



Gemeinde Langenberg

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Elimination von Spurenstoffen

Kurzbericht

August 2017

gefördert durch:

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



Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH

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

1 Einleitung und Hintergrund

Die Anzahl der entwickelten organisch, chemischen Verbindungen beträgt mehr als 50 Millionen, davon werden rund 5.000 Substanzen als potentiell umweltrelevant eingestuft [MKULNV, 2013]. Nach Erhebungen in der Schweiz sind dort über 30.000 synthetische organische Stoffe in Gebrauch, die von Menschen in Produkten des täglichen Verbrauchs verwendet werden, darunter Arzneimittel, Stoffe für den Pflanzen- und Materialschutz, Körperpflege- und Reinigungsmittel [Abegglen et al., 2012]. Viele gelangen über das kommunale Abwassersystem und hier insbesondere durch die Kläranlagen oder diffuse Einträge in die Gewässer, wo sie in sehr geringen Konzentrationen (ng/l - µg/l) auftreten. In den Gewässern können die Einträge dieser Mikroverunreinigungen Wasserlebewesen beeinträchtigen. Beispielsweise können hormonaktive Substanzen schon bei sehr niedrigen Konzentrationen die Fortpflanzung von Wasserlebewesen beeinflussen [Suter et al, 2004]. Hohe Abwasseranteile in Fließgewässern können auch zu Belastungen von Trinkwasserleitern führen. Vor allem bei Fließgewässern auf Lockergestein-Grundwasserleitern können schwer abbaubare Verbindungen aus dem kommunalen Abwasser über die Uferfiltration in das Grundwasser gelangen [Hanke et al., 2007]. Dies kann für die Trinkwasseraufbereitung eine zunehmende Herausforderung darstellen. Nach Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen sind insbesondere Gewässer in dicht besiedelten Gebieten, wie die Ruhr, bereits stark mit organischen Spurenstoffen belastet [Pinnekamp et al., 2008].

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

Vom Land Nordrhein-Westfalen werden Projekte für innovative Technologien auf öffentlichen Kläranlagen zur Elimination von gefährlichen Stoffen gefördert (Investitionsprogramm Abwasser NRW, Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW). Die Gemeinde Langenberg hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt, um die Erweiterung der bestehenden Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination zu untersuchen. Die Bezirksregierung Detmold hat die Förderung des Projekts „Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Elimination von Spurenstoffen“ bewilligt.

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

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

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

Teil der Untersuchung waren Abwasseruntersuchungen zu Spurenstoffen, Bemessung von Verfahrensstufen sowie die Schätzung der Betriebs- und Investitionskosten einer entsprechenden Behandlungsstufe.

2 Kläranlage Langenberg, Gewässer

Die Kläranlage Langenberg wurde Anfang der 1960er Jahre errichtet, mit Verfahrensstufen zur mechanischen Vorreinigung, zum biologischen Abbau von Kohlenstoff und zur Schlammbehandlung. Mitte der 1990er Jahre wurde die Kläranlage auf 10.000 Einwohnerwerte als einstufige Belebungsanlage mit simultaner aerober Schlammstabilisation zur weiterführenden Stickstoff- und Phosphatelimination ausgebaut.



Bild 1: Nachklärung, möglicher Standort 4. Reinigungsstufe (links / rechts)

Folgende abwassertechnische Anlagenteile sind derzeit vorhanden:

- Zulaufpumpwerk mit zwei trocken aufgestellten Kreiselpumpen mit je 118 m³/h
- Zulaufpumpwerk (Zulauf „Langenberg / Benteler“) max. 280 m³/h
- Speicherbecken I und II mit 230 m³ und 530 m³ Volumen,
- Rechenanlage mit 2 mm Spaltweite und Rechengutwaschpresse
- Belüfteter Sand- und Fettfang, Länge 13 m, mit Sandsilo und Fettpumpwerk

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

Die Kläranlage Langenberg weist einen relativ hohen CSB im Ablauf von teilweise über 50 mg/l auf. Als Ursache werden u.a. Einleitungen eines gewerblich, industriellen Betriebes aus der Holzverarbeitungsbranche vermutet, der leimhaltiges Abwasser einleitet. Batchversuchen (Zahn-Wellens Test) zeigten einen hohen Anteil von schwer abbaubarem CSB im Zulauf. Adsorptionsversuche (Batchtests) zur Abschätzung einer möglichen Reduzierung der CSB-Ablaufkonzentrationen durch Adsorption an Pulveraktivkohle zeigte eine begrenzte Verminderung des CSB. Im Ergebnis wird von einer adsorptiven Behandlung mit dem Ziel einer Reduzierung des CSB im Ablauf der KA Langenberg abgeraten und alternativ die Erprobung einer nassoxidativen Behandlung des Ablaufes empfohlen.

Gewässer – Forthbach

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Forthbach, der in den Grubebach einmündet, einem Nebenfluss der Ems.

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold am Forthbach (GEWKZ 31164) ergaben ein MNQ von $0,033 \text{ m}^3/\text{s}$ (2012). Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von $1.029 \text{ m}^3/\text{d}$ bzw. $0,012 \text{ m}^3/\text{s}$ (2011-2015) ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von 1 zu 2,7 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 36 %.

Der Abwasseranteil am MQ von $0,262 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt ca. 5 %.

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

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

3 Screening zu Spurenstoffen - Analyseergebnisse

Zur Abschätzung der Belastung der Kläranlagenabläufe mit Spurenstoffen, wurde ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage (Ablauf Nachklärung) und im Gewässer vorgenommen. Untersucht wurden 24 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe. Unter anderem wurde analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a..

Tabelle 1: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Langenberg (03.05.2016 – 06.05.2016; 09.05.2017 – 12.05.2017) und im Gewässer (Forthbach) (04.05.2016, 09.05.2017)

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

J-MW = Jahresmittelwert

Kurzbericht

Tabelle 1 zeigt die festgestellte Konzentration der Spurenstoffe sowie Prozentangaben zum Auftreten der Stoffe im Unterlauf der Einleitungsstelle im Verhältnis zu den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage sowie die Umweltqualitätsnormen (UQN) und Orientierungswerte gemäß Anlage 5 und 7 der OGewV (D4-Liste).

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

Unterhalb der Einleitungsstelle fanden sich im Zeitraum 03.05.2016 – 06.05.2016 Konzentrationen im Bereich von 24 % bis 42% der Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Langenberg. Im Zeitraum 09.05.2017 – 12.05.2017 betrug das Verhältnis von Ablaufkonzentrationen zu den im Gewässer gefundenen Spurenstoffkonzentrationen 9% bis 17%.

