurrenzbelastungen der Aktivkohle im Zuge der vorgelagerten Abwasserreinigungsstufen erfolgen kann. Eine insgesamt verminderte Steuerung der Spurenstoffentnahme, bzw. erforderliche überproportional hohe Dosierungen von PAK ist nicht auszuschließen (Bewertung 2,5, 3 Punkte).

Eine erhöhte **Reinigungsleistung für P und CSB** wird vor allem für Verfahren 1.2 – PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe erreicht. Ein vermehrter Rückhalt von AFS und P im Absatzbecken, nach Fäll- und Flockungsmittelzugabe ist anzunehmen, wie entsprechende Betriebserfahrungen großtechnischer Anlagen zeigen (KA Sindelfingen u.a.) (Ansatz: 5 Punkte). GAK Verfahren werden aufgrund der anzunehmenden CSB Reduzierung und AFS Reduzierung mit 4 Punkten angesetzt. Etwas vermindert werden PAK Varianten ohne separate Stufe angesetzt (3 Punkte). Eine Verminderung der CSB- oder P-Konzentrationen durch Ozonung ist nicht anzunehmen, bzw. nur in der Variante mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration (1 oder 2 Punkte).

Die Bildung von **Transformationsprodukten** ist beim Einsatz von Oxidativen Verfahren gegeben. Durch eine nachgeschaltete biologische Stufe können diese Produkte weitgehend abgebaut werden. Verfahren 3.2 berücksichtigt hierzu einen Sandfilter. Auch ein Schönungsteich ist als Behandlungsstufe anzusehen. Die Gleichwertigkeit ist zu diskutieren. Nachteile von Einleitungen nach





## 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

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.

Verfahren ohne Ozonung werden mit 5 Punkten bewertet. Abhängig von der biologischen Stufe werden Ozonverfahren mit 4 bzw. 3 Punkten bewertet.

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

**Erfahrungen und Referenzen** liegen für alle Varianten vor. Ozonanlagen werden als Pilotanlagen in NRW u.a. eingesetzt und bevorzugt in der Schweiz angewendet. Zur Kombination mit einer Dyna-Sand Anlage liegen derzeit keine Erfahrungen vor. Die Bewertung wird hier abgemindert. Erfahrungen mit Anlagen mit PAK Adsorptionsstufe liegen u.a. aus Baden-Württemberg vor. Eine GAK Filtration als Dyna-Sand-Carbon Anlage wird seit fast einem Jahr in Rietberg erfolgreich eingesetzt. Eine weitere Anlage besteht in Süddeutschland. Erfahrungen mit GAK Adsorbieren im großtechnischen Maßstab sind vorwiegend aus der Trinkwasserreinigung bekannt.

Die **Betriebssicherheit** betrifft u.a. das Verhalten bei Ausfall eines Aggregates und inwieweit ein redundanter Weiterbetrieb möglich ist. Die höchste Betriebssicherheit wird der PAK Dosierung (Variante 1) (5 Punkte) sowie der Dyna-Sand Carbon Filtration angenommen (4 Punkte). Die GAK Adsorptionsfilter wird aufgrund fehlender Redundanz und der aus Kostengründen angenommenen Spülwasserversorgung aus dem Schönungsteich hinsichtlich Betriebssicherheit deutlich niedriger eingeschätzt (2 Punkte). PAK Adsorptionsstufe und Ozonstufen werden durch den hohen Technikanteil im mittleren Bereich eingeschätzt.

Die **Sensitivität** der Verfahren hinsichtlich **Betriebskosten** zeigt die Sensitivitätsuntersuchung in Abschnitt 9.4. Entsprechend erfolgt die Einschätzung der Verfahren. Verfahren mit PAK Dosierung haben deutliche Betriebskostenschwankungen hinsichtlich Schlammensorgung und PAK Kosten, Verfahren mit GAK hinsichtlich GAK Kosten, bzw. der zu erreichenden Filterstandzeit und Verfahren mit Ozon hinsichtlich Energie und Sauerstoff Kosten. Aufgrund des hohen Anteils der Betriebskosten an den Jahreskosten kann sich dies für die Variante 1.1 besonders stark und für Variante



## 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

mit hohen Investitionskosten 1.3 besonders niedrig auswirken in Bezug auf die relative Kostenhöhe.

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

Der **Platzbedarf** ist insbesondere für die KA Verl-West nicht ganz zu vernachlässigen. Eine Flächenerweiterung ist nicht vorgesehen. Die zu erstellenden Anlagen sind teilweise unter Nutzung von Flächen des bestehenden Schönungsteiches anzulegen. Teile des Teiches sind zu verfüllen. Die Bewertung geht von geringem, mittlerem und hohem Flächenbedarf aus.

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass eine (Teil-) Verfüllung des Schönungsteiches oder ein Ankauf weiterer Flächen im Bereich des Schönungsteiches möglich ist. Insbesondere für die Variante 1.2 mit separater Adsorptionsstufe, ist dies Voraussetzung für eine Realisierung.

### **Bewertung - Empfehlung**

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt bei Vernachlässigung einer Förderung für Verfahren 2.2 und 2.1 mit Dyna-Sand Carbon Filtration mit 4,40 und 4,20 Punkten die höchste Bewertung. Variante 3.1 Ozonung und Schönungsteich folgt mit geringem Abstand mit 4,10 Punkten.

Der Abstand zu Verfahren mit PAK Dosierung, Variante 1.1, 1.2 u.a., ist mit Bewertungen von 3,68 und 3,35 deutlich. Hier wirken sich u.a. die hohen Mehrkosten bei einer thermischen Schlammbehandlung aus.

Variante 2.2 wird auch aus weitergehenden Überlegungen als nicht zielführend angesehen, weil redundante GAK Adsorber und ein separates Becken für Rückspülwasser nicht berücksichtigt sind. Für eine Gleichwertigkeit wären höhere Kosten für eine entsprechende zusätzliche Ausrüstung anzusetzen. Die Gesamtbewertung würde sich dadurch verschlechtern.

Als Ergebnis erscheinen bei Vernachlässigung einer Förderung die Variante mit Dyna-Sand Carbon Filtration oder die Variante mit Ozonung zur Realisierung einer Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Verl-West als vorteilhafteste Varianten.

Wird eine Förderung der Investitionen durch das Land NRW berücksichtigt ergibt sich eine ähnliche Gesamtbewertung. Hier ist die Variante 2.1 mit einer Dyna-Sand Carbon Filtration mit einer



#### 10. Bewertung der Planungskonzepte zur Spurenstoffelimination

---

Bewertung von 4.2 Nutzwertpunkten das am höchsten bewertete Verfahren, gefolgt von Varianten 3.1 mit 4,1 Punkten und 2.2 mit 4,0 Punkten.

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

Hier ist die Variante 1.2 mit 4,55 Punkten am höchsten bewertet. Das Verfahren weist die höchsten Investitionskosten auf, bei geringen Betriebskosten. Durch die mögliche Förderung der Investitionen fallen die hohen Investitionskosten hier weniger ins Gewicht. Das Verfahren weist allerdings auch den größten Platzbedarf auf. Ohne Erweiterungsflächen für den Kläranlagenausbau wäre ein Teil des Schönungsteiches zu verfüllen. Die Zulässigkeit wäre in weiteren Planungsschritten zu prüfen. Als nächst günstigere Variante ist mit 4,20 Punkten die Dyna-Sand Carbon Filtration zu benennen.

Vorzugsvariante ist unter den o.a. Voraussetzungen die Variante 2.1 mit Dyna-Sand Carbon Filtration die bei allen Szenarien die höchste oder zweit höchste Bewertung erzielte. In die weiteren Überlegungen können aber auch die Varianten 1.2, ggf. auch als Ausführung mit nachgeschalteter Polstoff- Scheibentuchfiltration (Variante 1.2.b) und die Varianten 3.1 Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich einbezogen werden.

## 11 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt sechs verfahrenstechnische Varianten sowie drei Untervariante hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Verl-West 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. Eine weitere Variante mit GAK Einsatz in Schwerkraftfiltern wird nach einer Vorprüfung verworfen.

Folgende Varianten werden weitergehend untersucht:

- Variante 1.1: Dosierung von PAK in die Belebung
- Variante 1.1.b: Dosierung von PAK in die Belebung und nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>
- Variante 1.1.c: Dosierung von PAK in die Belebung und nachgeschaltetem Scheibentuchfilter
- Variante 1.2: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>
- Variante 1.2.b: PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe und Scheibentuchfilter
- Variante 2.1: GAK in Dyna-Sand Carbon<sup>®</sup> Filtration
- Variante 2.2: GAK in Festbett Adsorberstufe
- Variante 3.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Schönungsteich
- Variante 3.2: Ozonung mit nachgeschaltetem Dyna-Sand Filter<sup>®</sup>

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

Es werden Jahreskosten in Höhe von rd. 198.000,-- €/a bis 355.000,-- €/a ermittelt, die zu spezifischen Kosten von 4,21 €/EW/a bis 7,62 €/EW/a pro angeschlossenen Einwohnerwert führen, bzw. 0,13 €/m<sup>3</sup> bis 0,24 €/m<sup>3</sup> pro Kubikmeter behandeltem Schmutzwasser (brutto).

Wird eine mögliche Förderung der Investitionskosten in Höhe von 70 % eingerechnet (Stand 2016) vermindern sich die Jahreskosten entsprechen. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser sinken unter dieser Annahme in Abhängigkeit von der gewählten Behandlungsvariante auf 0,11 €/m<sup>3</sup> bis 0,19 €/m<sup>3</sup> pro Kubikmeter behandeltem Schmutzwasser (brutto).

## 11. Zusammenfassung

---

In die Bewertung der einzelnen Varianten werden auch nichtmonetäre und betriebliche Kriterien einbezogen. Auf Basis einer Kosten-Nutzwert-Analyse wird der Nutzwert der einzelnen Varianten ermittelt.

Hierzu wird in Abstimmung mit der Stadt Verl eine Bewertungsskala von 1 (schlecht) bis 5 (sehr gut) Nutzwertpunkten für jedes Kriterium eingeführt und mit einer Wichtung versehen.

Hierbei wurden auch verschiedene Szenarien – mit/ohne Förderung der Investitionen, voraussichtlicher Entfall der gesetzlich erlaubten landwirtschaftlichen Klärschlamm Entsorgung ab 2025, berücksichtigt.

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante mit Dyna-Sand Carbon Filtration mit einer Bewertung von 4,20 weiter zu verfolgen. Eine ähnlich hohe Bewertung ergab sich mit 4.10 Punkten für die Variante mit Ozonung und nachfolgendem Schönungsteich, die möglichst auch in die weiteren Überlegungen zur Realisierung einer Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Verl-West einzubeziehen ist. Vernachlässigt man die hohen Mehrkosten für eine thermische Klärschlamm Entsorgung bei PAK-Verfahren, ist ebenfalls die Variante 1.2 mit einer separaten Adsorptionsstufe zu betrachten.

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

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

Es wird zunächst von einer Gleichwertigkeit der vorgeschlagenen Verfahren ausgegangen.

Nicht betrachtet wurden ggf. zu berücksichtigende weitergehende Ausbauanforderungen für die Kläranlage Verl-West, etwa zur weiteren Reduzierung der Phosphor Einleitungen. Entsprechende Forderungen könnten die Verfahrensauswahl zur Spurenstoffelimination beeinflussen.

## 11. Zusammenfassung

---

Derzeit ist nicht bekannt wann oder ob Auflagen zur Spurenstoffbehandlung seitens des Gesetzgebers erlassen werden. Die Umsetzung wird aber seitens des Landes NRW, in Vertretung durch die Bezirksregierungen Detmold, empfohlen und mit Investitionszuschüssen gefördert.

Sollte sich die Stadt Verl zu der Nachrüstung einer Stufe zur Spurenstoffbehandlung auf der Kläranlage Verl-West entschließen, wird empfohlen, in einer weiteren Bearbeitungsphase die Vorzugsvariante durch wissenschaftlich betreute Vorversuche vertiefend zu betrachten.

