



# Abwasserentsorgung Stadt Rahden

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

## Ertüchtigung der Kläranlage Rahden zur Elimination von Spurenstoffen

Kurzbericht

November 2016

gefördert durch:

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





## 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. 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. 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 Grundwasser 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). Die Stadt Rahden hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt, um die Erweiterung der bestehenden Kläranlage Rahden zur Spurenstoffelimination zu untersuchen. Die Bezirksregierung Detmold hat die Förderung des Projekts „Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie zur Ertüchtigung der Kläranlage Rahden zur Elimination von Spurenstoffen“ bewilligt.

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

## Kurzbericht

---

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

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

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

## 2. Kläranlage Rahden, Gewässer

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

Angeschlossen sind die Kernstadt sowie die Stadtteile Kleinendorf, Varl, Sielhorst, Preußisch Ströhen, Wehe und Tonnenheide. Die Entwässerung erfolgt überwiegend im Trennsystem.



Bild 1: Belebungsbecken, innen liegende Nachklärung (links, rechts)

Folgende Verfahrensstufen sind auf der Kläranlage vorhanden:

- Zulaufpumpwerk, max. 164 l/s, MID Zulaufmessung, Rechenanlage, Feinrechen, belüfteter Sand-, Fettfang,
- Bio-P-Becken (700 m<sup>3</sup>), Verteilerbauwerk, Belebungsbecken, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (7.800 m<sup>3</sup>) mit innen liegender Nachklärung, intermittierende Belüftung, Gebläse-



station, simultane, aerobe Schlammstabilisierung, Simultane P-Fällung, Nachklärung, zweistraßiger Ausbau, Rundbecken (3.468 m<sup>3</sup>), Räumbrücke, Bodenräumschild, Tauchmotorpumpen zur Rücklaufschlammförderung.

- Schlammstapelbecken ( 3 Becken, 4.300 m<sup>3</sup>, 600 m<sup>3</sup>, 600 m<sup>3</sup>)

### **Gewässer - Kleine Aue**

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt über den Schmiergraben in die Kleine Aue. Die Kleine Aue ist ein Nebenfluss der Großen Aue, die zum Gewässersystem der Weser gehört.

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold an der Kleinen Aue (GEWKZ 47618) ergaben ein MNQ von 0,033 m<sup>3</sup>/s (2012). Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von 1.917 m<sup>3</sup>/d bzw. 0,022 m<sup>3</sup>/s (2013-2015) ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von 1 zu 1,5 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 67 % Der Abwasseranteil am MQ von 0,164 m<sup>3</sup>/s beträgt ca. 13 %.

Der ökologische Zustand der Kleinen Aue ist im 2. und 3. Monitoringzyklus von der Mündung in die Große Aue bei Pr. Ströhen bis östlich von Isenstedt als „schlecht“ bewertet. Insbesondere die allgemeine Degradation von Makrozoobenthos, Makrophyten (PHYLIB) und das ökologische Potenzial werden als „schlecht“ eingestuft. Unter den gesetzlich nicht verbindlich geregelten Spurenstoffen wurden u.a. für Diclofenac, Gabapentin, Iopamidol, Metformin, Sotalol, Carbamazepin u.a. Konzentrationen gemessen die über den Orientierungswerten der OGewV liegen.

## **3. Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse**

Zur Abschätzung der Belastung der Kläranlagenabläufe mit Spurenstoffen wurde zu Beginn der Untersuchungen ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage (Ablauf Nachklärung) sowie im Gewässer vorgenommen. Untersucht wurden 23 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe. Unter anderem wurden analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Lipidsenker, Schmerzmittel u.a..

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



## Kurzbericht

Tabelle 1: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Rahden (09.12 – 10.12.2015, 07.05.2012 – 10.05.2012) und im Gewässer (Kleine Aue) (01.10.2015)