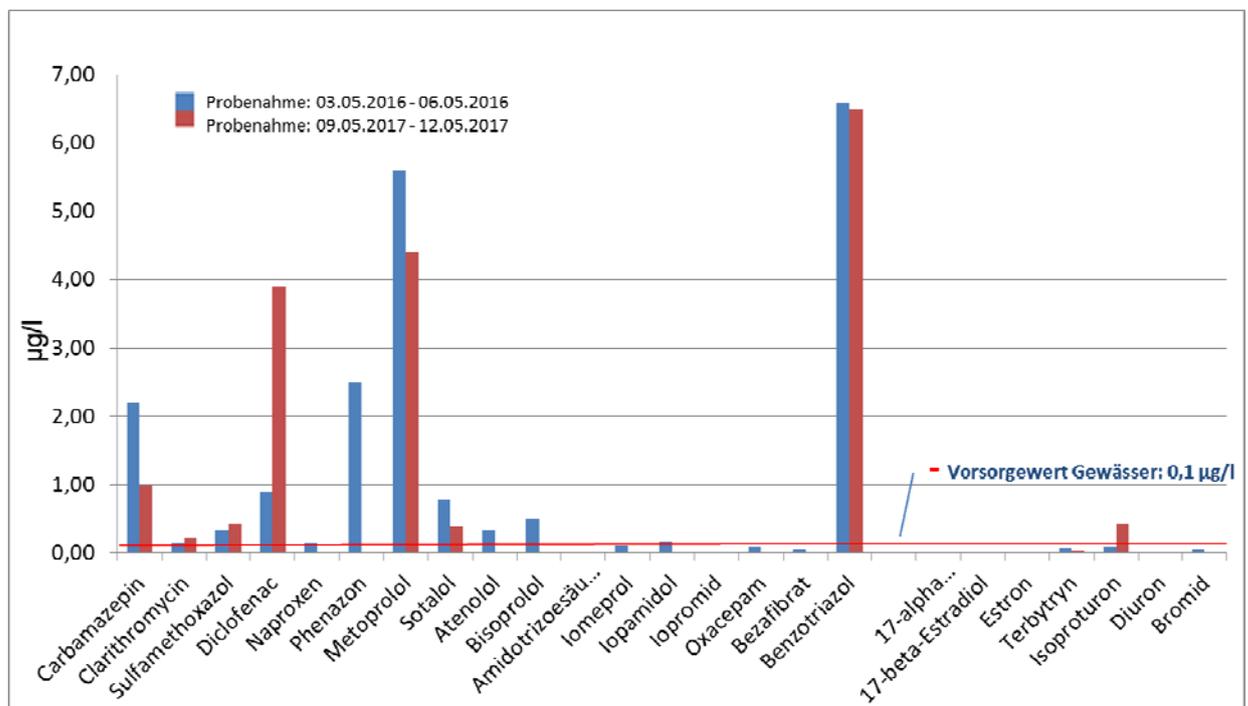


Bild 2: Spurenstoff-Screening - Nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage

4 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Langenberg zur Spurenstoffelimination

Für die Variantenbetrachtung werden die wesentlichen Verfahrenstechniken zur Mikroschadstoffentfernung hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit auf der Kläranlage Rahden untersucht. Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf z. T. nachgeschalteten Filterstufen. Folgende Verfahren wurden betrachtet:

1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAK)

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

2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAK)

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

3. Oxidative Verfahren

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

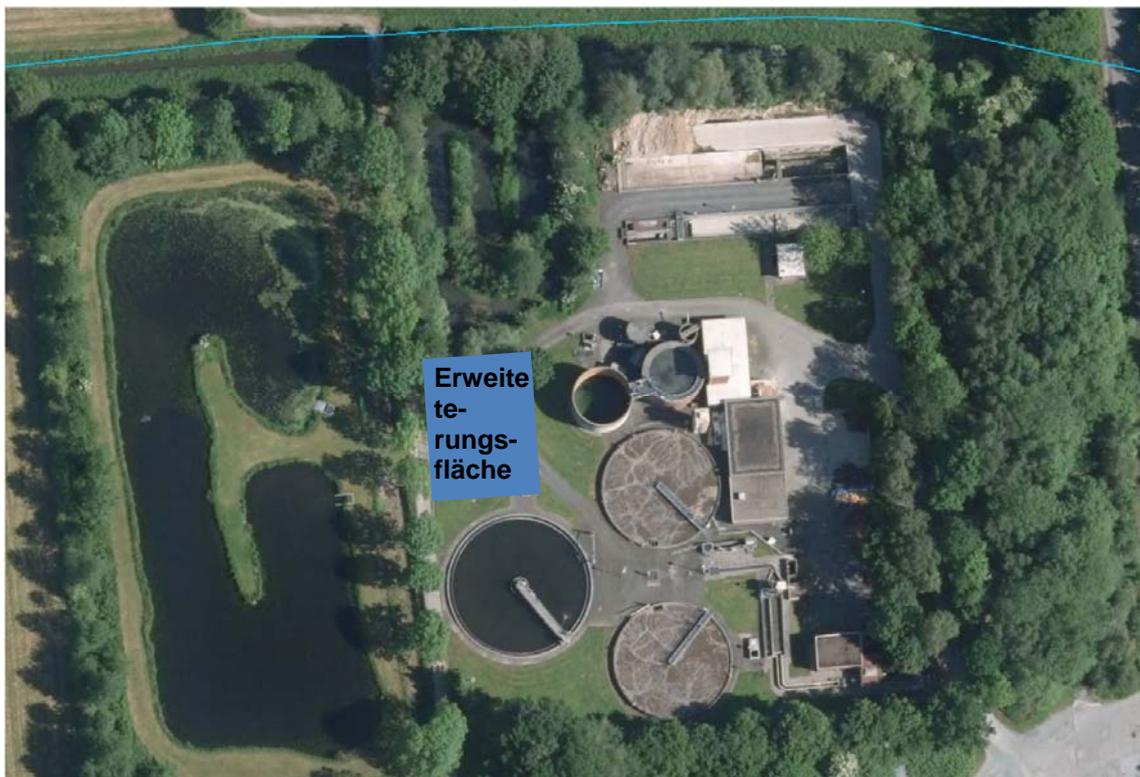


Bild 3: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Langenberg (Quelle: Google-Earth)

Kurzbericht

Die Verfahren werden im Hinblick auf Eliminationsleistung, Wirtschaftlichkeit, Raumbedarf, vorhandene Anlagentechnik, Klärschlamm Entsorgung sowie betriebliche Aspekte untersucht.

Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt im westlichen Kläranlagenbereich, oberhalb der Nachklärung und hat eine Größe von rd. 450 m².

