# Gemeinde Steinhagen

## Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

# Ertüchtigung der Kläranlage Steinhagen zur Elimination von Spurenstoffen

## Kurzbericht

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

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 jeweils in Verbindung mit einem Sandfilter
- Ozonung in Verbindung mit einem Sandfilter

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

# 2 Kläranlage Steinhagen, Gewässer

Die Kläranlage Steinhagen wurde 1958 in Betrieb genommen und 1992 aufgrund steigender Schmutzfrachten und erhöhter Reinigungsanforderungen hinsichtlich der Stickstoffelimination umfassend erweitert. Der Ausbau erfolgte auf eine Ausbaugröße von 40.000 Einwohnerwerte (EW). Derzeit sind rd. 33.000 EW angeschlossen.

Folgende Verfahrensstufen sind auf der Kläranlage vorhanden:

- Rechenanlage, belüfteter Sand- und Fettfang, Venturi-Messrinne (Zulauf), Zwischenpumpwerk
- Vorklärung, einstraßig (V = 843 m³)
- Belebungsbecken, zweistraßiger Ausbau, (1 Kombibecken – Belebung, innenliegende Nachklärung), 1 separates Belebungsbecken) ($V_{ges,BB}$ = 6.476 m³), Simultane P-Fällung
- Nachklärung, 2 Becken ($V_{ges.\ NKB}$ = 4.248 m³, Oberfläche: 1.416 m²)
- Faulbehälter (2.300 m³), Gasbehälter, Gasfackel
- Schlammeindickung, Voreindicker (V = 490 m³), Nacheindicker (V = 547 m³)

Bild 1: Möglicher Standort – 4. Reinigungsstufe (nord-westl. Schlammbehandlung)

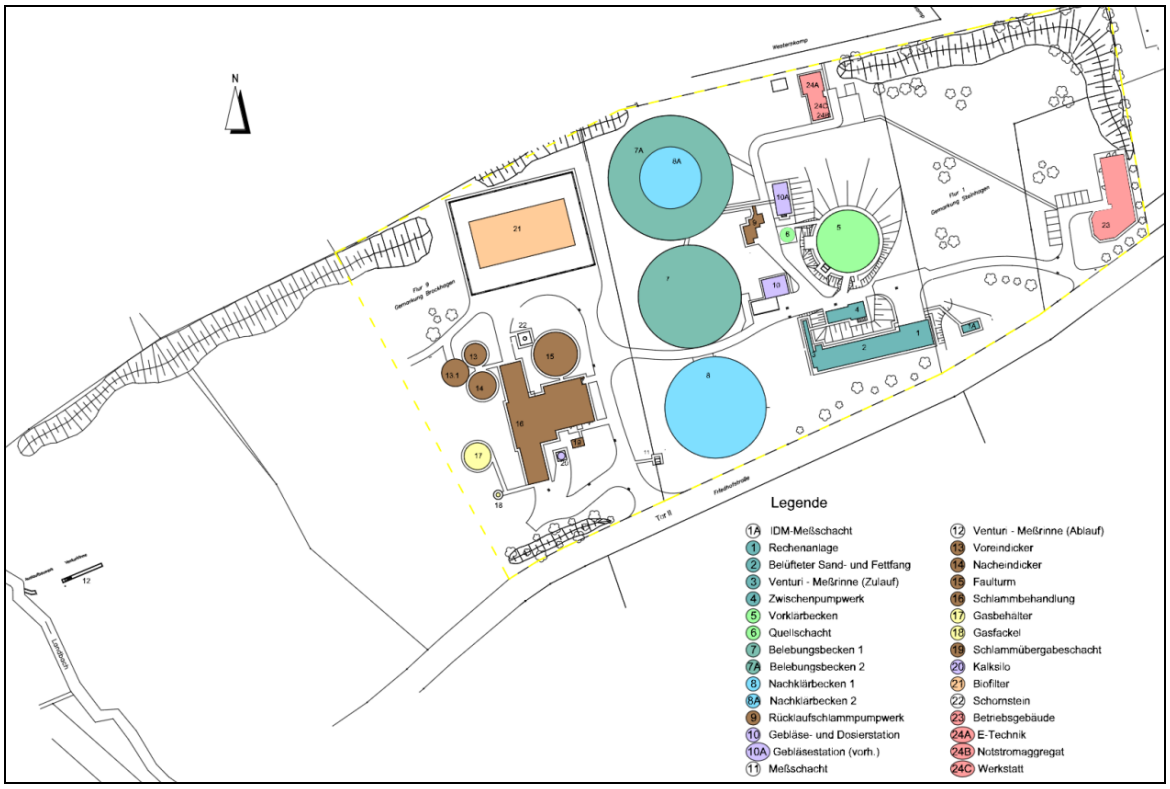



Bild 2: Lageplan Kläranlage

## Gewässersystem Abrooksbach

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in den Abrooksbach, der südlich von Steinhagen durch den Zusammenfluss der Quellbäche Bültmannsbach, Pulverbach und Cronsholbach entsteht. Der Abrooksbach mündet südlich von Harsewinkel in die Ems.

Pegelmessungen der Bezirksregierung Detmold am Abrooksbach (GEWKZ 3134) ergaben ein MNQ von 0,084 m³/s (2012). Bezogen auf den mittleren Trockenwetterabfluss der Kläranlage von 4.747 m³/d bzw. 0,055 m³/s (2012-2014) ergibt sich ein Mischungsverhältnis – Abwasserabfluss zu Gewässerabfluss – von ca. 1 zu 1,5 bei MNQ. Der Abwasseranteil am MNQ beträgt ca. 65 %.
Der Abwasseranteil am MQ von 0,157 m³/s beträgt ca. 35 %.