Spurenstoffe:			Spurenstoff-Messwerte							D4-Liste OW / PV	OGewV UQN
Gruppe	Wirkstoffe		Ablauf KA	Ablauf KA	Oberlauf Ein.stelle	Diff. OL/ Ablauf KA	Unterlauf Ein.stelle	Diff. Ober- /Unterlauf	Diff. UL/ Ablauf KA	LAWA/PNEC, UFO Plan, EU Draft u.a.	Jahresmittel J-MW/Max.
			10.05.12	09.12.15 - 10.12.15							
<b>Antiepileptikum</b>	Carbamazepin	µ g/l	1,70	0,68	0,19	28%	0,37	195%	54%	0,5 J-MW	
<b>Antibiotika</b>	Clarithromycin	µ g/l	0,28	< 0,2	0,08		0,096	123%	höher	0,02 J-MW	
	Sulfamethoxazol	µ g/l	0,20	0,45	0,15	33%	0,20	133%	44%	0,15 J-MW	
<b>Schmerzmittel</b>	Diclofenac	µ g/l	1,90	2,00	0,70	35%	0,89	127%	45%	0,1 J-MW	
	Naproxen	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Phenazon	µ g/l		< 0,05			0,05		höher	1,1 J-MW	
<b>Betablocker</b>	Metoprolol	µ g/l	2,30	2,50	1,00	40%	1,20	120%	48%	7,3 J-MW	
	Sotalol	µ g/l	1,10	0,55	0,11	20%	0,21	191%	38%	0,1 J-MW	
	Atenolol	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Bisoprolol	µ g/l		0,29			0,19		66%	0,1 J-MW	
<b>Röntgenkontrast</b>	Amidotrizoesäure	µ g/l	1,50	4,30			0,56		13%	0,1 J-MW	
	Iopamidol	µ g/l	9,10	34,00			6,10		18%	0,1 J-MW	
	Iopromid	µ g/l	0,23	< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
	Iomeprol	µ g/l	0,15	< 0,05			< 0,05			0,1 J-MW	
<b>Psychopharmaka</b>	Oxacepam	µ g/l		0,21			0,098		47%	0,1 J-MW	
<b>Lipidsenker</b>	Bezafibrat	µ g/l		< 0,05			0,18			0,1 J-MW	
<b>Komplexbildner (Geschirrspülmittel)</b>	Benzotriazol	µ g/l	2,40	3,50	1,10	31%	1,40	127%	40%	10 J-MW	
<b>Hormon</b>	17-alpha Ethinylestradiol	µ g/l		< 0,001			< 0,001			0,000035 (Ethinylestradiol)	
	17-beta-Estradiol	µ g/l		< 0,001			< 0,001				
	Estron	µ g/l		< 5			< 5			0,0004 (für Estron)	
<b>Herbizid</b>	Terbytryn	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,065 J-MW	0,065 J-MW 0,34 Max.
	Isoproturon	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,3 J-MW	0,3 J-MW 1,0 Max.
	Diuron	µ g/l		< 0,05			< 0,05			0,2 J-MW	0,2 J-MW 1,8 Max.
<b>Süßstoff</b>	Acesulfam	µ g/l	42,00							k.A.	k.A.
	Sucralose	µ g/l	2,00							k.A.	k.A.
	Bromid	mg/l		< 0,05						k.A.	k.A.

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

Das Antiepileptikum Carbamazepin konnte im Unterlauf der Einleitungsstelle noch mit einer rd. 50% geringeren Konzentration festgestellt werden. Weitere Spurenstoffbelastungen konnten im Gewässer unterhalb der Einleitungsstelle für das Schmerzmittel Diclofenac, das Antibiotikum Sulfamethoxazol, die Betablocker Metoprolol, Sotalol und Bisoprolol, den Komplexbildner Benzotriazol und das Psychopharmaka Oxacepam in Höhe von 38% - 66% der Ablaufkonzentration der KA Rahden festgestellt werden.

Kurzbericht

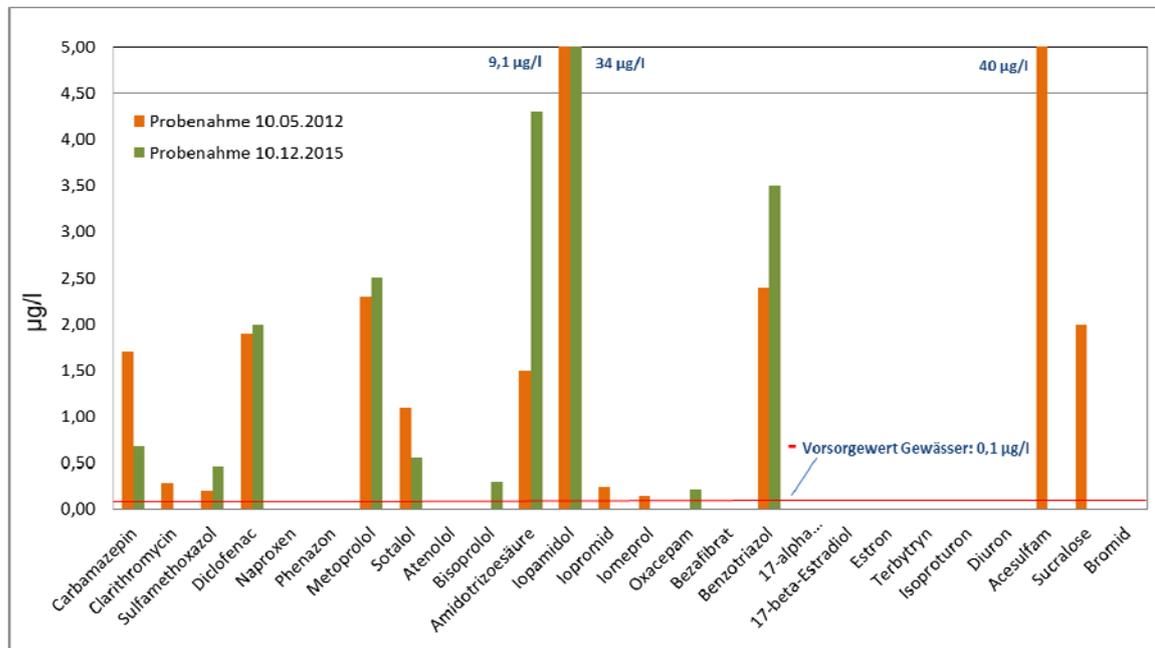


Bild 2: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Nachklärung

#### 4. Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Rahden

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

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

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

##### 3. Oxidative Verfahren

- Ozonung + Sandfilter (Dyna-Sand Filter)

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

Die verfügbare Erweiterungsfläche zur Realisierung einer 4. Reinigungsstufe liegt östlich der Kläranlage und beträgt über 1.200 m<sup>2</sup>.