Die Auslegungsgrößen der Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination werden in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Auslegung – Spurenstoffelimination

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

Nachfolgend werden die Verfahrensschemata und die Darstellung der untersuchten Varianten im Lageplan aufgeführt. Die Konzeption der Behandlungsstufe berücksichtigt die Möglichkeit zur P-Reduzierung, aufgrund der vorhandenen Gewässerbelastung mit Phosphaten.

Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- PAK Silo, Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung
- Nachgeschaltete Filterstufe (Dyna-Sand oder Scheibentuchfilter)
- Zuführende, ableitende Rohrleitungen, Schachtbauwerke, Beschickungspumpwerk
- Elektro-, MSR Technik

Kurzbericht

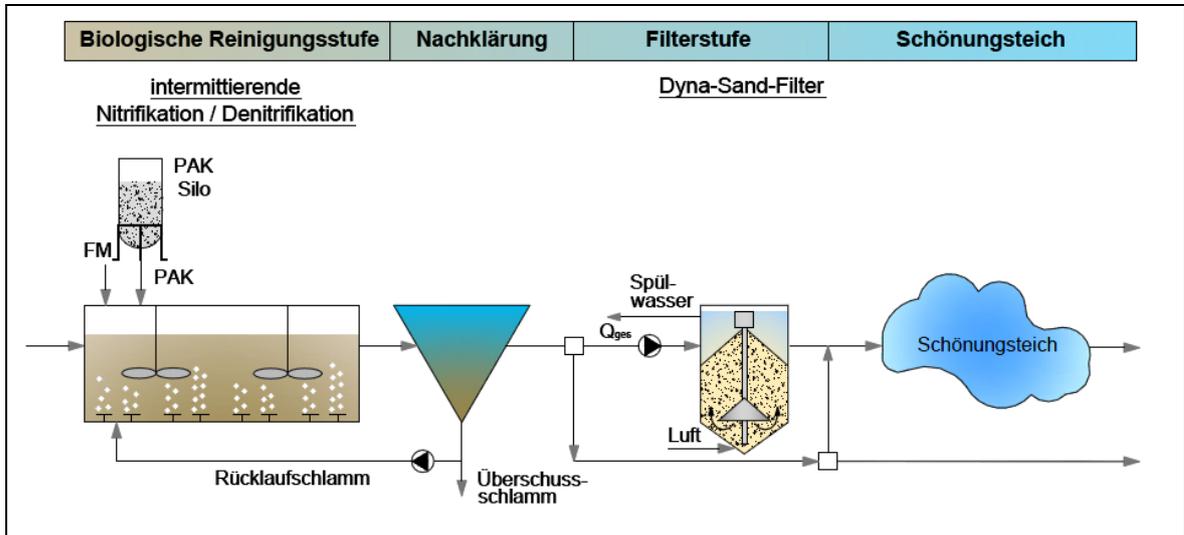


Bild 4: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

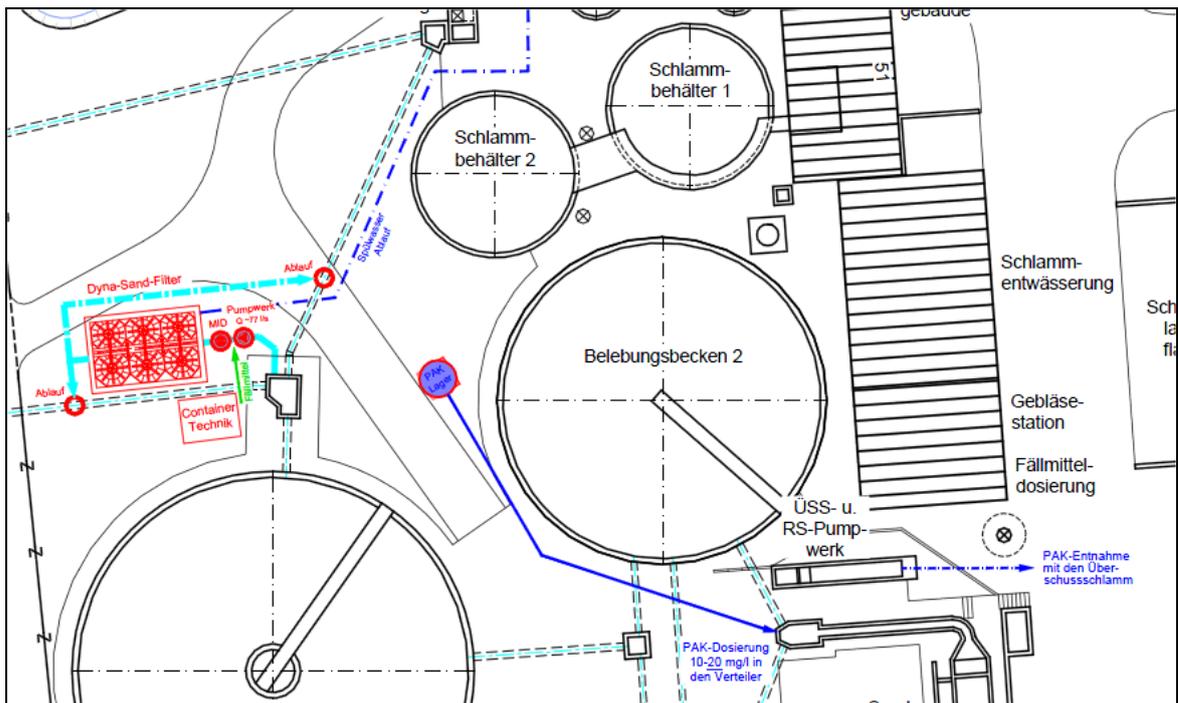


Bild 5: Lageplan KA Langenberg - Variante 1.1 – Dosierstelle PAK im Zulauf zur Belebung