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH  
Hannover, im September 2016  
Dr.-Ing. Jens Knollmann

## 12 Literatur

- [1] Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe. NRW  
Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW; Stand: 9/2016
- [2] Knollmann  
Entwurf – Erweiterung Klärwerk Verl – West, Erläuterungsbericht. IC Knollmann GmbH, Hannover; 1998 (unveröffentlicht)
- [3] Grontmij  
Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost. Bericht für das MKULNV NRW, 2012
- [4] MKULNVV, NRW  
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; 2013
- [5] Sürder, T.  
Persönliche Mitteilung, E-Mail: 03.08.2016; Bezirksregierung Detmold
- [6] StGB NRW  
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>

12. Literatur

---

- [7] MKULNV NRW.  
ARGE TP6: Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen (TP6), Abschlussbericht; Hrsg.: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, 2014
- [8] Maus, C.; Herbst, H.; Ante, S.; Becker, H.-P.; Glathe, W.; Börgres, A.; Türk, J.  
Hinweise zu Auslegung und Design von Ozonanlage zur Mikroschadstoffelimination. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 11, 61, 2014
- [9] Metzger, S.  
Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Berlin: Oldenburg Industrieverlag München, 2010
- [10] Abegglen, C., Siegrist, H.  
Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hrsg. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz, Umwelt-Wissen Nr. 1214; 2012
- [11] Bajenbruch, M.; Firk, W.  
Möglichkeiten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 10, 61; 2014
- [12] Maus, C; Herbst, H.; Ante, S.; Becker, H.-P.; Glatze, W.; Börger, A.; Türk, J.  
Hinweise zu Auslegung und Design von Ozonanlagen zur Mikroschadstoffelimination. Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 11, 61; 2014
- [13] Suter, J.M.F.; Holm, P.  
Dem Fischrückgang auf der Spur, Schlussbericht des Projektes Netzwerk Fischrückgang Schweiz – „Fischnetz“, EAWAG, BUWAL, [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch); 2004
- [14] Hanke I.; Singer H.; Mc Ardell C., Brennwald M., Traber D., Murali R., Herold T., Oechslin R., Kipfer R.  
Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. Gas, Wasser, Abwasser 3 / 2007



12. Literatur

---

- [15] Pinnekamp J.; Merkel W.  
Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte und Kostenbetrachtungen (Abschlussbericht im Auftrag des MUNLV NRW), 2008
- [16] Götz, C.; Bergmann, S; Ort, C.; Singer, H; Kase, R.  
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), 2012
- [17] NFP50  
Konsensplattform „Hormonaktive Stoffe in Abwasser und Gewässer“ - Schlussdokument, Nationales Forschungsprogramm „Hormonaktive Stoffe“. Schweizerischer Nationalfond. 2008
- [18] Hoeger, B., Kölner, B., Dietrich D., Hitzfeld B.  
Water-borne diclofenac affects kidney and gill integrity and selected immune parameters in brown trout. *Aquatic Toxicology*, 75, 2005
- [19] Scholz, N.; Truelove, N.; Labenia, J.; Baldwin, D.; Collier, T.;  
Dose-additive inhibition of chiook salmon acetylcholinesterase activity by mixtures of organophosphate and carbamate insecticides. *Env. Toxicol. Chem.* 25 (5). 2006
- [20] 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.  
Pharmazeutische Rückstände in der aquatischen Umwelt – eine Herausforderung für die Zukunft – Erkenntnisse und Aktivitäten des Europäischen Kooperationsprojektes PILLS. 2012

12. Literatur

---

- [21] Götz, C. W.; Hollender, J.; Kase, R.  
Mikroverunreinigungen – Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Herausgeber: Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs, Dübendorf, 2010
- [22] DWA.  
DWA Arbeitsgruppe KA 8.1: Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf – Arzneistoffe. DWA-Themenband, Hennef. 2008
- [23] Benstöm, F.; Metzger S.  
Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen. 2. Kläranlagentage, Kassel, 10.06.2015, DWA. 2015
- [24] Cornel, P.  
Potenzielle Anforderungen an die Abwasserreinigung der Zukunft. Schriftenreihe WAR 190, Verein zur Förderung des Institutes WAR (Hg.), Darmstadt - Darmstädter Seminar Abwassertechnik, Universität Darmstadt. 2007
- [25] Abegglen, C., Escher, B.  
Abschlussbericht Ozonung von gereinigtem Abwasser. Pilotversuch Regensdorf. Dübendorf, 2009
- [26] Hiller, G.  
Abwasserreinigung mit dem Ziel der Spurenstoffentnahme und der Unterschreitung der abgaberelevanten Schwellenwerte für CSB und P in Ulm/Neu-Ulm. Karlsruher Flockungstage 2011, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe Schriftenreihe SWW, Bd. 151, Karlsruhe; 2011
- [27] Dowell Mc, D.C.; Huber, M. M.; Wagner, M.; Gunten v. U.; Ternes, T.A.  
Oxidation of carbamazepine in drinking water: identification and kinetic study of major oxidation products. Environ. Sci. Technol., 39 (29), 2005

12. Literatur

---

- [28] Gantner, K.; Waermer, F.  
Einsatz der Fuzzy-Filter-Technologie zur Spurenstoffentfernung auf Kläranlagen ohne bereits bestehende Filtrationsstufe. Korrespondenz Abwasser, Nr. 10, 2014
- [29] LAWA  
Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Aufl., Herausgeber DWA, Bund/Länder – Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2012
- [30] Schumacher, Nebocat  
Kosten der Ersatzbrennstoffverbrennung in Monoverbrennungsanlagen. Tagungsbeitrag; Energie aus Abfall, Band 6; TK Verlag, Neuruppin, 2009
- [31] UBA  
Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2012
- [32] KOMS  
Kompetenzzentrum Spurenstoffe – BW. Übersicht entnommen: Internetseite: <http://www.koms-bw.de/klaeranlage/>, 2016
- [33] KOMS  
Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe – NRW. Übersicht entnommen: Internetseite: <http://www.masterplan-wasser.nrw.de/>, 2016
- [34] BMLFUW  
Veröffentlichung des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich:  
Richtlinien betreffend Oberflächengewässerqualität: [https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu\\_wasserrecht/OFG-QualitaetRL.html](https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-eu-international/eu_wasserrecht/OFG-QualitaetRL.html), 2015
- [35] Günthert, F. W.; Röfel, S.  
Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht. Institut für Wasserwesen,

12. Literatur

---

- Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität der Bundeswehr München, 07.2013
- [36] Bolle, F.W.; Pinnekamp, J.  
Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase I, Abschlussbericht – Aktenzeichen: IV-7-042 600 003 J. Im Auftrag des MKULNV NRW; Aachen, 12.2011
- [37] UBA - Umweltbundesamt  
Schutz der Oberflächengewässer. Mitteilung des Umweltbundesamtes vom 01.04.2014:  
<http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrecht/recht-der-oberflaechengewaesser>
- [38] MKULNV NRW  
Bewirtschaftungspläne für Flussgebiete in Europa. Information des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2016:  
<http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Bewirtschaftungsplan>
- [39] MUNLV NRW  
Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer. Integriertes Monitoringkonzept der landesspezifischen, nationalen und internationale Messprogramme. Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2009:  
[http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Monitoring#Monitoring\\_der\\_Oberfl.C3.A4chengew.C3.A4sser](http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/WRRL/Monitoring#Monitoring_der_Oberfl.C3.A4chengew.C3.A4sser)
- [40] MKULNV NRW  
Steckbrief der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Bewirtschaftungsplan 2016-2021. Oberflächengewässer und Grundwasser. Teileinzugsgebiete Ems/Ems NRW (Entwurf, Stand 12/2015) Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW.



13. Anhang

## 13 Anhang

### 13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

Untersuchungen vom 11.03.2014 – 14.03.2014, 72h-Mischprobe

(1) = Ablauf Schönungsteich, Kläranlage Verl-West

Analysennummer:		49955 156942	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Wassermenge in 72 h	m³	11996	
Bezafibrat	µg/l	0,12	Hausmethode
Diclofenac	ng/l	3400	Hausmethode LC/MS/MS
Naproxen	ng/l	270	Hausmethode LC/MS/MS
Phenazon	ng/l	91	Hausmethode LC/MS/MS
Carbamazepin	ng/l	930	Hausmethode LC/MS/MS
Atenolol	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	410	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	3700	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	470	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxazepam	µg/l	0,15	Hausmethode LC/MS/MS
Amidotrizoesäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iomeprol	ng/l	60	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 10	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diuron	µg/l	< 0,05	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Isoproturon	µg/l	< 0,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
Benzotriazol	µg/l	4,1	EN ISO 11369 (F12) LC/MS
17-alpha-Ethinylestradiol	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
17-beta-Estradiol	ng/l	< 10	Hausmethode LC/MS/MS
Estron	ng/l	< 10	Hausmethode (GC-MS)
Terbutryn	µg/l	0,033	EN ISO 11369 (F12) LC/MS

### **13.2 Abwassertechnische Berechnungen**

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung),
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyma-Sand Carbon Filtration
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber,
- Variante 2.3 GAK - Automatischer Schwerkrafftfilter
- Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich
- Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

**Variante 1.1 - PAK in Belebung**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			<b>171 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

**Auslegung PAK Dosierung**

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK		10 - 20 mg/l	<b>20 mg/l</b>	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			6 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei $Q_{T,max}$			137 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			3 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			82 kg/d	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			2.544 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei $Q_{T,mittel}$			<b>30.534 kg/a</b>	
Auslegung Silobehälter				
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)			425 kg/m <sup>3</sup>	
erf. Lagervolumen pro Monat			5,99 m <sup>3</sup>	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			17,96 m <sup>3</sup>	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			<b>50 m<sup>3</sup></b>	rd. 8 Monate PAK Versorgung

## 13. Anhang

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

## Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			8	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			40 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			14,25 m/h	
Spülwassermenge			36 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			11,5 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			128 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			261 m <sup>3</sup>	4,9 m x 9,7 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

**Variante 1.1.c - PAK in Belebung mit Scheibentuchfilter**

## Auslegung Scheibentuchfilter

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 18/90-B-240-3-PMF-A4, 18 Filterscheiben			18	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			90 m <sup>2</sup>	
Stundendurchfluss mittel			285 m <sup>3</sup> /h	
Stundendurchfluss max			570 m <sup>3</sup> /h	
zul. Filtergeschwindigkeit			8,0 m/h	
vorh. max. Filtergeschwindigkeit			6,3 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n <sup>2</sup> /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) (gerundet)			121,5 m <sup>3</sup>	3,0 m x 9,0 m x 4,5 m



13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			<b>171 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

**Auslegung Kontaktbecken**

Kontaktbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	$t_{KB}$		<b>30 min</b>	
Beckenvolumen, erforderlich	$V_{KB,erf.}$		143 m <sup>3</sup>	
Beckenvolumen, gewählt	$V_{KB,gew.}$		<b>150 m<sup>3</sup></b>	
Tiefe, gewählt	$T_{KB,gew.}$		2,5 m	
Oberfläche	$A_{KB,gew.}$		60 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken	$n_{KB}$		1	
Länge Becken	$L_{KB}$		13,5 m	
Breite Becken	$B_{KB}$		4,5 m	
Rührwerk - Anzahl	$n_{Rühr}$		3	
Energieeintrag Rührwerke, spezifisch	$E_{spez.}$		10 W/m <sup>3</sup>	
Energieeintrag Rührwerke, gesamt	$E_{ges.}$		1,5 kWh	
Energiebedarf pro Rührwerk	$PRW$		0,5 kW	

## 13. Anhang

**Auslegung Absetzbecken**

Absetzbecken	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Aufenthaltszeit	t <sub>AB</sub>		120 min	
Beckenvolumen, erforderlich	V <sub>KB,erf.</sub>		570 m <sup>3</sup>	
Tiefe, gewählt	T <sub>KB,gew.</sub>		3,5 m	
Oberflächenbeschickung	q <sub>AB</sub>		2,0 m/h	
Oberfläche erforderlich	A <sub>AB, erf.</sub>		143 m <sup>2</sup>	
Oberfläche gewählt	A <sub>AB,gew.</sub>		165 m <sup>2</sup>	
Volumen gesamt	V <sub>AB,ges.</sub>		578 m <sup>3</sup>	
Anzahl Becken, Rundbecken	n <sub>AB</sub>		1	
Durchmesser	D <sub>AB</sub>		14,5 m	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			80 l/s	

Rücklaufkohle	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Rücklaufverhältnis	R <sub>VPAK</sub>		70%	

**Auslegung PAK Dosierung**

PAK Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge PAK	DOS <sub>mittel, PAK</sub>	5 - 15 mg/l	10 mg/l	
maximale PAK-Dosierung bei Q <sub>T,max</sub>			2,9 kg/h	
maximale PAK-Dosierung bei Q <sub>T,max</sub>			68 kg/d	
Suspension	Q <sub>PAK,max</sub>		13,7 m <sup>3</sup> /d	
mittlere PAK-Dosierung bei Q <sub>T,mittel</sub>			1,7 kg/h	
mittlere PAK-Dosierung bei Q <sub>T,mittel</sub>			41 kg/d	
Suspension	Q <sub>PAK,mittel</sub>		8,2 m <sup>3</sup> /d	
mittlere PAK-Dosierung bei Q <sub>T,mittel</sub>			1.272 kg/Monat	
mittlere PAK-Dosierung bei Q <sub>T,mittel</sub>			15.267 kg/a	
Auslegung Silobehälter				
Anzahl Silo	n <sub>Silo</sub>		1	
Schüttdichte (Beispiel: Norit SAE Super)	roh		425 kg/m <sup>3</sup>	
erf. Lagervolumen pro Monat			2,99 m <sup>3</sup>	
Lagerung pro Quartal (min. Menge)			8,98 m <sup>3</sup>	
Gewählte Silogröße (1. LKW Ladung)			50 m <sup>3</sup>	> 1a PAK Versorgung

## 13. Anhang

**Auslegung Flockungshilfsmittel-Dosierung**

Flockungshilfsmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FHM	DOS <sub>mittel, FHM</sub>	0,2 - 0,3 mg/l	<b>0,2 mg/l</b>	
Dichte	roh		500 kg/m <sup>3</sup>	0,5 Gew. %
max. FHM Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		0,09 kg/h	
max. FHM Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		2,05 kg/d	
mittlere FHM Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		0,034 kg/h	
mittlere FHM Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		0,82 kg/d	

**Auslegung Fällmittel-Dosierung**

Fällmittel Dosierung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Spezifische Dosiermenge FM	DOS <sub>mittel, FM</sub>	2 - 8 mg/l	<b>5,0 mg/l</b>	
Dichte	roh		500 kg/m <sup>3</sup>	0,5 Gew. %
max. Fällmittel Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		2,28 kg/h	
max. Fällmittel Dosierung	Q <sub>max</sub> x Dos <sub>max</sub>		54,72 kg/d	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		0,855 kg/h	
mittlere Fällmittel Dosierung	Q <sub>mittel</sub> x Dos <sub>mitte</sub>		20,52 kg/d	
mittlere Fällmittelmenge pro Jahr			7.490 kg/a	