Kurzbericht



Bild 3: Luftbild KA Rahden, potentielle Erweiterungsfläche (ELWAS-WEB)

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

Tabelle 2: Auslegung – Spurenstoffelimination

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

Nachfolgend werden die Verfahrensschemata und die Darstellung der untersuchten Varianten im Lageplan aufgeführt.

Kurzbericht

**Variante 1.1 - PAK Dosierung in Belebung, nachgeschaltete Filterstufe**

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

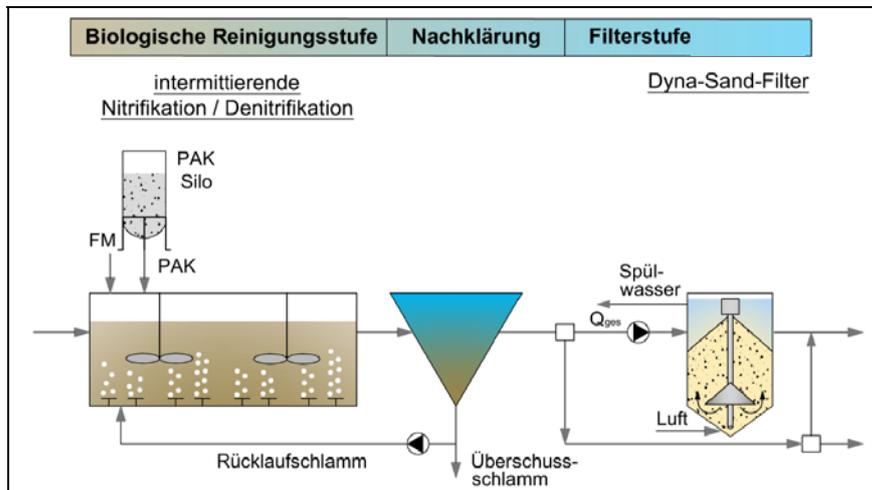


Bild 4: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

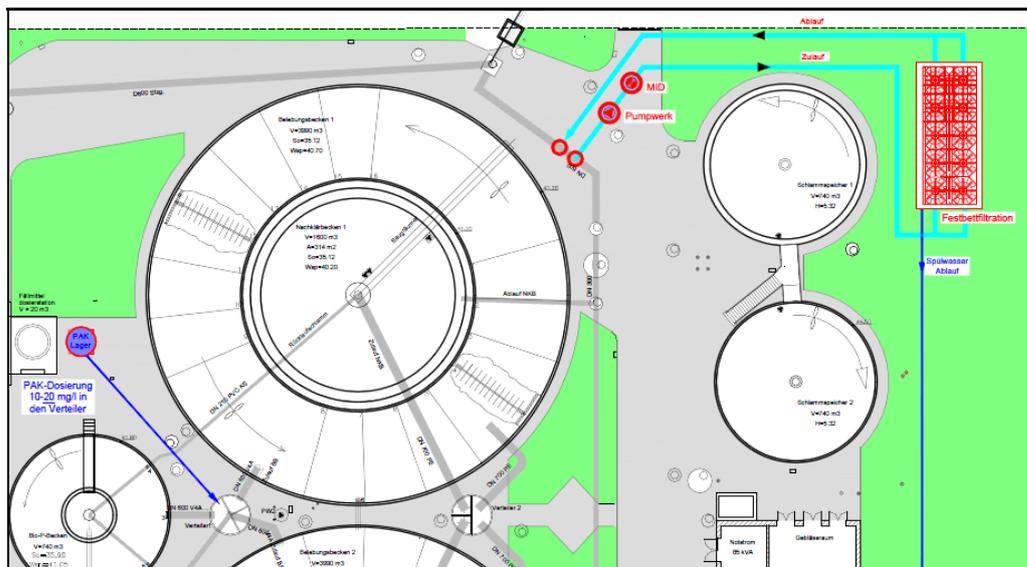


Bild 5: Lageplan KA Rahden - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