Variante 1.2 - PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

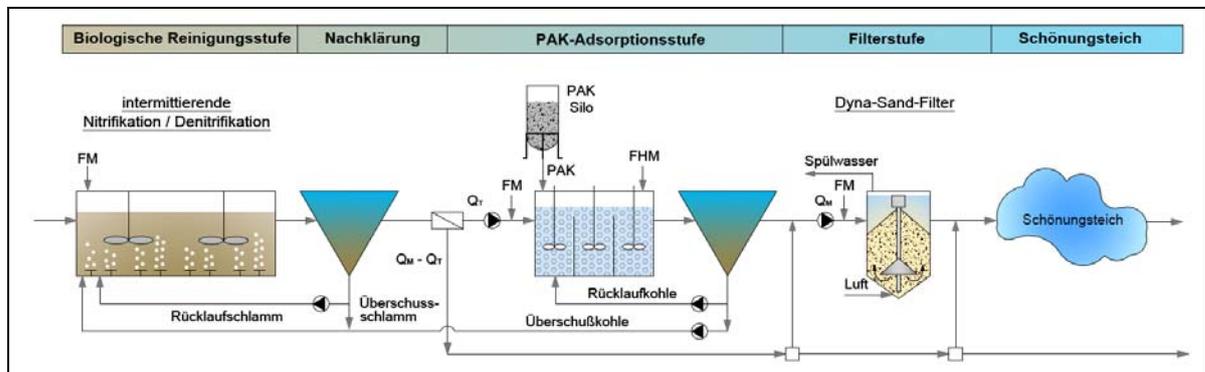


Bild 6: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

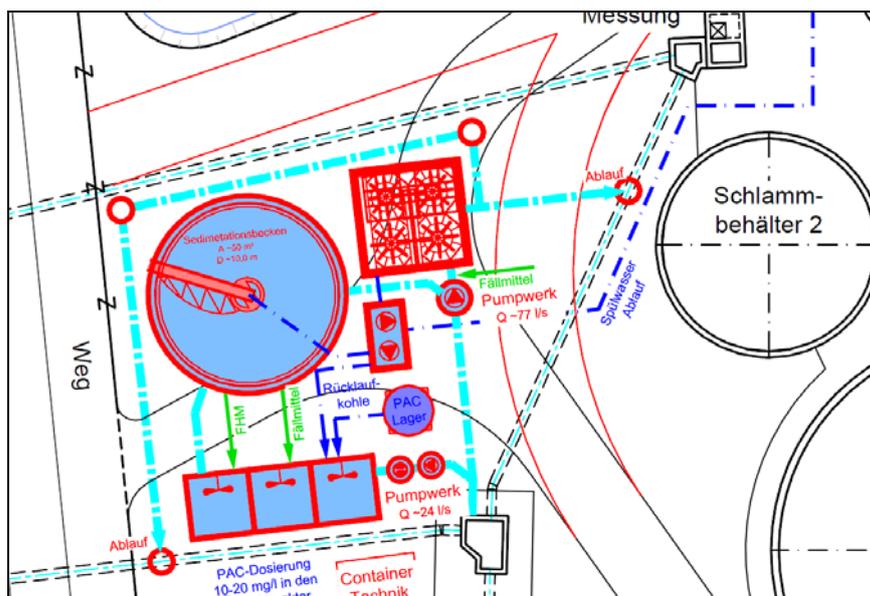


Bild 7: Lageplan KA Langenberg - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

Variante 2.1 - GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Dyna-Sand-Carbon Filtration, maschinelle Einrichtung, Beton-Filterbecken
- Kompressorstation, Einhausung
- Zuführende und ableitende Rohrleitungen, Schachtbauwerke, Beschickungspumpwerk
- Vorgeschalteter Dyna-Sand Filter oder Scheiben-Tuch Filter
- Elektro-, MSR-Technik

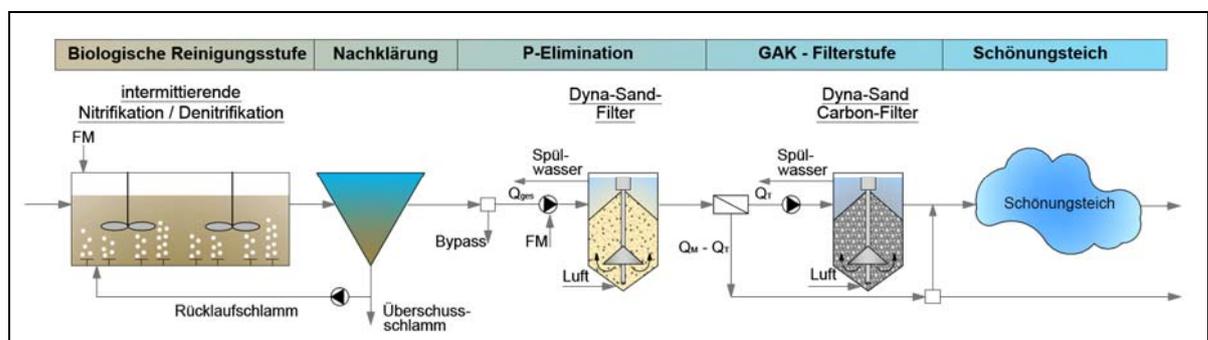


Bild 8: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

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

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

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

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

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

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

Kurzbericht

Eine Rückspülpumpe wird systembedingt nicht benötigt. Der Rückspülprozess findet kontinuierlich und parallel zur Filtration statt, der Filtrationsvorgang wird nicht beeinträchtigt. Die Installation erfolgt in ein separat zu errichtendem Betonbecken (s. Bild 9).

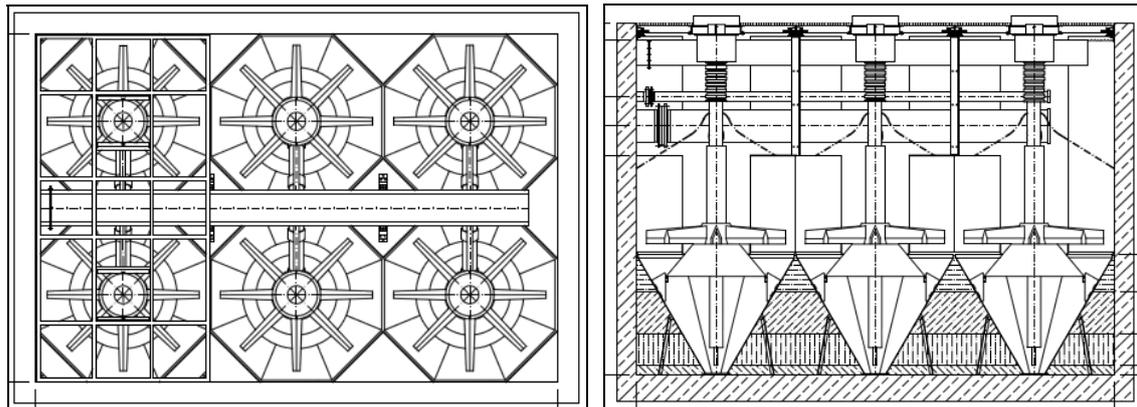


Bild 9: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung)
(Quelle: Fa. Nordic Water)