**Auslegung Dyna-Sand Filtration (Optionaler Ausbau)**

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			20 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			14,25 m/h	
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			11,5 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			132, m <sup>3</sup>	4,9 m x 4,9 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

13. Anhang

---

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

**Auslegung Scheibentuchfiltration**

Scheibentuchfiltration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ SF 9/45-B-240-3-PMF-A4, 9 Filterscheiben			9	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			45 m <sup>2</sup>	
Stundendurchfluss mittel			171 m <sup>3</sup> /h	
Stundendurchfluss max			285 m <sup>3</sup> /h	
zul. Filtergeschwindigkeit			8,0 m/h	
vorh. max. Filtergeschwindigkeit			6,3 m/h	
Feststoffflächenbelastung			0,2 kg/n <sup>2</sup> /h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H) (gerundet)			81 m <sup>3</sup>	3,0 m x 6,0 m x 4,5 m

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			<b>171 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

**Auslegung Dyna-Sand Carbon Filtration**

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 D		6 - 8 Stk.	8	(Vorgabe Hersteller: NW 6 Stk.)
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			40 m <sup>2</sup>	(empfohlen NW ca. 30 m <sup>2</sup> )
max. Oberflächenbelastung			7 m/h	
mittlere Oberflächenbelastung			4 m/h	
Spülwassermenge			16 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			8 Nm <sup>3</sup> /h	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m <sup>3</sup>	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			6,5 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			52 t / 106 m <sup>3</sup>	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK}$ gesamt: 106 m <sup>3</sup>		14.118 BV/a	
mittlere Aufenthaltszeit			0,62 h	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			261 m <sup>3</sup>	4,9 m x 9,7 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

## 13. Anhang

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

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			<b>171 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

**Auslegung GAK Festbett-Adsorberstufe**

Festbett-Adsorberstufe	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
max. Filtergeschwindigkeit	$V_{Omax}$		15 m/h	
mittlere Filtergeschwindigkeit	$V_{Qt}$		10 m/h	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qmax}$		19 m <sup>2</sup>	
Filterfläche erforderlich	$A_{erf, Qt}$		28,5 m <sup>2</sup>	
Spülgeschwindigkeit	$V_{spül}$		40 m/h	
Filterfläche pro Filter, gewählt	$A_{gew.}$		15 m <sup>2</sup>	
Anzahl Filter (Betrieb)	$n_{Filter}$		2	
Anzahl Filter, Reserve / Spülung			-	
Filterfläche gesamt	$A_{Filter, ges}$		30 m <sup>2</sup>	
Filterhöhe	$H_{Filter}$		3,5 m	
Filtervolumen, gesamt	$V_{Filter}$		105 m <sup>3</sup>	
jährlich zu behandelnde Bettvolumina BV)	$V_{GAK gesamt: 105 m^3}$		14.252 BV/a	
Schüttdichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m <sup>3</sup>	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			25,7 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			51,4 t / 105 m <sup>3</sup>	
mittlere Kontakt-/ Aufenthaltszeit (ges.)			0,61 h	

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

**Variante 2.3 - GAK in automatischem Schwerkrafftfilter**

**Abwassermengen, -eigenschaften**

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			<b>171 m<sup>3</sup>/h</b>	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

**Auslegung automatische Schwerkrafftfiltration**

Dyna-Sand Carbon Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filter (Prominent) Typ SK 36 (Plandarstellung)	nARF		<b>4</b>	
Filter (Prominent) Typ SK 27 (gewählt für Kalkulation)	nARF		<b>6</b>	
Durchflussgeschwindigkeit			3 -10 m/h	
Filterleistung SK 36 / SK 27 pro Filter			105 m <sup>3</sup> /h / 57 m <sup>3</sup> /h	
Drucksatzleistung 5 Filter SK 27 (1 Filter Spülmodus)			285 m <sup>3</sup> /h	
Gesamthöhe Filter			6,5 m	
Druchmesser Filter (SK 27)			2,7 m	
Höhe Filterbett (SK 27)			0,6 m	
Durchmesser Filter (SK 27)			2,7 m	
Filterfläche (SK 27)			5,7 m <sup>2</sup>	
Aktivkohlemenge pro Filter (SK 27)			3,4 m <sup>3</sup>	
Aktivkohlemenge gesamt (6 Filter Typ Sk 27)			20,5 m <sup>3</sup>	
Schüttichte (Aqua Sorb 200, Jacobi Carbons)			490 kg/m <sup>3</sup>	
Aktivkohle (Körnung: 0,4 – 3,0 mm)			1,7 t/Filter	
Gesamtmenge Aktivkohle			10,1 t / 20,6 m <sup>3</sup>	
mittlere Aufenthaltszeit			<b>0,12 h</b>	Ausschluss Variante wg. zu niedriger Aufenthaltszeit

### 13. Anhang

#### Kläranlage Verl - West

#### Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren

#### Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

##### Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ )
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			171 m <sup>3</sup> /h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

Abwassereigenschaften	Parameter		gemessen	Bemerkung
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>DOC</sub>		15,2 mg DOC / l	(Mittel 2015 Überwachung)
Bromidkonzentration				keine Angaben
Standortspez. Spurenstoffe				keine Auffälligkeiten
Voraussetzung: stabile Nitrifikation (keine Oxidation Nitrit zu Nitrat)				erfüllt
Voraussetzung: niedrige AFS Konzentrationen im Ablauf Nachklärung				erfüllt

##### Auslegung Mikroschadstoffelimination mit Ozon

Ozonerzeugung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Maximale Ozonmenge:	Z <sub>spez.</sub>	0,6 – 0,9 g O <sub>3</sub> / g DOC	<b>0,75 mg O<sub>3</sub>/mg DOC</b>	(mittl. Ausl.wert, entspr. Empf. [1])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>DOC</sub>		15,2 mg DOC / l	(Annahme d. mittl. TOC 2015 Überwachung)
erforderliche Ozonkonzentration	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>11,4 mg O<sub>3</sub> / l</b>	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>12 mg O<sub>3</sub> / l</b>	
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem.</sub> = Q <sub>T,h,max</sub>		<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [1])
minimale Auslegungswassermenge	Q <sub>T,2h,min</sub>		35 m <sup>3</sup> /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B <sub>O3,max</sub> = Q <sub>Bem.</sub> x C <sub>O3</sub>		<b>3,28 kg O<sub>3</sub>/h</b>	
Maximale Ozon Produktionskapazität			<b>78,66 kg O<sub>3</sub>/d</b>	
Mittlere Ozon Produktion	B <sub>O3,mittel</sub> = Q <sub>T,mittel</sub> x C <sub>O3</sub>		1,97 kg O <sub>3</sub> /h	
Mittlere Ozon Produktion			47,2 kg O <sub>3</sub> /d	
Minimale Ozon Produktion	B <sub>O3,min</sub> = Q <sub>T,2h,min</sub> x C <sub>O3</sub>		0,4 kg O <sub>3</sub> /h	
Minimale Ozon Produktion			9,66 kg O <sub>3</sub> /d	
Jährliche Ozon Produktion			17.227 kg O <sub>3</sub> /a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			<b>172.265 kg O<sub>2</sub>/a</b>	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX



### 13. Anhang

<b>Wahl Ozonerzeuger</b>			
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> , Produktgas	M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>
Anzahl Generatoren	n		1
max. Leistung Generator			<b>3,34 kg O<sub>3</sub>/h</b>
Leistung Generator			3,21 kg O <sub>3</sub> /h
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			22,4 Nm <sup>3</sup> /h
O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> Gasdurchsatz			21,7 Nm <sup>3</sup> /h
Kühlwasserbedarf			9,1 m <sup>3</sup> /h
Spez. Energiebedarf Konverter			9,9 kWh/kg
Energiebedarf gesamter Konverter			31,8 kW

Ozonreaktor	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss	t <sub>OR</sub>	15 - 30 min	<b>20 min</b>	
Ozonzehrung	t <sub>Zehrung O<sub>3</sub></sub>		10 min	Literaturwert(alt. Batchversuch)
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem.</sub> = Q <sub>T,h,max</sub>		285 m <sup>3</sup> /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V <sub>OR</sub>		95 m <sup>3</sup>	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V <sub>Gas</sub>		48 m <sup>3</sup>	
Summer erforderliches Reaktorvolumen	V <sub>ges., erf.</sub>		143 m <sup>3</sup>	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q <sub>Bem.</sub> x t <sub>Zehrung</sub> /0,35		136 m <sup>3</sup> /h	Berücksichtigung Ungleichmäßiger Durchmischung entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 31 min
<b>gesamtes Reaktorvolumen gewählt:</b>	V <sub>ges.</sub>		<b>150 m<sup>3</sup></b>	
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A <sub>OR</sub>		19 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR</sub>		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR</sub>		6,3 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR</sub>		3,2 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V <sub>OR,gew.</sub>		100 m <sup>3</sup>	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A <sub>OR,gew.</sub>		20 m <sup>2</sup>	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h <sub>OR-A</sub>		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A <sub>OR-A,gew.</sub>		10 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR-A</sub>		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR-A</sub>		3,15 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR-A</sub>		3,2 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V <sub>OR-A,gew.</sub>		50 m <sup>3</sup>	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A <sub>OR-A,gew.</sub>		10 m <sup>2</sup>	

13. Anhang
 

---

Ozoneintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
<b>Diffusor:</b>				
Eintragstiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> , Produktgas	0M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	
Max einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub></sub> , max.)	BO <sub>3</sub> , max / CO <sub>3</sub> , Produktgas		22 m <sup>3</sup> /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub></sub> , min.)	BO <sub>3</sub> , min / CO <sub>3</sub> , Produktgas		3 m <sup>3</sup> /h	> min. Diffusorsystem

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>	
maximale Menge O <sub>2</sub>			32,78 kg O <sub>2</sub> /h	
maximale Menge O <sub>2</sub>			787 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			19,67 kg O <sub>2</sub> /h	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			472 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			172.265 kg O <sub>2</sub> /a	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			80 l/s	

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
<b>Aufenthaltszeit</b>			0,9 d	mittlerer TW Zufluss
Vorhandenes Volumen			3.550 m <sup>3</sup>	Ist

### 13. Anhang

#### Kläranlage Verl - West Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration

##### Abwassermengen, -eigenschaften

Auslegungswassermengen	Parameter	Bemessung Jahr 2018	Bemessung Jahr 2018	Bemerkung
Einwohnerwerte			47.000 EW	
Mittlere Belastung Kläranlage: 75 % EW			35.250 EW	
Schmutzwasserzufluss $Q_S$			3.650 m <sup>3</sup> /d	
Fremdwasserzufluss $Q_F$			1.100 m <sup>3</sup> /d	
täglicher Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$		1,496 Mio. m <sup>3</sup> /a	4100 m <sup>3</sup> /d	
max. Trockenwetterzufluss $Q_{T,max}$		80 l/s	<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Bemessungswert ( $Q_{T,h,max}$ .)
mittlerer Trockenwetterzufluss $Q_{T,mittel}$			171 m <sup>3</sup> /h	
min. Trockenwetterzufluss $Q_{T,min}$			<b>35 m<sup>3</sup>/h</b>	
Mischwasserzufluss $Q_m$			570 m <sup>3</sup> /h	
max. Mischwasserzufluss $Q_{m,max}$			850 m <sup>3</sup> /h	

Abwassereigenschaften	Parameter	gemessen	Bemerkung
DOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>DOC</sub>	15,2 mg DOC / l	(Mittel 2015 Überwachung)
Bromidkonzentration			keine Angaben
Standortspez. Spurenstoffe			keine Auffälligkeiten
Voraussetzung: stabile Nitrifikation (keine Oxidation Nitrit zu Nitrat)			erfüllt
Voraussetzung: niedrige AFS Konzentrationen im Ablauf Nachklärung			erfüllt

##### Auslegung Mikroschadstoffelimination mit Ozon

Ozonerzeugung	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Maximale Ozonmenge:	Z <sub>spez.</sub>	0,6 – 0,9 g O <sub>3</sub> / g DOC	<b>0,75 mg O<sub>3</sub>/mg DOC</b>	(mittl. Ausl.wert, entspr. Empf. [1])
TOC Konzentration Zulauf Verfahrensstufe:	C <sub>DOC</sub>		15,2 mg DOC / l	(Mittel TOC 2015 Überwachung)
erforderliche Ozonkonzentration	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez.</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>11,4 mg O<sub>3</sub> / l</b>	
gewählte Ozonkonzentration / Dosierrate	C <sub>O3</sub> = Z <sub>spez.</sub> x C <sub>DOC</sub>		<b>12 mg O<sub>3</sub> / l</b>	
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem.</sub> = Q <sub>T,h,max</sub>		<b>285 m<sup>3</sup>/h</b>	Spitzenwassermenge Trockenwetter (Auslegung gem.: [1])
minimale Auslegungswassermenge	Q <sub>T,2h,min</sub>		35 m <sup>3</sup> /h	Minimale Trockenwetter Wassermenge
Maximale Ozon Produktionskapazität	B <sub>O3,max</sub> = Q <sub>Bem.</sub> x C <sub>O3</sub>		<b>3,28 kg O<sub>3</sub>/h</b>	
Maximale Ozon Produktionskapazität			<b>78,66 kg O<sub>3</sub>/d</b>	
Mittlere Ozon Produktion	B <sub>O3,mittel</sub> = Q <sub>T,mittel</sub> x C <sub>O3</sub>		1,97 kg O <sub>3</sub> /h	
Mittlere Ozon Produktion			47,2 kg O <sub>3</sub> /d	
Minimale Ozon Produktion	B <sub>O3,min</sub> = Q <sub>T,2h,min</sub> x C <sub>O3</sub>		0,4 kg O <sub>3</sub> /h	
Minimale Ozon Produktion			9,66 kg O <sub>3</sub> /d	
Jährliche Ozon Produktion			17.227 kg O <sub>3</sub> /a	
Jährlicher Sauerstoff Bedarf			<b>172.265 kg O<sub>2</sub>/a</b>	
Ozonerzeugung über technischen Sauerstoff				LOX