Kurzbericht

**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

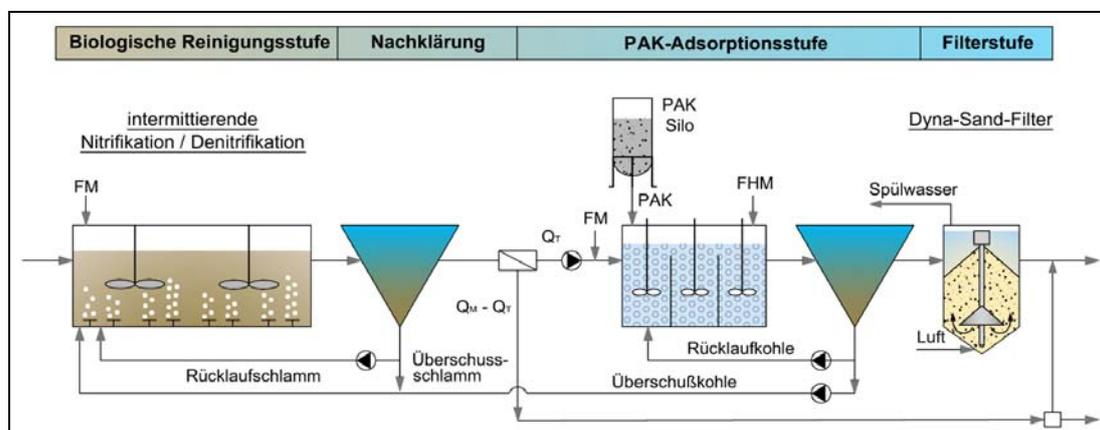


Bild 6: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2 (DS Filtration)

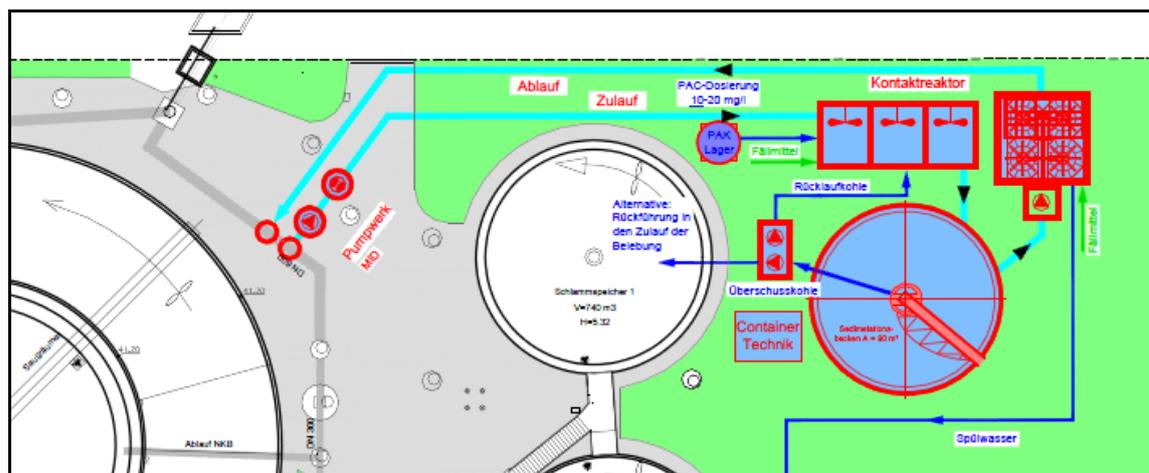


Bild 7: Lageplan KA Rahden - Variante 1.2 – PAK Dosierung in adsorptive Reinigungsstufe

## 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
- Elektro-, MSR-Technik

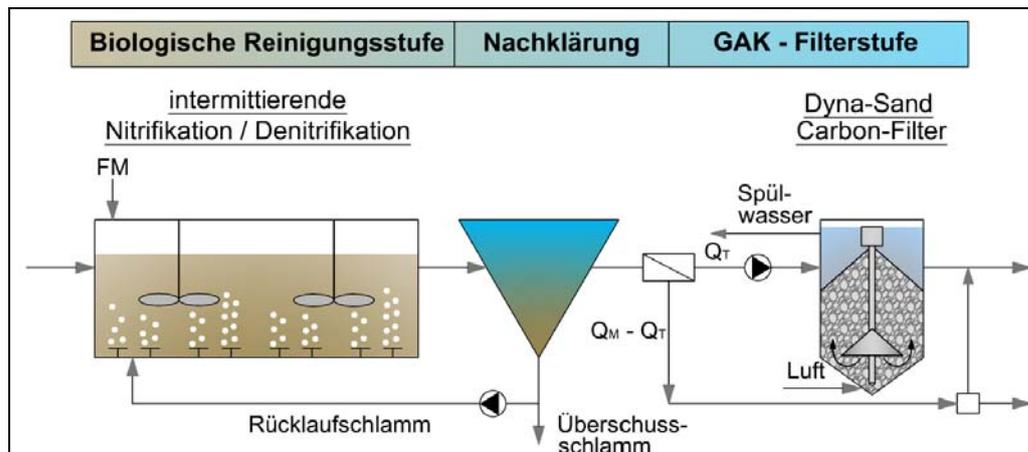


Bild 8: Verfahrensschema – Mikro Schadstoffelimination – Variante 2.1

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 Waschlabirynthen
- 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), Steuerschrank. 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).