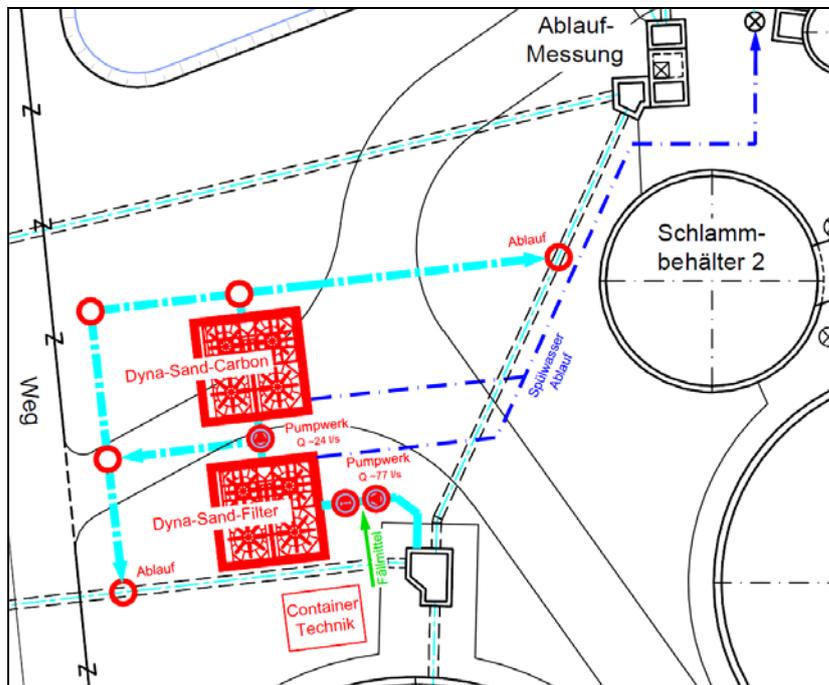


Bild 10: Lageplan KA Langenberg - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

Kurzbericht

Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

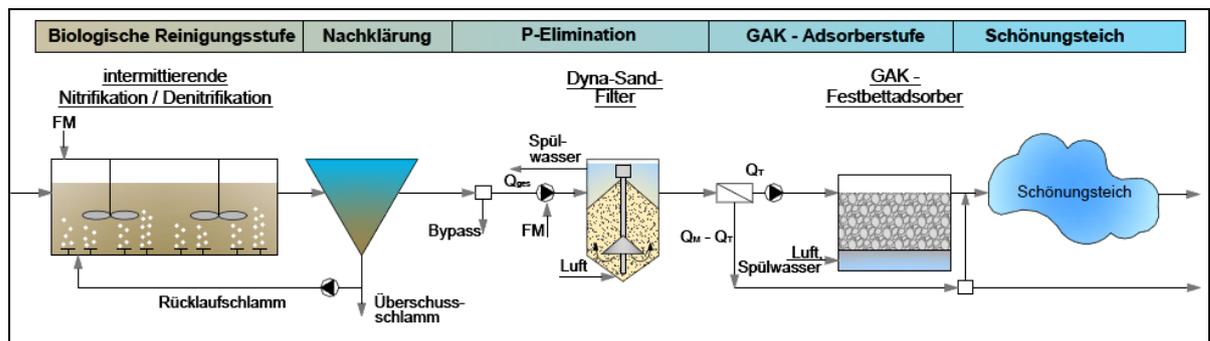


Bild 11: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

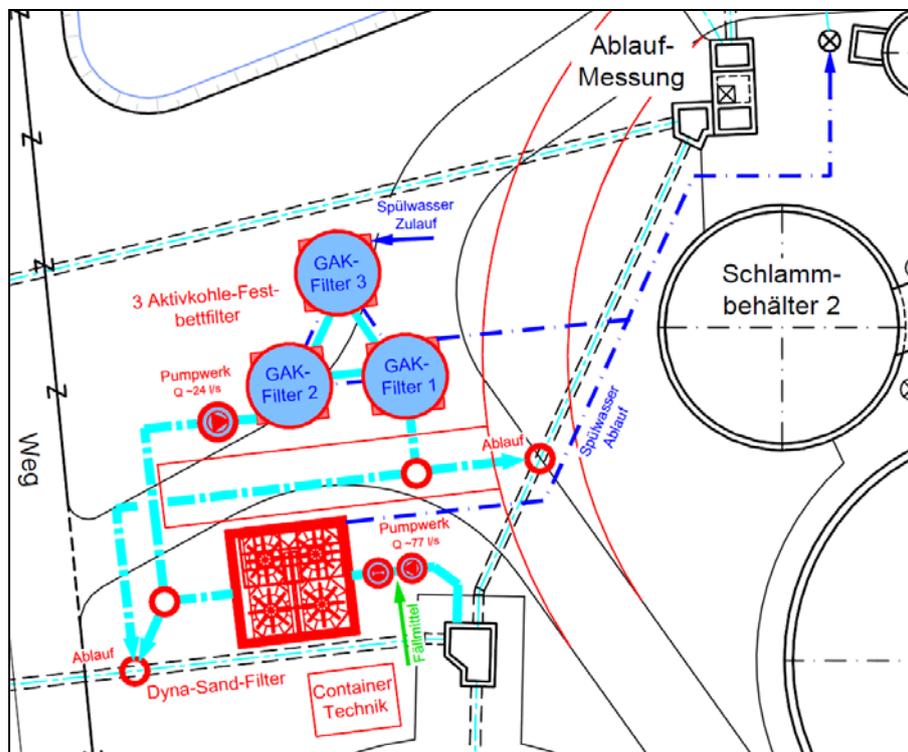


Bild 12: Lageplan KA Langenberg - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorgeschalteter Dyna-Sand Filter

Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Es werden folgende Anlagenkomponenten vorgesehen:

- Zuführende und ableitende Rohrleitungen
- Beschickungspumpwerke, Ozon Kontaktbecken
- Sauerstofftank, Ozonerzeugungsanlage mit Kühlung
- Oszondosierung, Restozonvernichter
- Scheibentuchfilter, Kontaktbecken Fällmitteldosierung
- Dosierstation Fällmittel
- Als Nachbehandlungsstufe hinter der Ozonung wird der vorhandene Schönungsteich vorgesehen.