### 13. Anhang

<b>Wahl Ozonerzeuger</b>				
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> Produktgas	M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>	
Anzahl Generatoren	n		1	
max. Leistung Generator			<b>3,34 kg O<sub>3</sub>/h</b>	
Leistung Generator			3,21 kg O <sub>3</sub> /h	
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			22,4 Nm <sup>3</sup> /h	
O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub> Gasdurchsatz			21,7 Nm <sup>3</sup> /h	
Kühlwasserbedarf			9,1 m <sup>3</sup> /h	
Spez. Energiebedarf Konverter			9,9 kWh/kg	
Energiebedarf gesamter Konverter			31,8 kW	

Ozonreaktor	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss	t <sub>OR</sub>	15 - 30 min	<b>20 min</b>	
Ozonzehrung	t <sub>Zehrung O<sub>3</sub></sub>		10 min	Literaturwert(alt. Batchversuch)
maximale Auslegungswassermenge	Q <sub>Bem. = Q<sub>T,h,max</sub></sub>		285 m <sup>3</sup> /h	Spitzenwassermenge Trockenwetter
erf. Ozonreaktor Volumen (Ansatz Aufenthaltszeit)	V <sub>OR</sub>		95 m <sup>3</sup>	
erf. Volumen Bereich Ausgasung	V <sub>Gas</sub>		48 m <sup>3</sup>	
Summe erforderliches Reaktorvolumen	V <sub>ges., erf.</sub>		143 m <sup>3</sup>	
Reaktorvolumen (Ansatz Ozonzehrung [12])	V = Q <sub>Bem</sub> X t <sub>Zehrung</sub> /0,35		136 m <sup>3</sup> /h	0,35 = Faktor zur Berücksichtigung
<b>gesamtes Reaktorvolumen gewählt:</b>	V <sub>ges.</sub>		<b>150 m<sup>3</sup></b>	entspricht Aufenthaltszeit von ges. min. 31 min
Tiefe Ozonreaktor	h		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A <sub>OR</sub>		19 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR</sub>		1 (2)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR</sub>		6,3 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR</sub>		3,2 m	
Volumen Ozonreaktor gewählt	V <sub>OR,gew.</sub>		100 m <sup>3</sup>	
Oberfläche Ozonreaktor gewählt	A <sub>OR,gew.</sub>		20 m <sup>2</sup>	
Tiefe Ozonreaktor-Ausgasung	h <sub>OR-A</sub>		5 m	
erf. Oberfläche ges.	A <sub>OR-A,gew.</sub>		10 m <sup>2</sup>	
Anzahl Becken (Kammern)	n <sub>OR-A</sub>		1 (1)	
Länge gewählt (je Becken)	L <sub>OR-A</sub>		3,15 m	
Breite gewählt (je Becken)	B <sub>OR-A</sub>		3,2 m	
Volumen Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	V <sub>OR-A,gew.</sub>		50 m <sup>3</sup>	
Oberfläche Ozonreaktor-Ausgasung gewählt	A <sub>OR-A,gew.</sub>		10 m <sup>2</sup>	

## 13. Anhang

Ozoneintrag	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
<b>Diffusor:</b>				
Eintragstiefe		> 5 m	5 m	
Ozonkonzentration Produktgas	CO <sub>3</sub> , Produktgas	0M. %, entspr. 148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	148 gO <sub>3</sub> /Nm <sup>3</sup>	
Max einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub></sub> , max.)	BO <sub>3</sub> , max / CO <sub>3</sub> , Produktgas		22 m <sup>3</sup> /h	< max. Diffusorsystem
Min einzutr. Ozon-Sauerstoffgasvolumenstrom (Q <sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub></sub> , min.)	BO <sub>3</sub> , min / CO <sub>3</sub> , Produktgas		3 m <sup>3</sup> /h	> min. Diffusorsystem

Sauerstoffbedarf	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
spez. Sauerstoffbedarf /LOX			10 kgO <sub>2</sub> /kgO <sub>3</sub>	
maximale Menge O <sub>2</sub>			32,78 kg O <sub>2</sub> /h	
maximale Menge O <sub>2</sub>			787 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			19,67 kg O <sub>2</sub> /h	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			472 kg O <sub>2</sub> /d	
mittlere Menge O <sub>2</sub>			172.265 kg O <sub>2</sub> /a	

Zulaufpumpwerk	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Auslegung Zulaufpumpwerk			80 l/s	

Schönungsteich	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
<b>Aufenthaltszeit</b>			0,9 d	mittlerer TW Zufluss
Vorhandenes Volumen			3.550 m <sup>3</sup>	Ist

## Auslegung Dyna-Sand Filtration

Dyna-Sand Filtration	Parameter	Auslegungsbereich	gewählt / berechnet	Bemerkung
Filtereinbauteile Typ DS 5000 E			4	
Filterfläche je Einbauteil			5 m <sup>2</sup>	
Filterfläche gesamt			20 m <sup>2</sup>	
Oberflächenbelastung			14,25 m/h	
Spülwassermenge			18 m <sup>3</sup> /h	
Druckluftbedarf			11,5 Nm <sup>3</sup> /h	
Sand (Körnung: 1 – 2 mm)			16 t/Filter	
Gesamtmenge Sand			64 t	
Volumen – Betonbauwerk (B x L x H)			132, m <sup>3</sup>	4,9 m x 4,9 m x 5,5 m
Anbau masch. Technik			ca. 50 m <sup>3</sup>	

### **13.3 Kostenannahme**

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung),
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe, nachgeschalteter Scheibentuchfilter
- Variante 2.1 GAK - Dyma-Sand Carbon Filtration
- Variante 2.2 GAK - Festbett-Adsorber,
- Variante 2.3 GAK - Automatischer Schwerkräftfilter
- Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich
- Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Zusammenfassung Jahreskosten, Investitionskosten, Betriebskosten

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

**Variante 1.1 - PAK in Belebung**

**Kostenannahme - Investitionskosten** (netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.1.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.1.2	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.1.3	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	5.000 €	5.000 €
1.1.4	Straßen, Wege	50	m <sup>2</sup>	100 €	5.000 €
1.1.5	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>60.000 €</b>
	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>60.000 €</b>
<b>1.2</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.2.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		4.200 €
<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>64.200 €</b>
<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Rohrleitungen</b>				
2.1.1	Dosierleitungen PAK	50	m	100 €	5.000 €
	<b>Summe 2.1: Rohrleitungen</b>	1	psch.	300.000 €	<b>5.000 €</b>
<b>2.2</b>	<b>PAK-Silo</b>				
2.2.1	PAK Silo 50 m <sup>3</sup> mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	150.000 €	150.000 €
2.2.2	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo</b>				<b>155.000 €</b>
<b>2.3</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.3.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>5.000 €</b>
<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>165.000 €</b>

13. Anhang

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
3.1.2	Blitzschutz	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>30.000 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>30.000 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>64.200 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinenteknik Kosten</b>				<b>165.000 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>30.000 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>259.200 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				51.840 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>311.040 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				59.098 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>370.138 €</b>



## 13. Anhang

**Variante 1.1 - PAK in Belebung**
**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				64.200 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				165.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				30.000 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>259.200 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				642 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				4.950 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				600 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>6.192 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	44.895 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	30 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>44.895 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,15 €/kWh	1.314 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>2.814 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	30 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		45,00 €/t	100.527 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>100.527 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	20 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,13 Stelle			
	Personalkosten	0,13 Stelle		45.000 €/Stelle	5.625 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>5.625 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				6.192 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				44.895 €/a
	Summe Energiebedarf				2.814 €/a
	Summe Schlammensorgung				100.527 €/a
	Summe Personalkosten				5.625 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>160.053 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				30.410 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>190.463 €</b>

## 13. Anhang

**Variante 1.1 - PAK in Belebung**
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	35.916 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>35.916 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.979 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	15 mg/l	1500 €/t	33.671 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>33.671 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-11.224 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>2.626 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-188 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		30 €/t	67.018 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>67.018 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-33.509 €/a</b>

13. Anhang
 

---

**Variante 1.1 - PAK in Belebung**
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	53.874 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>53.874 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>8.979 €/a</b>

2	Verbrauchsstoffe				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	30 mg/l	1500 €/t	67.343 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>67.343 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.448 €/a</b>

3	Energiebedarf				
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,25 €/kWh	2.190 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>4.690 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>1.876 €/a</b>

4	Schlammensorgung (Verbrennung)				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		60 €/t	134.036 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>134.036 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>33.509 €/a</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Kostenannahme - Investitionskosten** (netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.2	Zulauf Dyna-Sand Reaktor: Zwischenpumpwerk - Dyna-Sand Reaktor, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.3	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Schönungsteich, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.6	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>95.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	261	m <sup>3</sup>	1.000 €	261.000 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>283.000 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>20.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m <sup>2</sup>	100 €	40.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>82.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>480.500 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang
 

---

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		33.635 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>514.135 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 8 Stk.	1	psch.	150.000 €	150.000 €
	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.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 2.1: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>200.000 €</b>

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

<b>2.3</b>	<b>PAK-Silo</b>				
2.3.1	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	150.000 €	150.000 €
2.3.2	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.3: PAK-Silo</b>				<b>155.000 €</b>

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

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>395.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang

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

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>60.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>514.135 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>395.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>60.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>970.135 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				194.027 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.164.162 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				221.191 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.385.353 €</b>



## 13. Anhang

**Variante 1.1.b - PAK in Belebung und Dyna-Sand Filtration**
**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	Jährliche Abwassermenge - Mischwasser	1.700.000 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				514.135 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				395.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>970.135 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.141 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				11.865 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.210 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>18.216 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	44.895 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	30 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sand	128 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	1.280 €/a
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>46.175 €/a</b>




 13. Anhang
 

---

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.700.000 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,15 €/kWh	6.375 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,15 €/kWh	1.807 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,15 €/kWh	1.314 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>10.996 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	30 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		45,00 €/t	100.527 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>100.527 €/a</b>

13. Anhang

---

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

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				18.216 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				46.175 €/a
	Summe Energiebedarf				10.996 €/a
	Summe Schlammentsorgung				100.527 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>187.164 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				35.561 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>222.725 €</b>

## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	35.916 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>35.916 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.979 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	15 mg/l	1500 €/t	33.671 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>33.671 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-11.224 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,14 €/kWh	5.950 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>10.263 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-733 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		30 €/t	67.018 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>67.018 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlere Kostenannahme</b>				<b>-33.509 €/a</b>

## 13. Anhang

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

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	53.874 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>53.874 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>8.979 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	30 mg/l	1500 €/t	67.343 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>67.343 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.448 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,25 €/kWh	10.625 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,25 €/kWh	3.011 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,25 €/kWh	2.190 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>18.326 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>7.331 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		60 €/t	134.036 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>134.036 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>33.509 €/a</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

**Variante 1.1.c - PAK in Belegung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Scheibentuchfilter: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.2	Zulauf Scheibentuchfilter: Zwischenpumpwerk - Scheibentuchfilter, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.3	Ablauf Scheibentuchfilter: SF - Schönungsteich, DN 500	15	m	700 €	10.500 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Schlammwasser Scheibentuchfilter, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.6	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>95.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	121,5	m³	1.200 €	145.800 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>167.800 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Scheibentuchfilter Technik, EMSR	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>20.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.5	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m²	100 €	40.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>82.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>365.300 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang
 

---

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		25.571 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>390.871 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Scheibentuchfilter</b>				
2.1.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF18/90, 18 Filterscheiben	1	psch.	240.000 €	240.000 €
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	pach.	3.000 €	3.000 €
	<b>Summe 2.2: Tuchfiltration</b>				<b>243.000 €</b>

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

<b>2.3</b>	<b>PAK-Silo</b>				
2.3.1	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	150.000 €	150.000 €
2.3.2	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo</b>				<b>155.000 €</b>

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

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>438.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang

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

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>60.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>390.871 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>438.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>60.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>889.871 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				177.974 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.067.845 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				202.891 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.270.736 €</b>

## 13. Anhang

**Variante 1.1.c - PAK in Belegung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**
**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	Jährliche Abwassermenge - Mischwasser	1.700.000 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				390.871 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				438.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				60.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>889.871 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.909 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				13.155 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.210 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>18.274 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	44.895 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	30 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sand		0,2 Füllung/a	50 €/t	
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	46.843 €/Tuchwechsel	11.711 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>56.606 €/a</b>



## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.700.000 m <sup>3</sup> /a	5 W/m <sup>3</sup> *m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,15 €/kWh	6.375 €/a
	<b>Energiekosten Scheibentuchfilter</b>				
	Filterantrieb	0,9 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,15 €/kWh	74 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,3 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,15 €/kWh	177 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,15 €/kWh	59 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM				
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m <sup>3</sup> *m	0,15 €/kWh	1.314 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>9.499 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	30 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)				
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		45,00 €/t	100.527 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>100.527 €/a</b>

13. Anhang

---

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

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				18.274 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				56.606 €/a
	Summe Energiebedarf				9.499 €/a
	Summe Schlammensorgung				100.527 €/a
	Summe Personalkosten				8.438 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>193.343 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				36.735 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>230.079 €</b>

## 13. Anhang

**Variante 1.1.c - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1200 €/t	35.916 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>35.916 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.979 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	15 mg/l	1500 €/t	33.671 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>33.671 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-11.224 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,14 €/kWh	5.950 €/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
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m³*m	0,14 €/kWh	1.226 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>8.866 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-633 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		30 €/t	67.018 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>67.018 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-33.509 €/a</b>

## 13. Anhang

**Variante 1.1.c - PAK in Belebung und Polstoff-Scheibentuchfiltration**
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1800 €/t	53.874 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>53.874 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>8.979 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	30 mg/l	1500 €/t	67.343 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>67.343 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.448 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	42.500 kWh/a		0,25 €/kWh	10.625 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	492,8 kW/a		0,25 €/kWh	123 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,25 €/kWh	296 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,25 €/kWh	99 €/a
	Dosierpumpen PAK Pumpkosten	8.760 kWh/a	5 W/m²*m	0,25 €/kWh	2.190 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>15.832 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>6.333 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2234 t/a		60 €/t	134.036 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>134.036 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>33.509 €/a</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Kontaktreaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
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 - Schönungsteich, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.6	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	200	m	250 €	50.000 €
1.1.8	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.9	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>156.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	150	m³	500 €	75.000 €
1.2.5	Absetzbecken	578	m³	350 €	202.300 €
1.2.6	Dyna-Sand-Reaktor	132	m³	1.000 €	132.000 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>471.300 €</b>

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

## 13. Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
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	500	m <sup>2</sup>	100 €	50.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>142.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>809.800 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		56.686 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>866.486 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

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

13. Anhang
 

---

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 4 Stk.	1	psch.	80.000 €	80.000 €
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.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>120.000 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>102.500 €</b>

<b>2.4</b>	<b>PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				
2.4.1	FHM Lager und Dosierstation	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
2.4.2	Dosierstation Fällmittel (Ergänzung)	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
2.4.3	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	150.000 €	150.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				<b>200.000 €</b>

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

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>517.000 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang
 

---

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 300	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>107.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>107.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>866.486 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>517.000 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>107.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.490.986 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				298.197 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.789.183 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				339.945 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.129.128 €</b>



## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				866.486 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				517.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.490.986 €</b>
<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				8.665 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				15.510 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.150 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>26.325 €/a</b>
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	973 €/a
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	748 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	22.448 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>24.808 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	5.612 €/a
	<b>PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,15 €/kWh	1.684 €/a
	<b>PAK-Entnahmepumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	2,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	3,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	9.977 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,15 €/kWh	22 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³*m	0,15 €/kWh	1.840 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,15 €/kWh	1.807 €/a
	<b>Räumer</b>	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,15 €/kWh	263 €/a
	<b>Rührwerk</b>				
	Beckenvolumen	150 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,15 €/kWh	1.971 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>14.698 €/a</b>

13. Anhang
 

---

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a	45,00 €/t		101.200 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>101.200 €/a</b>

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

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				26.325 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				24.808 €/a
	Summe Energiebedarf				14.698 €/a
	Summe Schlammensorgung				101.200 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>178.282 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				33.874 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>212.155 €</b>

## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	17.958 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>17.958 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.490 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	17.958 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>17.958 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.490 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,14 €/kWh	5.238 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,14 €/kWh	1.571 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,14 €/kWh	21 €/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
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>13.718 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-980 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		30 €/t	67.467 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>67.467 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-33.733 €/a</b>

## 13. Anhang

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

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	26.937 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>26.937 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>4.490 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	44.895 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>44.895 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.448 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,25 €/kWh	9.353 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,25 €/kWh	2.806 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,25 €/kWh	37 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,25 €/kWh	3.066 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,25 €/kWh	438 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,25 €/kWh	3.285 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	9.977 kWh/a		0,25 €/kWh	2.494 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>23.980 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>9.282 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		60 €/t	134.934 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>134.934 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>33.733 €/a</b>



## 13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**
**Variante 1 - Mikroschadstoffelimination mit Pulveraktivkohle (PAK)**
**Variante 1.2.b - PAK in adsorptive Reinigungsstufe, Scheibentuchfiltration**
**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Kontaktreaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.2	Zulauf Kontaktreaktor: Zwischenpumpwerk - Kontaktreaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.3	Zulauf Absetzbecken: Kontaktreaktor-Absetzbecken, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Absetzbecken -Filter, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.5	Ablauf - Filter - Schönungsteich, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.6	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.7	Leitungen Rücklaufschlamm Kohle, PE-HD DN 300	200	m	250 €	50.000 €
1.1.8	Ablaufleitung Schlammwasser, Filtrat - Tuchfilter, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.9	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>156.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	150	m³	500 €	75.000 €
1.2.5	Absetzbecken	578	m³	350 €	202.300 €
1.2.6	Tuchfilter-Reaktor/ Becken	80	m³	1.200 €	96.000 €
1.2.7	Schacht Pumpwerk Rücklaufschlammkohle, Überschussschlamm	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
1.2.8	MID-Schacht (Zulauf, RS-Kohle)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>435.300 €</b>

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



## 13. Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente PAK-Silo	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.2	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
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	500	m <sup>2</sup>	100 €	50.000 €
1.4.7	Erstbefüllung PAK Silo	25	t	1.400 €	35.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>142.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>773.800 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		54.166 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>827.966 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

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

<b>2.1</b>	<b>Scheibentuchfilter</b>				
2.2.1	Scheibentuchfiltereinbauteil, SF9/45, 9 Filterscheiben	1	psch.	170.000 €	170.000 €
2.2.2	Prallwand, Tauchwand				enthalten
2.2.3	Filterreinigungssystem				enthalten
2.2.4	Filterantrieb				enthalten
2.2.5	Sammelleitung				enthalten
2.2.6	Wartungspodest				enthalten
2.2.7	Abspritzlanze				enthalten
2.2.8	Kran - Montage	1	pach.	3.000 €	3.000 €
	<b>Summe 2.2: Tuchfiltration</b>				<b>173.000 €</b>



## 13. Anhang

<b>2.3</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.3.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	7.500 €	45.000 €
2.3.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	20.000 €	20.000 €
2.3.3	Rücklaufkohle-Schlammumpen	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.3.4	ÜS-Kohle-Schlammumpen	3	Stk.	5.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>102.500 €</b>

<b>2.4</b>	<b>PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				
2.4.1	FHMLager und Dosierstation	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
2.4.2	Dosierstation Fällmittel (Ergänzung)	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
2.4.3	PAK Silo 50 m³ mit Dosiereinheit, Steuerung	1	Stk.	150.000 €	150.000 €
2.4.4	Dokumentation, Inbetriebnahme	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.4: PAK-Silo, Dosieranlagen</b>				<b>200.000 €</b>

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

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>570.000 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, PAK Anlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	SAK Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.3	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.4	MID DN 400, DN 300	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
3.1.5	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.6	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Tuchfilter Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>107.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>107.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	------------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>827.966 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>570.000 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>107.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.505.466 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				301.093 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.806.559 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				343.246 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>2.149.805 €</b>



## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				827.966 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				570.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				107.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.505.466 €</b>
<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				8.280 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				17.100 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				2.150 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>27.530 €/a</b>
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	973 €/a
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	748 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	22.448 €/a
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sand		0,2 Füllung/a	50 €/t	
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	Filtertücher		0,25 Ersatztuch/a	23.419 €/Tuchwechsel	5.855 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>30.023 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	5.612 €/a
	<b>PAK-Rezirkulationspumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Verluste	0,5 m			
	PAK-Rezirkulationspumpwerk - Manometrische Förderhöhe	1,5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,15 €/kWh	1.684 €/a
	<b>PAK-Entnahmepumpwerk - Förderhöhe</b>	1 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Verluste	2,0 m			
	PAK-Entnahmepumpwerk - Manometrische Förderhöhe	3,0 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	9.977 m³/a	5 W/m³*m		
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,15 €/kWh	22 €/a
	<b>Dosierpumpen PAK</b>	1 kW			
	Dosierpumpen FHM, FM	0,4 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a	5 W/m³*m	0,15 €/kWh	1.840 €/a
	<b>Räumer</b>	0,2 kW			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,15 €/kWh	263 €/a
	<b>Rührwerk</b>				
	Beckenvolumen	150 m³			
	Energieeintrag	10 W/m³			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,15 €/kWh	1.971 €/a



## 13. Anhang

	<b>Energiekosten Scheibentuchfilter</b>				
	Filterantrieb	1,1 h/d	1,5 kW		
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,15 €/kWh	90 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,6 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,15 €/kWh	177 €/a
	Filterabsaugpumpen (Stk.), Bodenschlammumpen (2 Stk.)	0,1 h/d	1,8 kW/Stk.		
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,15 €/kWh	59 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>13.218 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		45,00 €/t	101.200 €/a
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>101.200 €/a</b>

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

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				27.530 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				30.023 €/a
	Summe Energiebedarf				13.218 €/a
	Summe Schlammensorgung				101.200 €/a
	Summe Personalkosten				11.250 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>183.221 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				34.812 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>218.033 €</b>

## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1200 €/t	17.958 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>17.958 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.490 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	8 mg/l	1500 €/t	17.958 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>17.958 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-4.490 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,14 €/kWh	5.238 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,14 €/kWh	1.571 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,14 €/kWh	21 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,14 €/kWh	1.717 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,14 €/kWh	245 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,14 €/kWh	1.840 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,14 €/kWh	84 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,14 €/kWh	166 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,14 €/kWh	55 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>12.337 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-881 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		30 €/t	67.467 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>67.467 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-33.733 €/a</b>

## 13. Anhang

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

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1800 €/t	26.937 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>26.937 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>4.490 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	20 mg/l	1500 €/t	44.895 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>44.895 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>22.448 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,25 €/kWh	9.353 €/a
	PAK-Rezirkulationspumpwerk Pumpkosten	11.224 kWh/a		0,25 €/kWh	2.806 €/a
	PAK-Entnahmepumpwerk Pumpkosten	150 kWh/a		0,25 €/kWh	37 €/a
	Dosierpumpen Pumpkosten	12.264 kWh/a		0,25 €/kWh	3.066 €/a
	Räumer - Energiebedarf	1.752 kWh/a		0,25 €/kWh	438 €/a
	Rührwerk - Energiebedarf	13.140 kWh/a		0,25 €/kWh	3.285 €/a
	Filterantrieb - Energieverbrauch	602,3 kW/a		0,25 €/kWh	151 €/a
	Filterabsaugpumpen - Energieverbrauch	1182,6 kW/a		0,25 €/kWh	296 €/a
	Bodenschlammumpen - Energieverbrauch	394,2 kW/a		0,25 €/kWh	99 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>22.030 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>8.812 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlamm Entsorgung (Verbrennung)</b>				
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		60 €/t	134.934 €/a
	<b>Summe Schlamm Entsorgung</b>				<b>134.934 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>33.733 €/a</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf DSC-Reaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	25	m	500 €	12.500 €
1.1.2	Zulauf DSC-Reaktor: Zwischenpumpwerk - DSC-Reaktor, DN 400	5	m	500 €	2.500 €
1.1.3	Ablauf - Dyna-Sand-Carbon Filter - Schönungsteich, DN 400	10	m	500 €	5.000 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand-Carbon Anlage, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.6	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>84.000 €</b>
<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	261	m³	1.000 €	261.000 €
1.2.5	MID-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>283.000 €</b>
<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle - GAK, Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	50.000 €	50.000 €
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>
<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.2	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	7.500 €	7.500 €
1.4.3	Kabeltrassen, Kabelschächte	1	psch.	10.000 €	10.000 €
1.4.4	Geländer, Abdeckungen, Treppen, Bediensteg (zusätzl.)	1	psch.	15.000 €	15.000 €
1.4.5	Straßen, Wege	450	m²	100 €	45.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>85.000 €</b>
	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>502.000 €</b>

13. Anhang
 

---

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		35.140 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>537.140 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
2.1	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.1.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 D, 6 Stk.	1	psch.	<b>240.000 €</b>	240.000 €
2.1.2	Druckluftsteuerschrank				enthalten
2.1.3	Aktivkohlelieferung (52 t)				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.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>285.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpe	3	Stk.	7.500 €	22.500 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>32.500 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>7.500 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>325.000 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang
 

---

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	SAK Messung	2	Stk.	20.000 €	40.000 €
3.1.2	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	MID DN 400	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozessleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>92.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>92.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>537.140 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>325.000 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>92.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>954.640 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				190.928 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.145.568 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				217.658 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.363.226 €</b>



## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				537.140 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				325.000 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				92.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>954.640 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.371 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				9.750 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.850 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>16.971 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	52 t/a	1,4 Füllung/a	1300 €/t	94.640 €/a
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>94.640 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,15 €/kWh	6.734 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,15 €/kWh	1.807 €/a
	<b>Sonstiges (Meßtechnik etc.)</b>	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>10.041 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		45,00 €/t	
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>0 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	20 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,13 Stelle			
	Personalkosten	0,13 Stelle		45.000 €/Stelle	5.625 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>5.625 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				16.971 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				94.640 €/a
	Summe Energiebedarf				10.041 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				5.625 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>127.277 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				24.183 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>151.460 €</b>