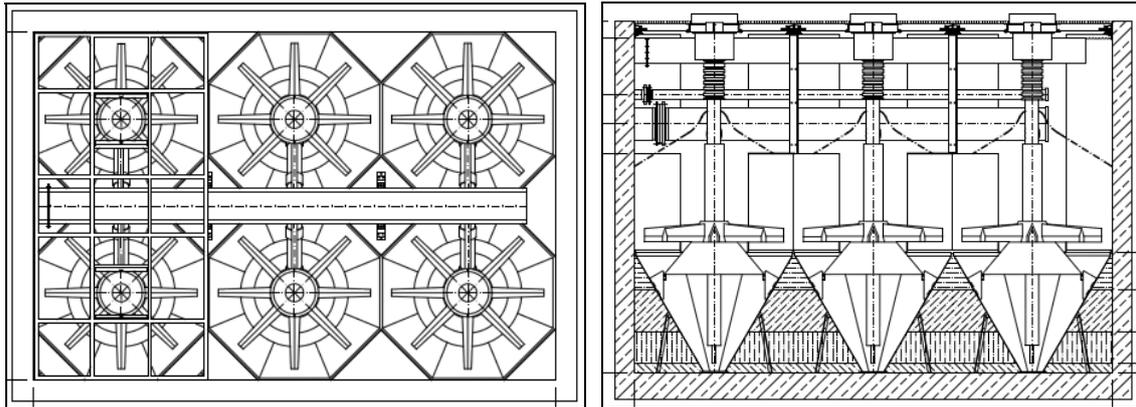


Bild 9: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung)  
(Quelle: Fa. Nordic Water)

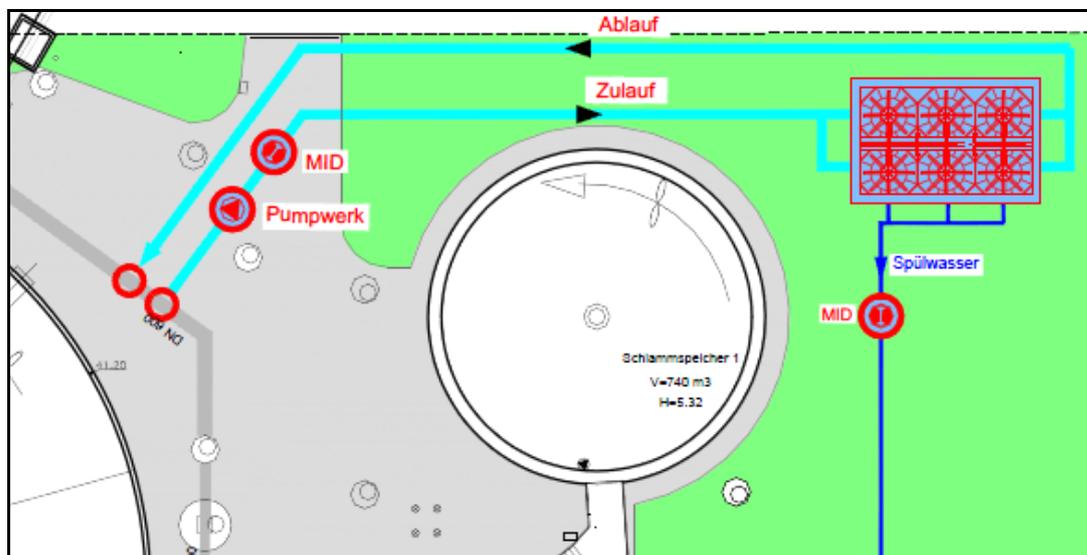


Bild 10: Lageplan KA Rahden - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

### Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorberstufe

Es werden folgenden Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

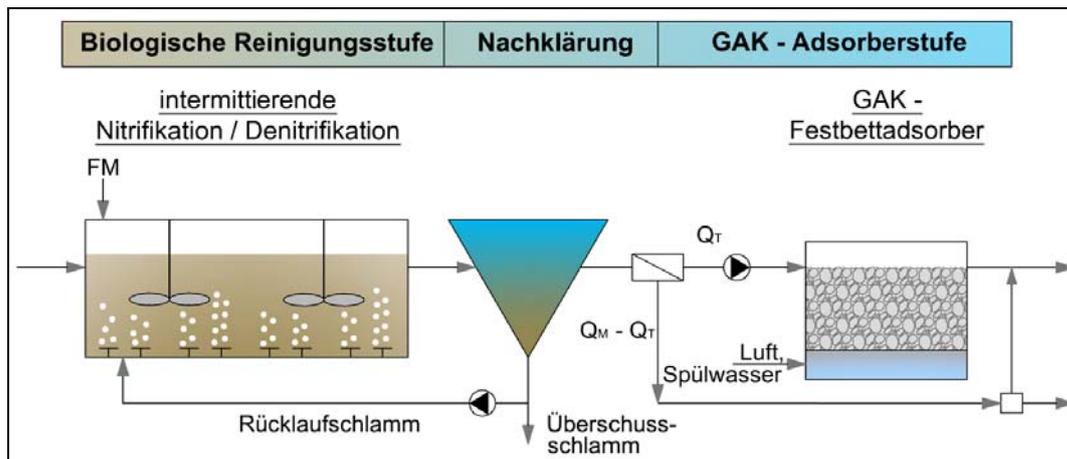


Bild 11: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

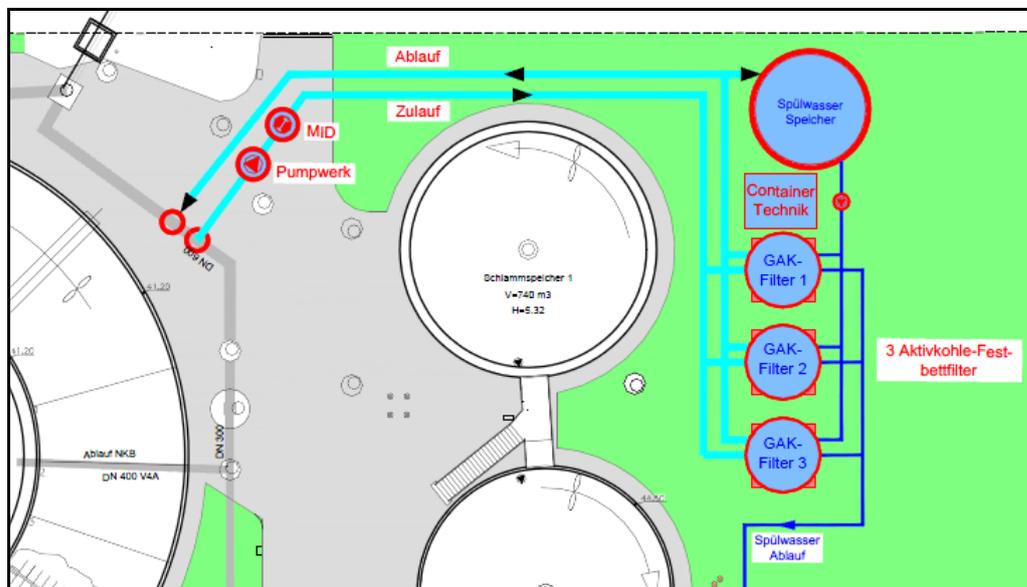


Bild 12: Lageplan KA Rahden - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe

### Variante 3.1 - Ozonung, nachgeschalteter Dyna-Sand Filter

Es werden folgende Anlagenkomponenten vorgesehen:

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

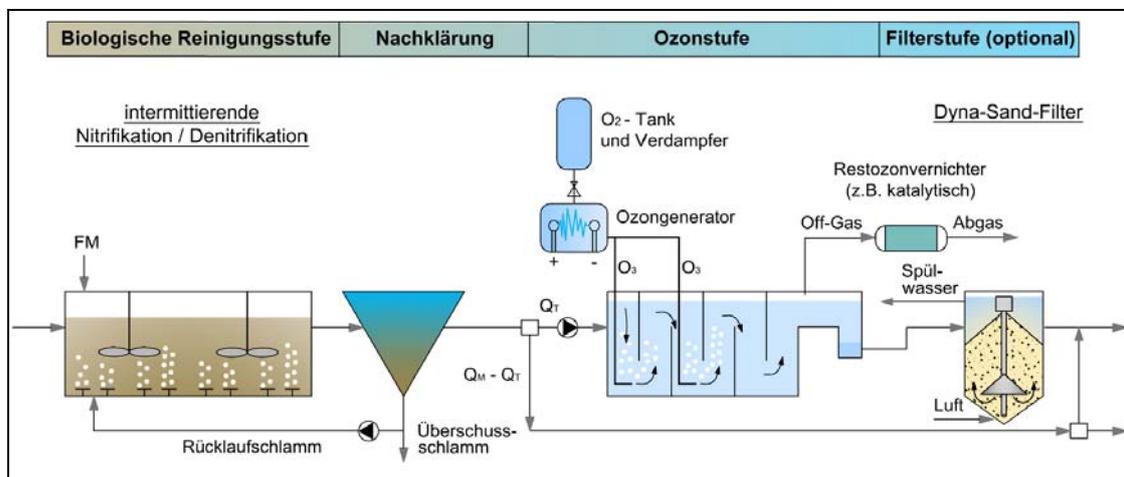


Bild 13: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

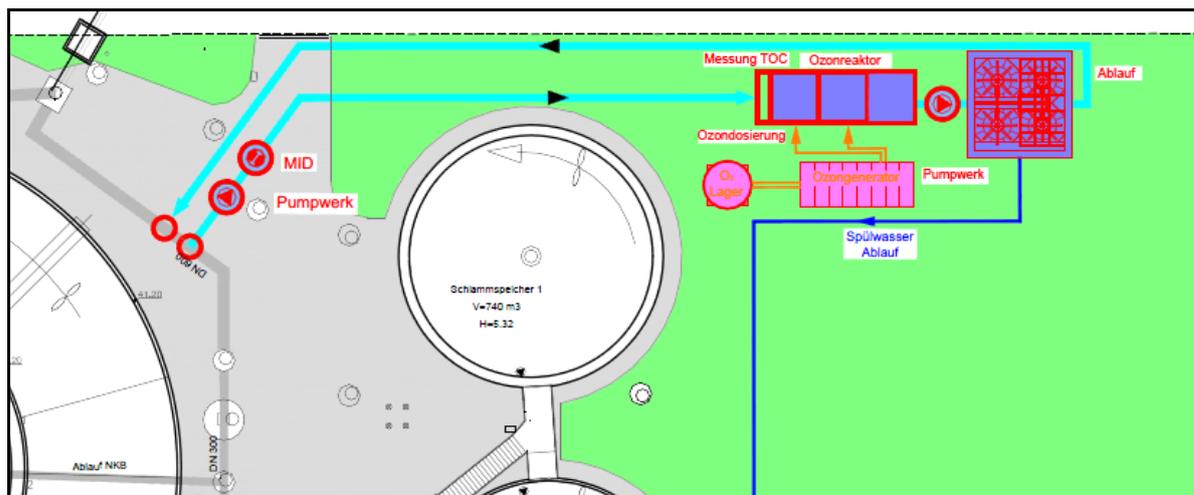


Bild 14: Lageplan KA Rahden - Variante 3.2 – Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration



## 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.

Tabelle 3: Zusammenstellung Investitionskosten

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

Die Variante 2.1 (DSC-Filter) weist mit rd. 1.21 Mio. Euro (brutto) die geringsten Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 21% über dieser Variante liegt mit rd. 1,46 Mio. Euro die Variante 2.2 GAK Adsorptions-Filter. Die Varianten 1.2 und 1.2b weisen mit Mehrkosten von 88% bzw. 78 % im Vergleich zu Variante 2.1 die höchsten Investitionskosten auf.

### Betriebskosten

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

Die Betriebskosten ohne Schlammensorgung variieren von rd. 92.000 €/a der günstigsten Varianten 2.1 bis rd. 142.000,-- € bei Variante 1.1 (brutto).



Tabelle 4: Zusammenstellung Betriebskosten mit und ohne Schlammmentsorgungskosten

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

## Jahreskosten

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

Tabelle 5 und Bild 15 zeigen den Jahreskostenvergleich bei Berücksichtigung einer angenommenen Förderung der Investitionskosten von 70 %, dem für 2016 gültigen Fördersatz (mit Berücksichtigung der Schlammmentsorgungskosten).

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung die Variante 2.1 mit einer GAK Dyna-Sand Carbon Filtration die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Variante mit Ozonierung liegt mit Mehrkosten von 37 % im mittleren Bereich. Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,27 €/m<sup>3</sup> Frischwasser.

Soll auch berücksichtigt werden, dass ab 2025 voraussichtlich die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung für Kläranlagen ab Größenklasse 4 entfällt, sind die höheren Schlammmentsorgungskosten für eine thermische Verwertung aus der Kostenvergleichsrechnung heraus zu nehmen. Auch in diesem Fall weist die Variante 2.1 mit GAK in einer Dyna-Sand Carbon Filtration die im Vergleich günstigsten Jahreskosten auf.



## Kurzbericht

Tabelle 5: Jahreskosten (Förderung 70 %, mit Schlammensorgungskosten)

Untersuchungszeitraum: 30 a Bezugszeitpunkt: 2015 Realer Zinssatz: $i_r = 3\%$ Preissteigerungsrate $r = 0$	Variante 1 - PAK		Variante 2 - GAK		Variante 3 - Ozon
	Variante 1.1 - PAK in Beleb., DS Filtration	Variante 1.2 - PAK in adsorpt. Stufe - DS Filtr.	Variante 2.1 -GAK in DS-Karbon	Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption	Variante 3.1 -Ozon, Dyna-Sand Filtration
<b>Investitionskosten einschl. NK (20%) (gesamt) (netto)</b>	1.483.877 €	1.912.374 €	1.017.918 €	1.231.402 €	1.556.434 €
Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto)	1.038.714 €	1.338.662 €	712.543 €	861.981 €	1.089.504 €
KFAKR <sub>3,30</sub>	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102	0,05102
<b>Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)</b>	<b>52.995 €</b>	<b>68.299 €</b>	<b>36.354 €</b>	<b>43.978 €</b>	<b>55.586 €</b>
<b>Jahreskosten Invest,NK mit Förderung (netto)</b>	<b>52.494 €</b>	<b>69.458 €</b>	<b>31.748 €</b>	<b>39.591 €</b>	<b>59.221 €</b>
<b>Jahreskosten Betrieb (netto)</b>	<b>119.555 €</b>	<b>110.374 €</b>	<b>77.293 €</b>	<b>83.874 €</b>	<b>89.901 €</b>
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (netto)</b>	<b>172.049 €</b>	<b>179.832 €</b>	<b>109.041 €</b>	<b>123.465 €</b>	<b>149.122 €</b>
Mehrwertsteuer 19%	32.689 €	34.168 €	20.718 €	23.458 €	28.333 €
<b>Jahreskosten Gesamt mit Förderung (brutto)</b>	<b>204.739 €</b>	<b>214.000 €</b>	<b>129.759 €</b>	<b>146.923 €</b>	<b>177.455 €</b>
<b>Prozente</b>	158%	165%	100%	113%	137%