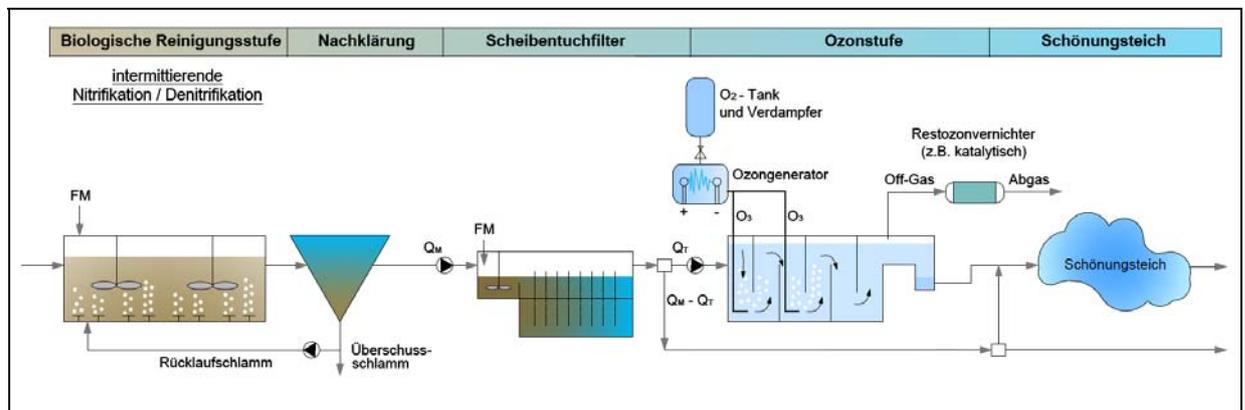


Bild 13: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

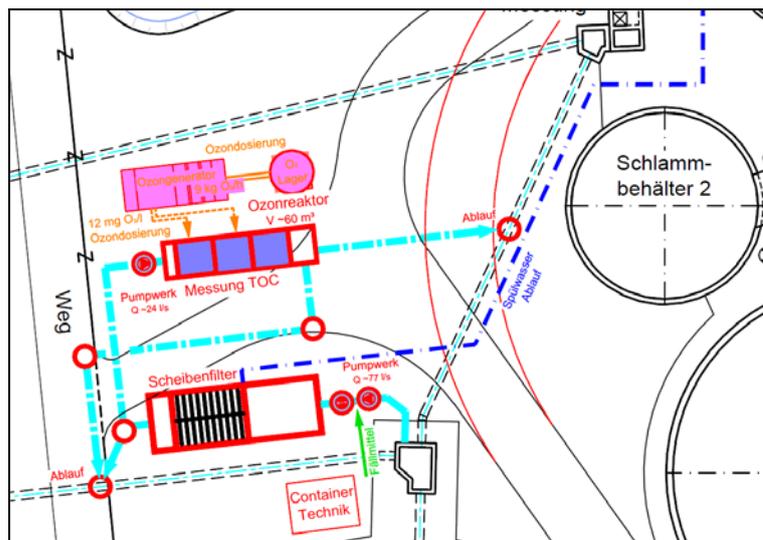


Bild 14: Lageplan KA Langenberg - Variante 3.1 – Ozonung mit vorgeschaltetem Scheibentuchfilter und Schönungsteich

Auslegung – Kontaktbecken:

Das Reaktorvolumen wird mit Leitwänden ausgestattet. Das Becken erhält zwei Ozonbegasungszonen und eine Abklingzone. Das Becken wird gasdicht verschlossen. Der Gasraum wird kontinuierlich abgesaugt, das Off-Gas in einem Restozon-Vernichter behandelt. Der Ozoneintrag erfolgt feinblasig über keramische Diffusoren direkt in den Ozonreaktor.

Als Ozonerzeuger wird zunächst ein wassergekühlter Röhrenozonerzeuger vorgesehen. 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“.

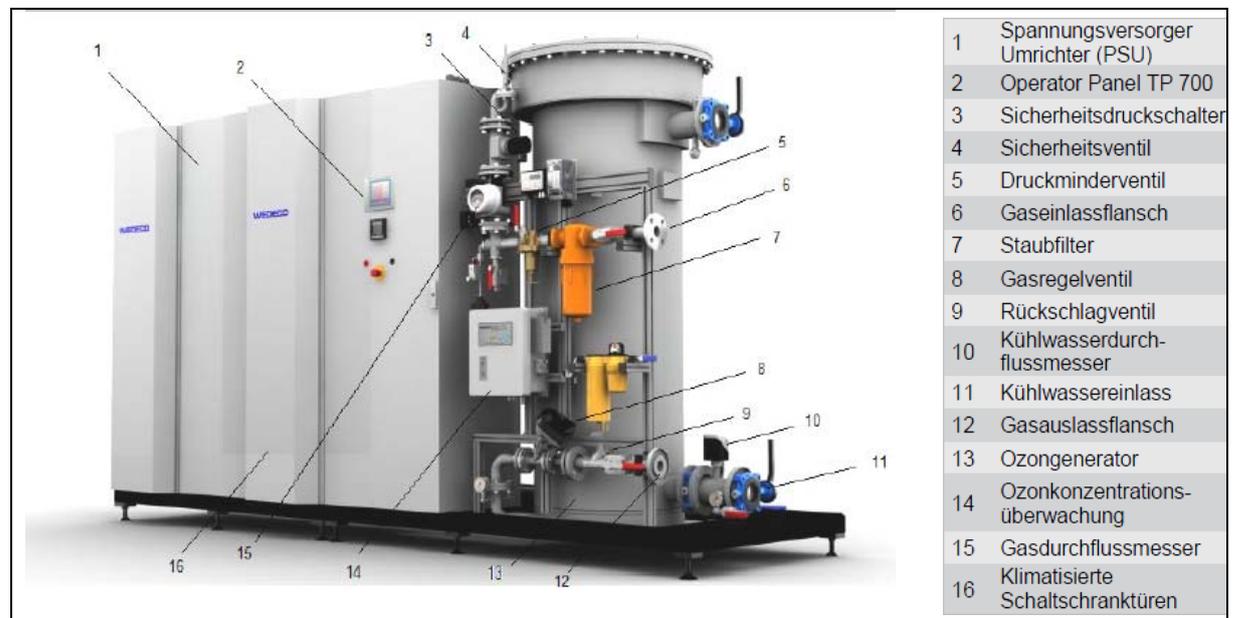


Bild 15: Beispiel Ozonzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

Es wird vorgesehen, dass der Ozonerzeuger mit einer einfachen Einhausung in einem Container zu versehen ist.

Kurzbericht



Bild 16: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)

Für die Ozonung wird von einer Ozonerzeugung aus Flüssigsauerstoff (LOX) ausgegangen.