13. Anhang

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

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	52 t/a	1,4 Füllung/a	1100 €/t	80.080 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>80.080 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-14.560 €/a</b>

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	52 t/a	1,09 Füllung/a	1300 €/t	73.414 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>73.414 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-21.226 €/a</b>

3	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,14 €/kWh	6.285 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>9.372 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-669 €/a</b>

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

**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	52 t/a	1,4 Füllung/a	1600 €/t	116.480 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>116.480 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>21.840 €/a</b>

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	52 t/a	2,02 Füllung/a	1300 €/t	136.340 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>136.340 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>41.700 €/a</b>

3	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,25 €/kWh	11.224 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,25 €/kWh	3.011 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>16.735 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>6.694 €/a</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

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

**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Festbett-Filter: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	25	m	500 €	12.500 €
1.1.2	Zulauf Festbett-Filter: Zwischenpumpwerk - Festbett-Filter, DN 400	5	m	500 €	2.500 €
1.1.3	Ablauf - Festbettfilter - Schönungsteich, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Zulaufleitung Waschwasser Festbettfilter	25	m	300 €	7.500 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Festbettfilter, PE-HD DN 200	160	m	200 €	32.000 €
1.1.7	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>96.000 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	MID-Schacht (Zulauf)	2	Stk.	5.000 €	10.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>37.000 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle, Container - GAK, Festbettfilter Technik, EMSR	1	psch.	30.000 €	30.000 €
1.3.2	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>30.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Fundament Festbettfilter	1	psch.	15.000 €	15.000 €
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.	15.000 €	15.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	400	m <sup>2</sup>	100 €	40.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Adsorber	51,4	t	1.300 €	66.820 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>161.320 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>324.320 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------



## 13. Anhang

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		22.702 €

<b>1</b>	<b>Summe Baukosten:</b>				<b>347.022 €</b>
----------	-------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Schwerkraftfilter</b>				
2.1.1	Festbettfilter 2 Stk.	2	Stk.	100.000 €	200.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>225.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumpwerk, Spülwasserpumpwerk	6	Stk.	5.000 €	30.000 €
2.2.2	Gebälse	2	Stk.	7.500 €	15.000 €
2.2.3	Armaturen, Schieber	1	psch.	15.000 €	15.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>60.000 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.3.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>292.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	SAK Messung	2	Stk.	20.000 €	40.000 €
3.1.2	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	MID DN 400, DN 300	2	Stk.	10.000 €	20.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Festbettfilter	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>97.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>97.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>347.022 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>292.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>97.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>737.022 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				147.404 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>884.427 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				168.041 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.052.468 €</b>

13. Anhang

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

**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				347.022 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				292.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				97.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>737.022 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.470 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				8.775 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.950 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>14.195 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	51,4 t/a	1,4 Füllung/a	1300 €/t	93.548 €/a
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>93.548 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	<b>Zwischenpumpwerk - Förderhöhe</b>	5 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	6 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,15 €/kWh	6.734 €/a

## 13. Anhang

	<b>Spülwasserpumpen</b> - 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		0,15 €/kWh	237 €/a
	<b>Spülluftgebläse</b>	10,0 kW			
	Laufzeit pro Tag	0,5 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,15 €/kWh	274 €/a
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>8.745 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		45,00 €/t	
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>0 €/a</b>

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	20 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,13 Stelle			
	Personalkosten	0,13 Stelle		45.000 €/Stelle	5.625 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>5.625 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				14.195 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				93.548 €/a
	Summe Energiebedarf				8.745 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				5.625 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>122.113 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				23.201 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>145.314 €</b>

## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	51,4 t/a	1,4 Füllung/a	1100 €/t	79.156 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>79.156 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-14.392 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	51,4 t/a	1,10 Füllung/a	1300 €/t	73.255 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>73.255 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-20.293 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,14 €/kWh	6.285 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,14 €/kWh	256 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,14 €/kWh	221 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>8.162 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-583 €/a</b>

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

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	51,4 t/a	1,4 Füllung/a	1600 €/t	115.136 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>115.136 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>21.588 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)	51,4 t/a	2,0 Füllung/a	1300 €/t	136.046 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>136.046 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>42.498 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	44.895 kWh/a		0,25 €/kWh	11.224 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	1.825 kWh/a		0,25 €/kWh	456 €/a
	Spälwasserpumpen	1.577 kWh/a		0,25 €/kWh	394 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>14.574 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>5.830 €/a</b>



13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

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

**Variante 2.3 - GAK in automatischem Schwerkrafftfilter**

**Kostenannahme - Investitionskosten (netto)**

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Schwerkrafftfilter: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	25	m	500 €	12.500 €
1.1.2	Zulauf Schwerkrafftfilter: Zwischenpumpwerk - Schwerkrafftfilter, DN 400	5	m	500 €	2.500 €
1.1.3	Ablauf - Schwerkrafftfilter - Schönungsteich, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Ablaufleitung Waschwasser Schwerkrafftfilter, PE-HD DN 200	160	m	200 €	32.000 €
1.1.6	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>88.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	MD-Schacht (Zulauf)	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>22.000 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle - PAK, Schwerkrafftfilter Technik, EMSR, FHM	1	psch.	40.000 €	40.000 €
1.3.2	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>40.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundament Raumzelle	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Fundament Schwerkrafftfilter	1	psch.	15.000 €	15.000 €
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.	20.000 €	20.000 €
1.4.6	Straßen, Wege	450	m <sup>2</sup>	100 €	45.000 €
1.4.7	Erstbefüllung Schwerkrafftfilter	10,1	t	1.400 €	14.140 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>118.640 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>269.140 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

## 13. Anhang

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		18.840 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>287.980 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Schwerkraftfilter</b>				
2.1.1	Schwerkraftfilter (Prominten) SK 27, 6 Stk.	6	Stk.	50.000 €	300.000 €
2.1.2	Fracht, Montage, Inbetriebnahme, Dokumentation	1	pach.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>325.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen Zwischenpumperke	6	Stk.	5.000 €	30.000 €
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
	<b>Summe 2.3: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>40.000 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.3.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>372.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	SAK Messung	2	Stk.	20.000 €	40.000 €
3.1.2	TS Messung	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
3.1.3	MID DN 400	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
3.1.4	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.5	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Schwerkraftfilter	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>87.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>87.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>287.980 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>372.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>87.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>747.980 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				149.596 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>897.576 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				170.539 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.068.115 €</b>

13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**

**Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren**

**Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich**

**Kostenannahme - Investitionskosten (netto)**

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Ozonreaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.3	Ablauf Ozonreaktor: Ozonreaktor - Schönungsteich, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.5	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	20.000 €	20.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>56.500 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	Ozonreaktor	150	m³	650 €	97.500 €
1.2.5	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>119.500 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	1	psch.	30.000 €	<b>30.000 €</b>

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente Silo, Kühler	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Sauerstofftank - Miettank (in O2-Lieferung enthalten)	1	psch.	0 €	0 €
1.4.3	Fundament Fertigcontainer	1	psch.	7.000 €	7.000 €
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	1	psch.	18.000 €	18.000 €
1.4.7	Straßen, Wege	450	m²	100 €	45.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>97.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>303.000 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang
 

---

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		21.210 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>324.210 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Ozonerzeugeranlage</b>				
2.1.1	Ozongenerator				
	Ozoneintragssystem - 15 Diffusorensysteme, autom. Gasverteilung				
	Stickstoffdotierung, Kompressor				
	Restozonvernichter				
	Kühlwasser Versorgung.				
	Verbindende Rohrleitungen				
	Transport, Inbetriebnahme				
	<b>Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage</b>	<b>1</b>	<b>psch.</b>	<b>300.000 €</b>	<b>300.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				
2.2.1	Pumpen	3	Stk.	7.500 €	<b>22.500 €</b>
2.2.2	Armaturen, Schieber	1	psch.	10.000 €	10.000 €
2.2.3	Umlegung Meßstelle Ablauf KA, Ablauf Schönungsteich	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 2.2: Zwischenpumpwerk, Schächte</b>				<b>32.500 €</b>

<b>2.3</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.3.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		<b>5.000 €</b>

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>337.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

13. Anhang

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozessleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	40.000 €	40.000 €
3.1.2	Ozon-, Sauerstoff-Umgebungsmessung				in 2.1 enthalten
3.1.3	C(O3) - Messung Abgas				in 2.1 enthalten
3.1.4	DOC Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.5	Lokale SPS				in 2.1 enthalten
3.1.6	MID DN 400	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
3.1.7	Blitzschutz	1	psch.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>75.000 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>75.000 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>324.210 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>337.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>75.000 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>736.710 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				147.342 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>884.052 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				167.970 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.052.022 €</b>

## 13. Anhang

**Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich**
**Kostenannahme - Betriebskosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				324.210 €
	Summe Maschinentechnik Kosten:				337.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				75.000 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>736.710 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				3.242 €/a
	Maschinentechnik Kosten (3% von Investitionskosten)				10.125 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.500 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>14.867 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	34.453 €/a
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>34.453 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	5.612 €/a
	<b>Ozonng</b>				
	Auslegung Fa. Ozonung (Diff. Auslegung/Ist)	287.382 kWh/a			
	Differenz Auslegung		86%		
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,15 €/kWh	37.072 €/a
	spez. Energiebedarf	14 kWh/kgO3			
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>44.184 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		45,00 €/t	
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>0 €/a</b>

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

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				14.867 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				34.453 €/a
	Summe Energiebedarf				44.184 €/a
	Summe Schlammensorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				8.438 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>101.942 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				19.369 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>121.311 €</b>

## 13. Anhang

**Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	172.265 kgO <sub>2</sub> /a		150 €/t	25.840 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>25.840 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.613 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (8 mgO <sub>3</sub> /l)	119.837 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	23.967 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>23.967 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-10.486 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,14 €/kWh	5.238 €/a
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,14 €/kWh	34.601 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>41.239 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-2.946 €/a</b>

**Variante 3.1 - Ozonung und Schönungsteich**  
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Mehrkosten**

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	172.265 kgO <sub>2</sub> /a		300 €/t	51.680 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>51.680 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>17.227 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (16 mgO <sub>3</sub> /l)	239.674 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	47.935 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>47.935 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>13.482 €/a</b>

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,25 €/kWh	9.353 €/a
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,25 €/kWh	61.787 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>73.640 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>29.456 €/a</b>





## 13. Anhang

**Kläranlage Verl - West**
**Variante 3 - Mikroschadstoffelimination mit oxidativen Verfahren**
**Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**
**Kostenannahme - Investitionskosten**

(netto)

Pos.	Beschreibung	Menge	Einheit	Einheitspreis	Gesamtpreis
<b>1</b>	<b>Baukosten</b>				
<b>1.1</b>	<b>Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				
1.1.1	Zulauf Ozonreaktor: Verteilerbauwerk - Zwischenpumpwerk, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.2	Zulauf Ozonreaktor: Zwischenpumpwerk - Ozonreaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.3	Zulauf Dyna-Sandreaktor: Ozonreaktor - Zwischenpumpwerk-DS-Reaktor, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.4	Ablauf Dyna-Sand-Reaktor: DS - Schönungsteich, DN 400	15	m	500 €	7.500 €
1.1.5	Ablauf Verteilerschacht - Schönungsteich, DN 500	20	m	700 €	14.000 €
1.1.6	Ablaufleitung Waschwasser Dyna-Sand Anlage, PE-HD DN 200	150	m	200 €	30.000 €
1.1.7	Verfüllung Schönungsteich	1	psch.	30.000 €	30.000 €
	<b>Summe 1.1: Rohrleitungen, Kanäle, Erdarbeiten</b>				<b>104.000 €</b>

<b>1.2</b>	<b>Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				
1.2.1	Umbau Schacht Verteilerbauwerk	1	Stk.	2.000 €	2.000 €
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	150	m³	650 €	97.500 €
1.2.5	Dyna-Sand-Reaktor	132	m³	1.000 €	132.000 €
1.2.6	MID-Schacht	1	Stk.	5.000 €	5.000 €
	<b>Summe 1.2: Bauwerke Tiefbau, Schächte</b>				<b>261.500 €</b>

<b>1.3</b>	<b>Bauwerke Hochbau</b>				
1.3.1	Raumzelle / Container - Ozonanlage Technik, EMSR	1	psch.	30.000 €	<b>30.000 €</b>
1.3.2	Raumzelle / Container - Dyna-Sand-Anlage Technik, EMSR	1	psch.	20.000 €	<b>20.000 €</b>
	<b>Summe 1.3: Bauwerke Hochbau:</b>				<b>50.000 €</b>



## 13. Anhang

<b>1.4</b>	<b>Sonstiges</b>				
1.4.1	Fundamente Silo, Kühler	1	psch.	7.000 €	7.000 €
1.4.2	Sauerstofftank - Miettank (in O2-Lieferung enthalten)	1	psch.	0 €	0 €
1.4.2	Fundament Fertigcontainer	2	psch.	7.000 €	14.000 €
1.4.3	Brauch-, Trinkwasseranschluss	1	psch.	10.000 €	10.000 €
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	500	m <sup>2</sup>	100 €	50.000 €
	<b>Summe 1.4 Sonstiges</b>				<b>116.000 €</b>