## mit Förderung (70%) mit Klärschlammensorgungskosten

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

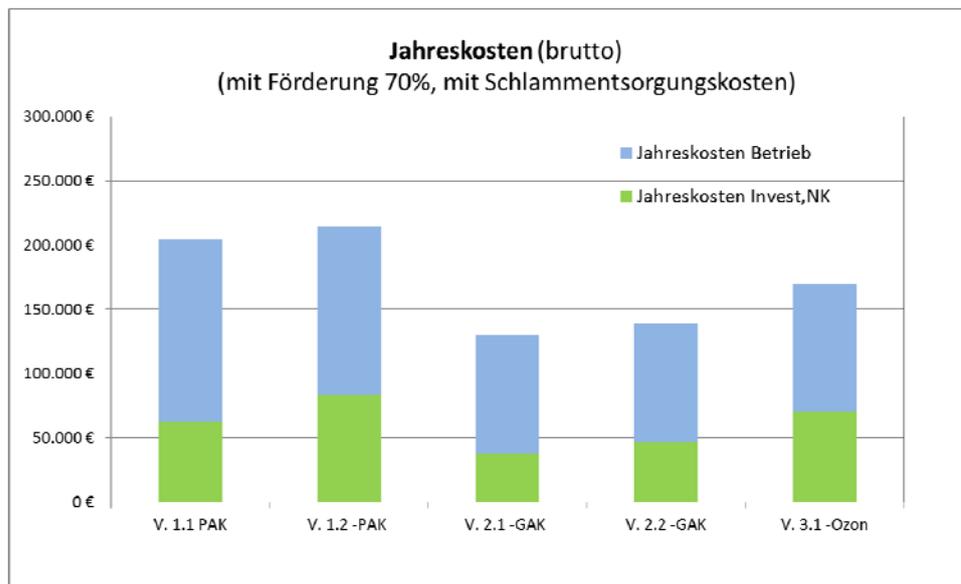


Bild 15: Jahreskosten – mit Förderung, mit Schlammensorgungskosten (brutto)



## 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.

Tabelle 6: Bewertungsmatrix der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Kriterium	Wichtung	Variante 1.1 - PAK in BB		Variante 1.2 - PAK Adsorpt. Stufe		Variante 2.1 - GAK DS-Karbon		Variante 2.2 - GAK Adsorber		Variante 3.1 - Ozon, DS-Filtration	
		[%]	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte	Gewicht	Punkte
Jahreskosten mit Förderung	30%	2	0,60	2	0,60	5	1,50	4	1,20	3	0,90
Jahreskosten, Förderung, ohne Schlammments.	30%	3	0,90	3	0,90	5	1,50	4	1,20	3	0,90
Reinigungsleistung Spurenstoffe	10%	3	0,30	5	0,50	4	0,40	4	0,40	5	0,50
Reinigungsleistung P, CSB (zusätzliche Reduktion)	5%	3	0,15	5	0,25	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Reinigungsleistung Mikroplastik	5%	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Reduzierung von Legionellen, Keimen im KA Ablauf	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	5	0,25
Bildung Nebenprodukte (Transformationsprodukte)	5%	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	4	0,20
Wartungsaufwand, Betriebsaufwand	10%	5	0,50	3	0,30	4	0,40	4	0,40	3	0,30
Erfahrungen, Referenzen	5%	3	0,15	5	0,25	4	0,20	3	0,15	4	0,20
Betriebssicherheit	10%	5	0,50	3	0,30	4	0,40	4	0,40	3	0,30
Sensitivität Kostensteigerung	5%	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	4	0,20
Klimarelevanz, CO <sub>2</sub> -Emission	5%	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Platzbedarf	5%	5	0,25	3	0,15	4	0,20	4	0,20	4	0,20
<b>Summe mit Förderung</b>	100%		3,45		3,35		<b>4,15</b>		3,80		3,65
<b>Summe - Förderung, ohne Schlammments.</b>	100%		3,75		3,65		<b>4,15</b>		3,80		3,65

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

Die Kosten-Nutzwertanalyse zeigt für den Fall einer Förderung der Maßnahme (70 %), sowohl bei Berücksichtigung als auch bei Vernachlässigung der Schlammmentsorgungskosten, für die Variante 2.1 GAK Dyna-Sand Carbon Filtration mit 4,15 Nutzwertpunkten die höchste Bewertung.



## **7. Zusammenfassung und Empfehlung**

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

Unter Einbeziehung der derzeit möglichen Landesförderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten (2016), ergeben sich Jahreskosten von rd. 130.000,- € (brutto) für die günstigste Variante 2.1 mit GAK Dyna-Sand Carbon Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 7,16 €/EW/a bzw. 0,27 € pro m<sup>3</sup> Frischwasser (brutto).

Als Ergebnis der Nutzwertanalyse zeigt die Variante 2.1 mit Dyna-Sand Carbon Filtration mit einer Bewertung von 4,15 Nutzwertpunkten die höchste Bewertung.

Derzeit ist nicht bekannt wann Auflagen zur Spurenstoffbehandlung seitens des Gesetzgebers erlassen werden. Die Umsetzung einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination wird aber durch das Landes Nordrhein-Westfalen empfohlen. Es ist nicht auszuschließen, dass die Aufsichtsbehörde einen entsprechenden Ausbau in aktualisierten wasserrechtlichen Einleitungserlaubnissen anordnet.

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



Kurzbericht

---

## 8. Beteiligte Einrichtungen, Organisation und Firmen

### **Betreiber:**

Abwasserentsorgung Stadt Rahden  
Lange Straße 5-9, 32369 Rahden  
Ludger Ellers 05771/73-45

Schumacher Kläranlagen GmbH  
Neuer Weg 79, 38302 Wolfenbüttel  
Frank Schmidt 05331/9727-0

### **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**