Variante 3. 2 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Die verwendeten Bauteile sind bis auf die Filtration identisch zu Varianten 3.1:

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

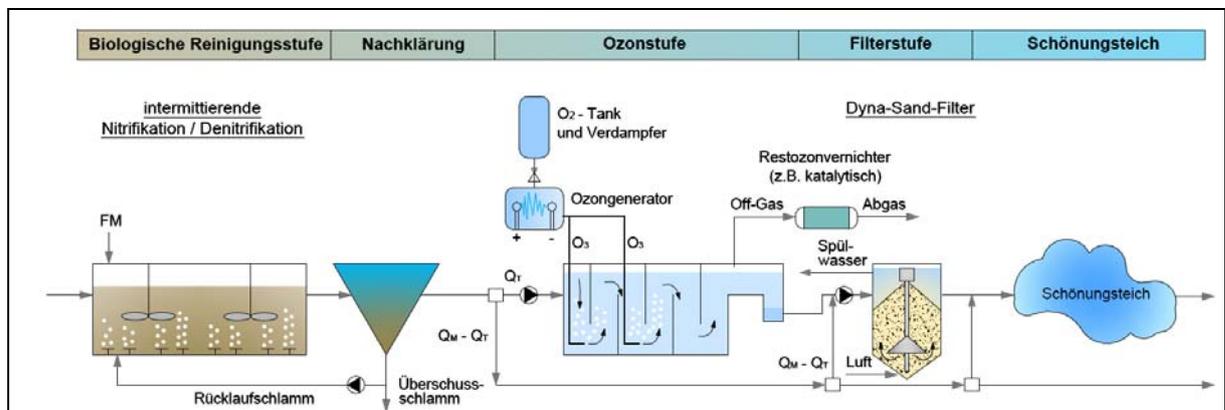


Bild 17: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.2

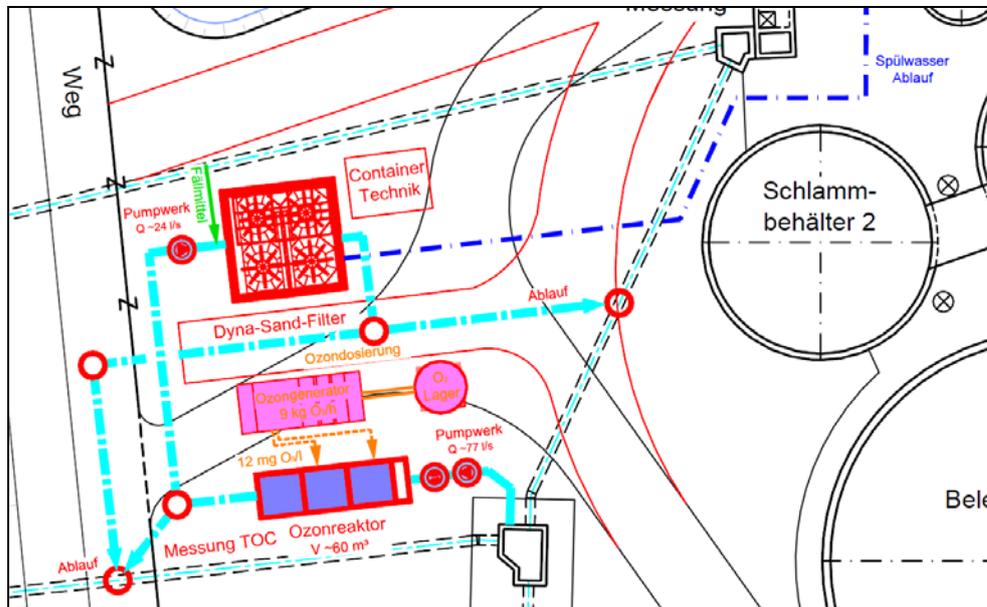


Bild 18: Lageplan KA Langenberg - Variante 3.2 – Ozonung, Dyna-Sand Filtration

5 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Investitionskosten

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

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

Tabelle 3: Zusammenstellung Investitionskosten

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

	Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon	
	Variante 2.1 - GAK in DS-Carbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schöpfungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna-Sand Filtration
Baukosten	381.883 €	381.573 €	314.848 €	345.824 €
Maschinentechnik Kosten	462.300 €	598.500 €	759.000 €	669.500 €
EMSR-Technik Kosten	100.000 €	103.000 €	80.500 €	80.500 €
Summe Investkosten (netto)	944.183 €	1.083.073 €	1.154.348 €	1.095.824 €
Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%)	188.837 €	216.615 €	230.870 €	219.165 €
Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)	1.133.020 €	1.299.688 €	1.385.218 €	1.314.989 €
Mehrwertsteuer 19%	215.274 €	246.941 €	263.191 €	249.848 €
Summe Investkosten (brutto)	1.348.293 €	1.546.628 €	1.648.409 €	1.564.837 €
Prozente	100%	115%	123%	116%

Betriebskosten

Die jährlichen Betriebskosten der einzelnen Varianten sind unterteilt in Wartung und Instandhaltung, Verbrauchsstoffe, Energiebedarf, Schlammensorgung und Personalkosten (Tabelle 4).

Die Betriebskosten variieren von rd. 75.000 €/a der Variante 2.1 bis rd. 141.000,-- € brutto bei Variante 1.2b (brutto).

Tabelle 4: Zusammenstellung Betriebskosten

	Variante 1.1 - PAK		Variante 1.2 - PAK	
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.1b - PAK in Beleb., ST Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, DS Filtr.	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe, ST Filtr.
Wartung u. Instandhaltung	22.967 €	22.972 €	29.269 €	31.112 €
Verbrauchsstoffe	12.567 €	19.121 €	6.944 €	13.702 €
Energiebedarf	6.799 €	5.204 €	11.465 €	10.762 €
Schlammensorgung	51.464 €	51.467 €	51.338 €	51.337 €
Personalkosten	11.250 €	9.844 €	11.250 €	11.250 €
Summe Betriebskosten (netto)	105.047 €	108.608 €	110.266 €	118.163 €
Mehrwertsteuer 19%	19.959 €	20.636 €	20.951 €	22.451 €
Summe Betriebskosten (brutto)	125.006 €	129.244 €	131.217 €	140.614 €
Prozente	168%	173%	176%	188%

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

Jahreskosten

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

Tabelle 5 zeigt den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70 %, dem für 2017 gültigen Fördersatz (mit Berücksichtigung der Schlamm Entsorgungskosten).

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

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

Tabelle 5: Jahreskosten (Förderung 70%, mit Schlamm Entsorgungskosten)