	<b>Zwischensumme Baukosten:</b>				<b>531.500 €</b>
--	---------------------------------	--	--	--	------------------

<b>1.5</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 7 %	1	psch.		37.205 €

<b>1</b>	<b>Gesamtsumme Baukosten:</b>				<b>568.705 €</b>
----------	-------------------------------	--	--	--	------------------

<b>2</b>	<b>Maschinentechnik Kosten</b>				
<b>2.1</b>	<b>Ozonerzeugeranlage</b>				
2.1.1	Ozongenerator				
2.1.2	Ozoneintragssystem - 15 Diffusorensysteme, autom. Gasverteilung				
2.1.3	Stickstoffdotierung, Kompressor				
2.1.4	Restozonvernichter				
2.1.5	Kühlwasser Versorgung				
2.1.6	Verbindende Rohrleitungen				
2.1.7	Transport, Inbetriebnahme				
	<b>Summe 2.1: Ozonerzeugeranlage</b>	1	psch.	300.000 €	<b>300.000 €</b>

<b>2.2</b>	<b>Dyna-Sand Filtration</b>				
2.2.1	Dyna-Sand Filtereinbauteil, DS 5000 E, 4 Stk.	1	psch.	80.000 €	80.000 €
	Druckluftsteuerschrank				enthalten
	Sandlieferung (64 t)				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.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 2.2: Dyna-Sand Filtration</b>				<b>120.000 €</b>

## 13. Anhang

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

<b>2.4</b>	<b>Baustelleneinrichtung</b>				
2.4.1	Baustelleneinrichtung	1	psch.		7.500 €

<b>2</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten:</b>				<b>482.500 €</b>
----------	---------------------------------------	--	--	--	------------------

<b>3</b>	<b>EMSR Kosten</b>				
<b>3.1</b>	<b>EMSR - Technik</b>				
3.1.1	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Ozonanlage	1	Stk.	30.000 €	30.000 €
3.1.2	Ozon-, Sauerstoff-Umgebungsmessung				in 2.1 enthalten
3.1.3	C(O3) - Messung Abgas				in 2.1 enthalten
3.1.4	DOC Messung	1	Stk.	20.000 €	20.000 €
3.1.5	Lokale SPS				in 2.1 enthalten
3.1.6	MID DN 400	1	Stk.	10.000 €	10.000 €
3.1.7	Blitzschutz	1	psch.	7.500 €	7.500 €
3.1.8	Übergeordnetes SPS-System, Einbindung Prozeßleitsystem, Dyna-Sand Anlage	1	Stk.	25.000 €	25.000 €
	<b>Summe 3.1: EMSR-Technik</b>				<b>92.500 €</b>

<b>3</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten:</b>				<b>92.500 €</b>
----------	-----------------------------------	--	--	--	-----------------

	<b>Kostenzusammenstellung</b>				
<b>1.</b>	<b>Summe Baukosten</b>				<b>568.705 €</b>
<b>2.</b>	<b>Summe Maschinentechnik Kosten</b>				<b>482.500 €</b>
<b>3.</b>	<b>Summe EMSR-Technik Kosten</b>				<b>92.500 €</b>
	<b>Summe Investkosten (netto)</b>				<b>1.143.705 €</b>
	Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)				228.741 €
	<b>Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)</b>				<b>1.372.446 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				260.765 €
	<b>Summe Investkosten (brutto)</b>				<b>1.633.211 €</b>

## 13. Anhang

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

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
	<b>Betriebswerte</b>				
	Jährliche Abwassermenge	1.496.500 m³/a			
	<b>Investitionskosten</b>				
	Gesamtsumme Baukosten:				568.705 €
	Summe Maschinenteknik Kosten:				482.500 €
	Summe EMSR-Technik Kosten:				92.500 €
	<b>Summe Investkosten (ohne sonst. Einmalkosten) netto</b>				<b>1.143.705 €</b>

<b>1</b>	<b>Wartung und Instandhaltung</b>				
	Baukosten (1% von Investitionskosten)				5.687 €/a
	Maschinenteknik Kosten (3% von Investitionskosten)				14.475 €/a
	EMSR-Technik Kosten (2% von Investitionskosten)				1.850 €/a
	<b>Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung</b>				<b>22.012 €/a</b>

<b>2</b>	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Fällmittel	1.496.500 m³/a	5 mg/l	130 €/t	
	Flockungshilfsmittel	1.496.500 m³/a	0,2 mg/l	2500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	1.496.500 m³/a	10 mg/l	1500 €/t	
	Pulveraktivkohle (PAK)	15 t/a			
	Granulierte Aktivkohle (GAK) (pro Füllung GAK Stufe)		1 Füllung/a	1300 €/t	
	Sand	64 t	0,2 Füllung/a	50 €/t	640 €/a
	Sauerstoff	172.265 kgO2/a		200 €/t	34.453 €/a
	Ozon	17.227 kgO3/a			
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>35.093 €/a</b>

## 13. Anhang

<b>3</b>	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk 1 - Förderhöhe	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	5.612 €/a
	<b>Zwischenpumpwerk 2 - Förderhöhe</b>	4 m			
	Zwischenpumpwerk - Verluste	1 m			
	Zwischenpumpwerk - Manometrische Förderhöhe	5 m			
	Laufzeit pro Tag	24 h/d			
	Zwischenpumpwerk - Energiebedarf	1.496.500 m³/a	5 W/m³*m		
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,15 €/kWh	5.612 €/a
	<b>Kompressorstation</b>	5,5 kW			
	Laufzeit pro Tag	6 h/d			
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,15 €/kWh	1.807 €/a
	<b>Ozonng</b>				
	Auslegung Fa. Ozonung (Diff. Auslegung/Ist)	287.382 kWh/a			
	Differenz Auslegung		86%		
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,15 €/kWh	37.072 €/a
	spez. Energiebedarf	14 kWh/kgO3			
	<b>Sonstiges</b> (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,15 €/kWh	1.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>51.603 €/a</b>

<b>4</b>	<b>Schlammensorgung (Verbrennung)</b>				
	Zusätzlicher Schlamm PAK	15 t/a			
	Zusätzlicher Schlamm PAK Stufe (Fällung, Flockung, AFS-NK)	30 t/a			
	mittlere Klärschlammmenge (2013/2012)	551 tTS/a			
	mittlerer Feststoffgehalt	25%			
	Klärschlammmenge (25 % TR)	2204 t/a			
	Differenzentsorgungskosten - Landw. / Verbrennung	2249 t/a		45,00 €/t	
	<b>Summe Schlammensorgung</b>				<b>0 €/a</b>

13. Anhang

---

<b>5</b>	<b>Personalkosten</b>				
	Personalaufwand - Wartung etc.	60 h/Monat			
	Personalstellen (160 h/Monat)	0,38 Stelle			
	Personalkosten	0,38 Stelle	45.000 €/Stelle		16.875 €/a
	<b>Summe Personalkosten</b>				<b>16.875 €/a</b>

	<b>Summe Betriebskosten</b>				
	Summe Betriebskosten - Wartung u. Instandhaltung				22.012 €/a
	Summe Verbrauchsstoffe				35.093 €/a
	Summe Energiebedarf				51.603 €/a
	Summe Schlammentsorgung				0 €/a
	Summe Personalkosten				16.875 €/a
	<b>Summe Betriebskosten (netto)</b>				<b>125.583 €</b>
	Mehrwertsteuer 19%				23.861 €
	<b>Summe Betriebskosten (brutto)</b>				<b>149.444 €</b>



## 13. Anhang

**Variante 3.2 - Ozonung und Dyna-Sand Filtration**
**Sensitivitätsanalyse Betriebskosten - Minderkosten**

	Kostenbereich	Betriebswerte	spez. Menge	spez. Kosten	Kosten
2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	172.265 kgO <sub>2</sub> /a		150 €/t	25.840 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>25.840 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-8.613 €/a</b>

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (8 mgO <sub>3</sub> /l)	119.837 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	23.967 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>23.967 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-10.486 €/a</b>

3	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,14 €/kWh	5.238 €/a
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,14 €/kWh	34.601 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,14 €/kWh	5.238 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,14 €/kWh	1.686 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,14 €/kWh	1.400 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>48.163 €/a</b>
	<b>Verminderte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>-3.440 €/a</b>

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

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff	172.265 kgO <sub>2</sub> /a		300 €/t	51.680 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>51.680 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>17.227 €/a</b>

2	<b>Verbrauchsstoffe</b>				
	Sauerstoff (16 mgO <sub>3</sub> /l)	239.674 kgO <sub>2</sub> /a		200 €/t	47.935 €/a
	<b>Summe Verbrauchsstoffe</b>				<b>47.935 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>13.482 €/a</b>

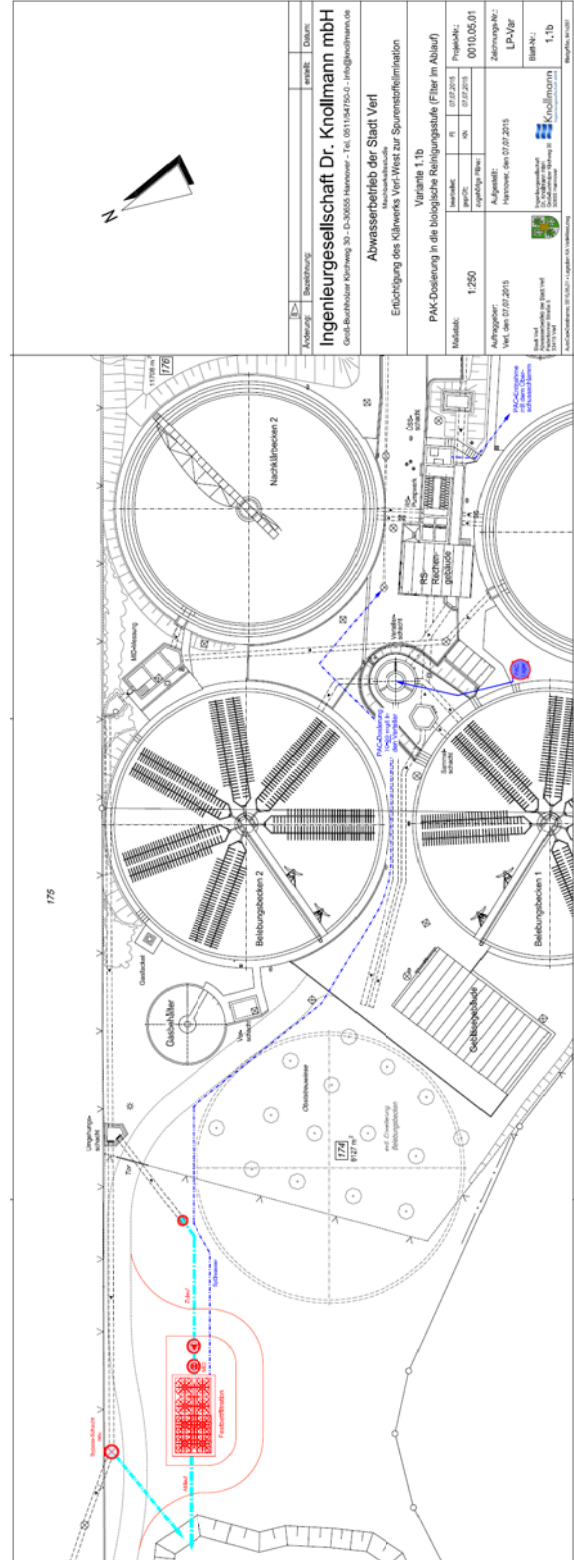
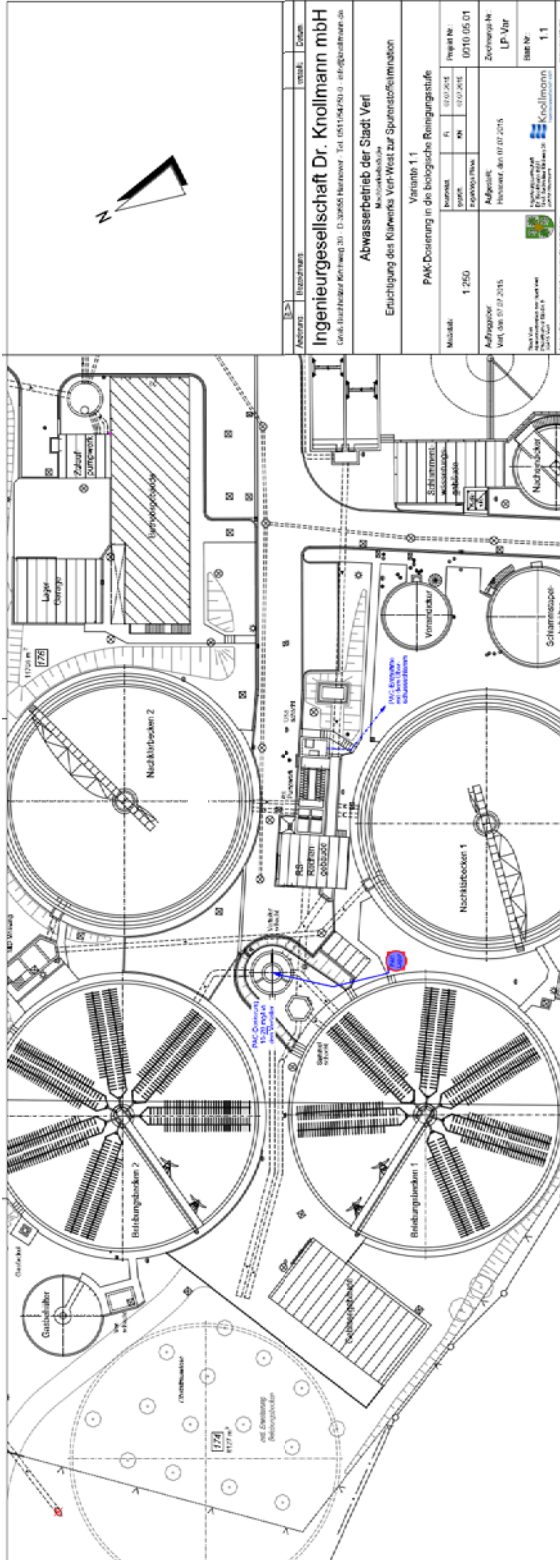
3	<b>Energiebedarf</b>				
	Zwischenpumpwerk Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,25 €/kWh	9.353 €/a
	Energiebedarf Ozonung	247.149 kWh/a		0,25 €/kWh	61.787 €/a
	Zwischenpumpwerk 2 - Pumpkosten	37.413 kWh/a		0,25 €/kWh	9.353 €/a
	Kompressorstation - Energiebedarf	12.045 kWh/a		0,25 €/kWh	3.011 €/a
	Sonstiges (Meßtechnik etc.)	10.000 kWh/a		0,25 €/kWh	2.500 €/a
	<b>Summe Energiebedarf</b>				<b>86.005 €/a</b>
	<b>Erhöhte Betriebskosten gegenüber mittlerer Kostenannahme</b>				<b>34.402 €/a</b>