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 - GAK in DS- Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett- Adsorption	Variante 3.1 - Ozon, Schö- nungsteich	Variante 3.2 - Ozon, Dyna- Sand Filtration
Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)	1.189.602 €	1.628.822 €	1.133.020 €	1.299.688 €	1.385.218 €	1.314.989 €
Annahme: Förderung	832.721 €	1.140.176 €	793.114 €	909.781 €	969.652 €	920.492 €
Investitionskosten 70% (netto)	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
KFAKR ^{3,30}						
Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)	42.485 €	58.172 €	40.465 €	46.417 €	49.472 €	46.964 €
Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)	47.080 €	61.363 €	41.466 €	49.608 €	57.427 €	52.834 €
Jahreskosten Betrieb (netto)	110.266 €	118.163 €	62.709 €	65.625 €	80.833 €	74.348 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)	157.346 €	179.526 €	104.175 €	115.233 €	138.260 €	127.182 €
Mehrwertsteuer 19%	29.896 €	34.110 €	19.793 €	21.894 €	26.269 €	24.165 €
Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)	187.241 €	213.636 €	123.968 €	137.127 €	164.529 €	151.347 €
Prozente	151%	172%	100%	111%	133%	122%

mit Förderung

Spezifische Kosten (brutto)	Variante 1.1	Variante 1.2	Variante 2.1	Variante 2.2	Variante 3.1	Variante 3.2
Angeschlossene Einwohner 9.149 EW	20,47 €/EW/a	23,35 €/EW/a	13,55 €/EW/a	14,99 €/EW/a	17,98 €/EW/a	16,54 €/EW/a
Behandelte Schmutzwassermenge 375.491 m ³ /a	0,50 €/m ³	0,57 €/m ³	0,33 €/m ³	0,37 €/m ³	0,44 €/m ³	0,40 €/m ³
Gebührenf. Frischwassermenge 310.212 m ³ /a	0,60 €/m ³	0,69 €/m ³	0,40 €/m ³	0,44 €/m ³	0,53 €/m ³	0,49 €/m ³

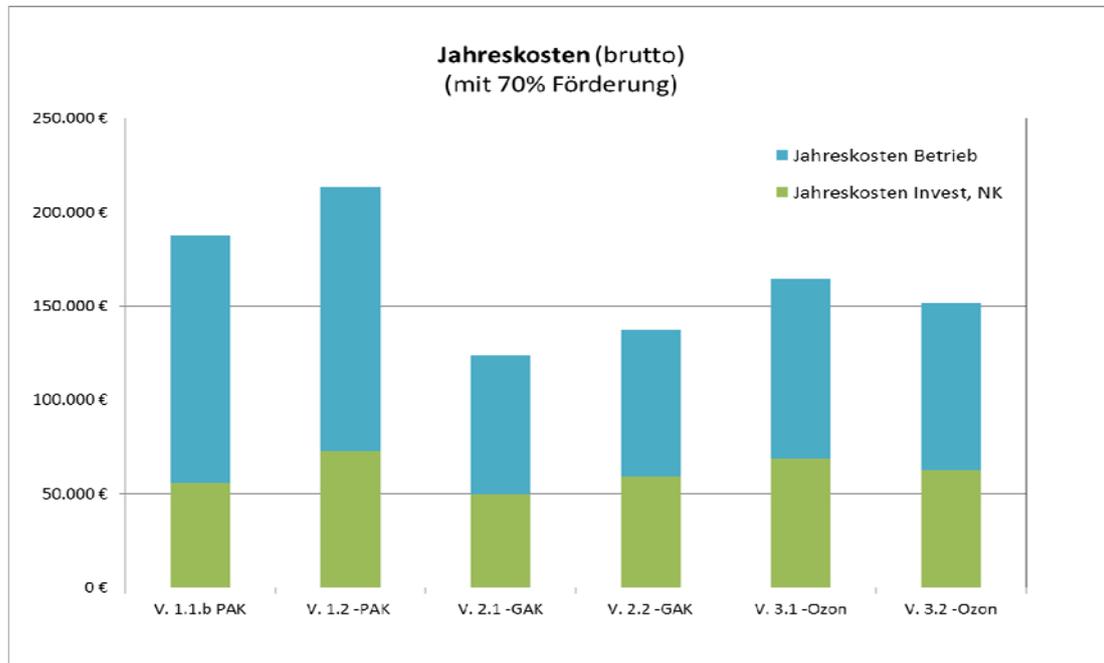


Bild 19: Jahreskosten mit Förderung, mit Schlammensorgungskosten

6 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.

In der Bewertungsmatrix der Kosten-Nutzwertanalyse erfolgt die Gewichtung der technischen, in Geldwert nicht darstellbaren, Kriterien nach subjektiver Einschätzung in Abstimmung mit der Stadt Rahden. In Tabelle 6 werden diese Kriterien zusammengestellt und gewichtet. 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.

Kurzbericht

Tabelle 6: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung	Variante 1.1 -PAK in BB, DS-Filter		Variante 1.2 -PAK Adsorpt. Stufe		Variante 2.1 -GAK DS-Karbon		Variante 2.2 -GAK Adsorber		Variante 3.1 -Ozon, Schönung.		Variante 3.2 -Ozon, DS Filter	
	[%]	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht
Jahreskosten mit Förderung	25%	2	0,50	1	0,25	5	1,25	4	1,00	3	0,75	4	1,00
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlammments.	25%	5	1,25	3	0,75	5	1,25	4	1,00	3	0,75	4	1,00
Reinigungsleistung Spurenstoffe	10%	3	0,30	5	0,50	4	0,40	4	0,40	5	0,50	5	0,50
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	20%	3	0,60	3	0,60	3	0,60	3	0,60	5	1,00	5	1,00
Reinigungsleistung Mikroplastik	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	5	0,25	4	0,20
Reduzierung von Legionellen, Keimen im KA Ablauf	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	5	0,25	5	0,25
Bildung Nebenprodukte (Transformationsprodukte)	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	3	0,15	4	0,20
Wartungsaufwand, Betriebsaufwand	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20	4	0,20
Betriebssicherheit	5%	4	0,20	3	0,15	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Sensitivität Kostensteigerung	5%	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Klimarelevanz, CO ₂ -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	5	0,25	2	0,10	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Summe mit Förderung	100%		3,20		2,90		4,00		3,65		3,95		4,20
Summe - Förderung, ohne Schlammments.	100%		3,95		3,40		4,00		3,65		3,95		4,20

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

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

7 Zusammenfassung und Empfehlung

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

Unter Einbeziehung der derzeit möglichen Landesförderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten (2017), ergeben sich Jahreskosten von rd. 151.000,- € (brutto) für die Vorzugsvariante 3.2 mit Ozonung und Dyna-Sand-Filter. Die spezifischen Kosten betragen für diese Variante 16,54 €/EW/a bzw. 0,40 € pro m³ Frischwasser (brutto).

Als Ergebnis der Nutzwertanalyse zeigt die Variante 3.2 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration mit einer Bewertung von 4,20 Nutzwertpunkten die höchste Bewertung.

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

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

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

8 Beteiligte Einrichtungen, Organisation und Firmen

Betreiber:

Gemeinde Langenberg
Klutenbrinkstr. 5, 33449 Langenberg
Herr Dirk Vogt, 05248/50833

Planung:

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH
Groß-Buchholzer Kirchweg 30, 30655 Hannover
Dr.-Ing. Jens Knollmann 0511/54750-0

Unterstützende Institutionen:

Bezirksregierung Detmold
Büntestr. 1, 32427 Minden

Förderung:

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