### **13.4 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination**

- Variante 1.1 PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung),
- Variante 1.1b PAK - Dosierung in die biologische Reinigungsstufe (Simultandosierung), nachgeschalteter Dyna-Sand Filter
- Variante 1.2 PAK - Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe
- Variante 2.1 GAK - Dyna-Sand Carbon Filtration
- Variante 2.2 GAK – Festbett-Adsorber
- Variante 2.3 GAK – Automatischer Schwerkraftfilter
- Variante 3.1. Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Schönungsteich
- Variante 3.2 Qxidation mit Ozon – Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

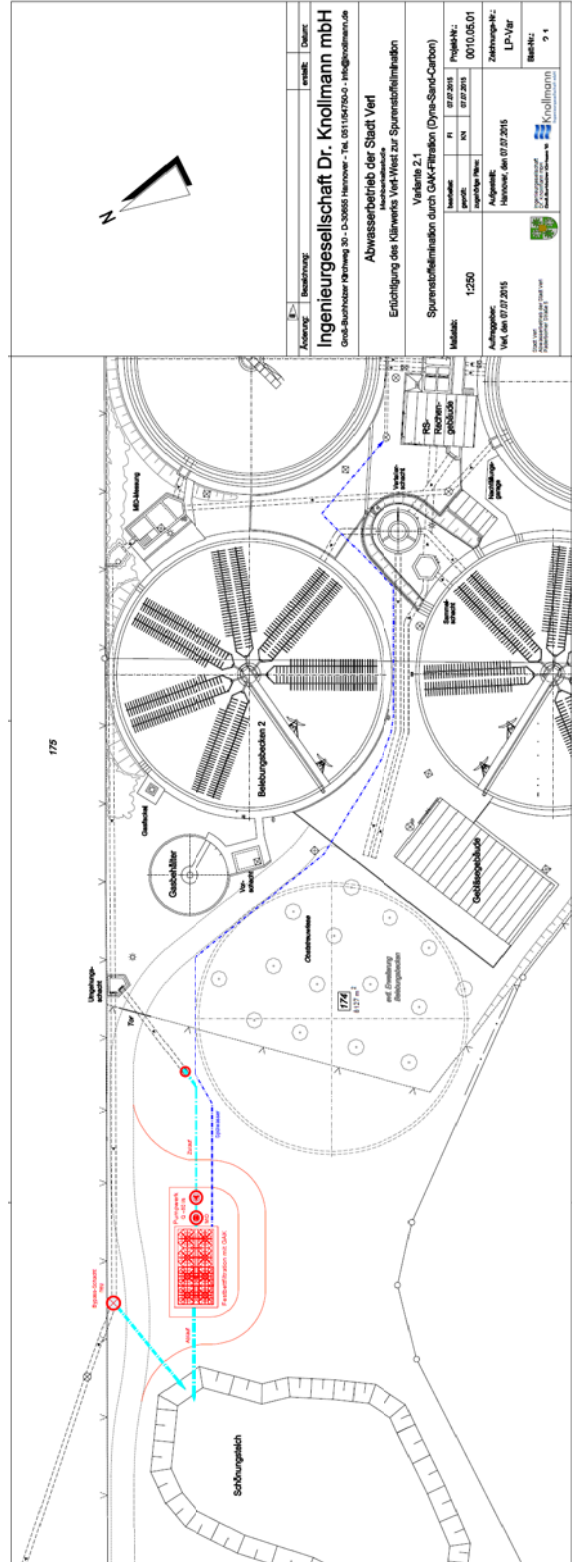
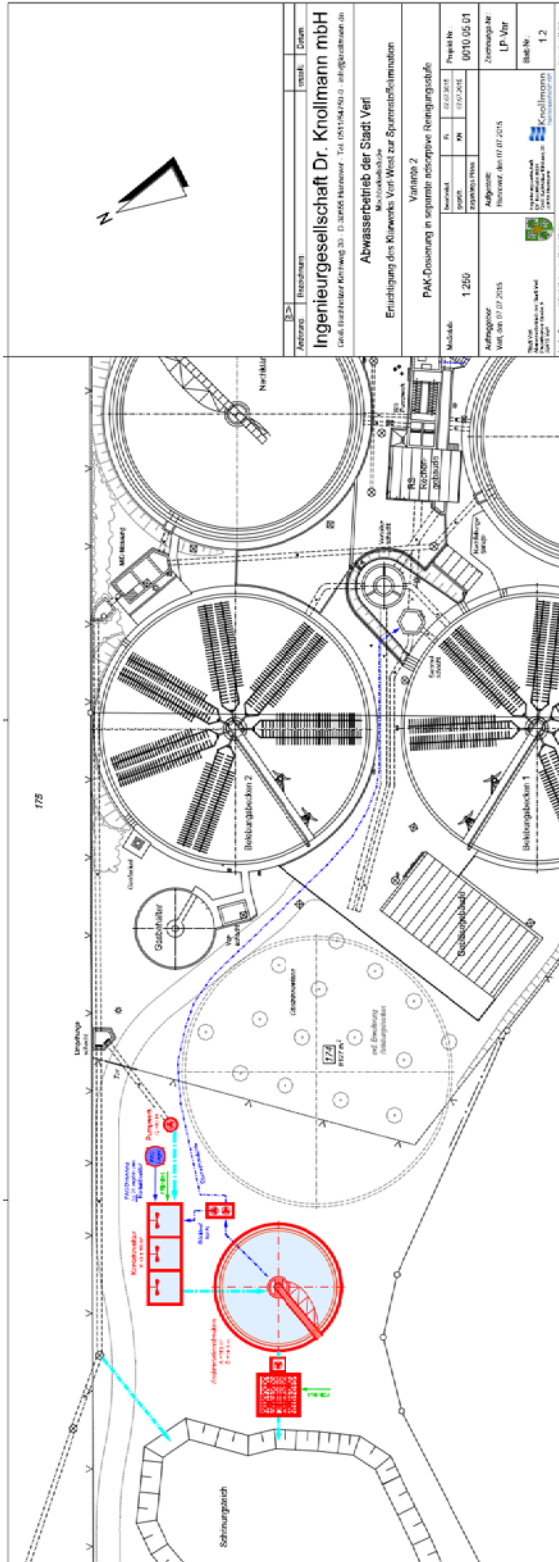


13. Anhang

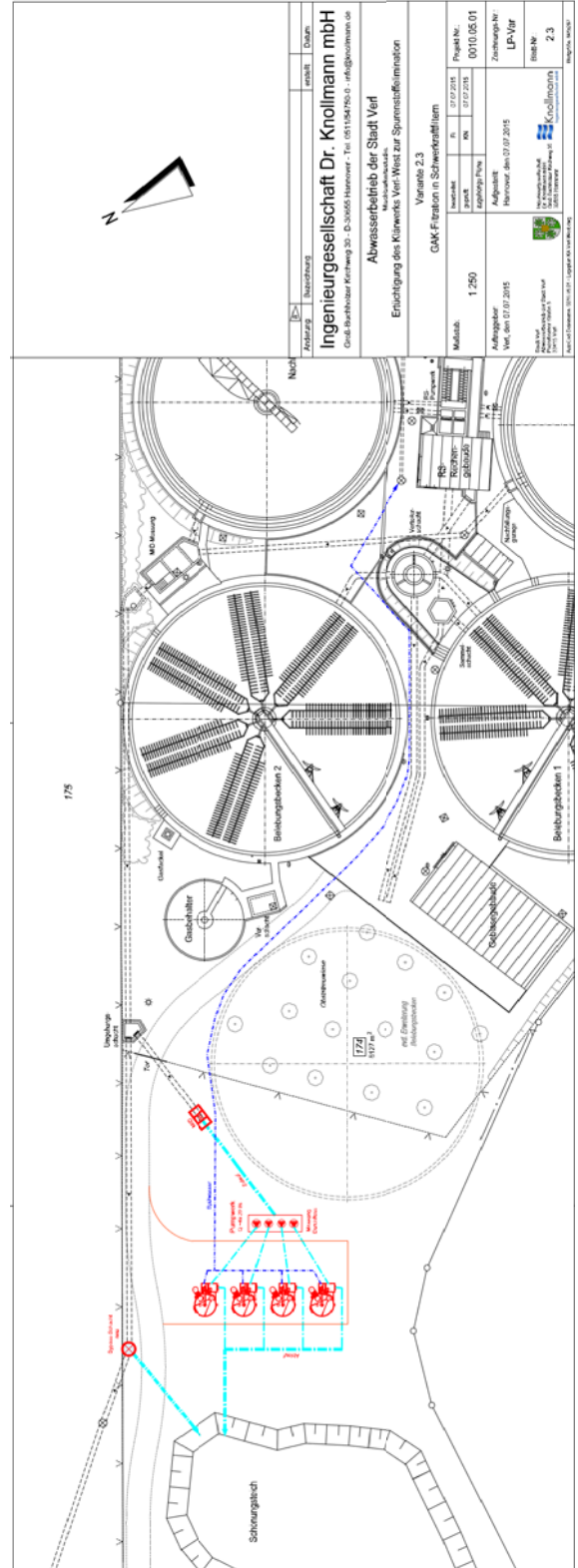
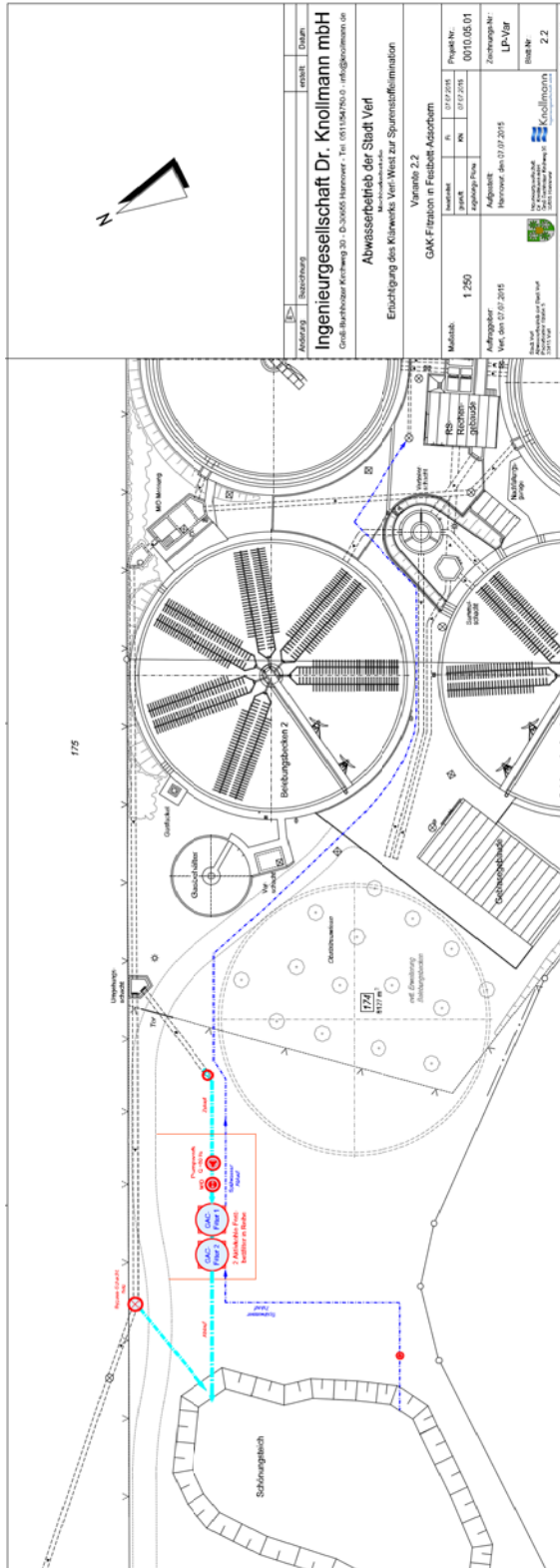




13. Anhang



13. Anhang





13. Anhang