Der ökologische Zustand des Abrooksbaches wird im 2. Monitoringzyklus als „schlecht“ und im 3. Monitoringzyklus als „unbefriedigend“ bewertet. Die Saprobie zeigt einen „guten“ Gewässerzustand. Makrozoobenthos (MZB) zeigt für die allgemeine Degradation einen „mäßigen“ Zustand (3. Monitoringzyklus) ebenso wie Makrophythen (PHYLIB, NRW) sowie Phytobenthos (Diatomeen).

Das ökologische Potential wird als unbefriedigend eingestuft (3. MZ). In Bezug auf Fische ist die Situation unbefriedigend. Die meisten vorgenannten Parameter zeigen eine graduelle Verbesserung vom 2. Monitoringzyklus zum 3. Monitoringzyklus.

Der chemische Zustand wird als „nicht gut“ bewertet. Es wurde unter den allgemeinen chemischen und physikalischen Parametern (ACP) für Ammonium-Stickstoff und Gesamtphosphat-Phosphor sowie organischen Kohlenstoff (TOC) Stoffkonzentrationen festgestellt die Grenz- und Orientierungswerte überschritten.

# 3 Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse

Zur Abschätzung der Belastung der Kläranlagenabläufe mit Spurenstoffen, wurde ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage und im Gewässer vorgenommen. Untersucht wurden 23 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe. Unter anderem wurde analysiert: Antibiotika, Antiepileptika, Betablocker, Kontrastmittel, Schmerzmittel.

Tabelle 1: Spurenstoffkonzentrationen im Ablauf der KA Steinhagen

| **Spurenstoffe:** | | | **Spurenstoff-Messwerte** | | | **Grenzwerte D4-Liste** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gruppe | Wirkstoffe | | **Ablauf KA** | **Unterlauf Ein.stelle** | Diff. UL/ Ablauf KA | LAWA/PNEC, WRRL |
| | | | 12.08.15 - 14.08.15 | 17.08.15 | | |
| **Antiepileptikum** | Carbamazepin | µ g/l | 0,46 | 0,27 | 59% | 0,5 / 2,5 |
| **Antibiotika** | Clarithromycin | µ g/l | 0,11 | 0,073 | 66% | 0,02 |
| | Sulfamethoxazol | µ g/l | 0,22 | 0,11 | 50% | 0,15 |
| **Schmerzmittel** | Diclofenac | µ g/l | 1,40 | 0,70 | 50% | 0,1 |
| | Naproxen | µ g/l | 0,23 | 0,10 | 43% | 0,1 |
| | Phenazon | µ g/l | < 0,05 | < 0,05 | | 1,1 |
| **Betablocker** | Metoprolol | µ g/l | 1,80 | 0,89 | 49% | 7,3 |
| | Sotalol | µ g/l | 0,19 | 0,11 | 58% | 0,1 |
| | Atenolol | µ g/l | 0,10 | 0,060 | 60% | 0,1 |
| | Bisoprolol | µ g/l | 0,078 | < 0,05 | | 0,1 |
| **Röntgenkontrast** | Amidotrizoesäure | µ g/l | 0,079 | 0,57 | 722% | 0,1 |
| | Iopamidol | µ g/l | 1,40 | 0,62 | 44% | 0,1 |
| | Iopromid | µ g/l | < 0,05 | < 0,05 | | 0,1 |
| | Iomeprol | µ g/l | < 0,05 | < 0,05 | | |
| **Psychopharmaka** | Oxacepam | µ g/l | 0,079 | < 0,05 | | 10 |
| **Lipidsenker** | Bezafibrat | µ g/l | 0,053 | < 0,05 | | 0,1 |
| **Komplexbildner** (Geschirrspülmittel) | Benzotriazol | µ g/l | 4,90 | 2,70 | 55% | 0,1 /4,5/10 |
| **Hormon** | 17-alpha Ethinylestradiol | µ g/l | < 0,001 | < 0,001 | | 0,000035 (Ehinylestradiol) |
| | 17-beta-Estradiol | µ g/l | < 0,001 | < 0,001 | | |
| | Estron | µ g/l | < 5 | < 5 | | 0,0004 (für Estron) |
| **Herbizid** | Terbytryn | µ g/l | 0,064 | 0,054 | | 0,03 / 0,065 |
| | Isoproturon | µ g/l | < 0,05 | < 0,05 | | 0,3 |
| | Diuron | µ g/l | < 0,05 | < 0,05 | | 0,3 |
| | Bromid | mg/l | 0,05 | | | > 0,1 (Grw. O3) |

Für die Antibiotika Clarithromycin und Sulfamethoxazol, die Schmerzmittel Diclofenac und Naproxen, die Betablocker Sotalol und Atenolol, das Röntenkontrastmittel Iopamidol sowie den Komplexbildner Benzotriazol fanden sich im Ablauf der Kläranlage Steinhagen Konzentrationen oberhalb der Orientierungswerte (J-MW) gemäß D4-Liste. Für das Herbizit Terbytryn zeigte sich eine Überschreitung der Umweltqualitätsnorm der OGewV.

Unterhalb der Einleitungsstelle fanden sich Konzentrationen im Bereich von 43 % bis 66% der Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Steinhagen und sogar ein deutlich höherer Werte für Amidotrizoesäure (722 %). Höhere Konzentrationen im Gewässer im Verhältnis zum Kläranlagenablauf sind mit der abweichenden Probenahme (Stichprobe) zu erklären bzw. Ausreißer.

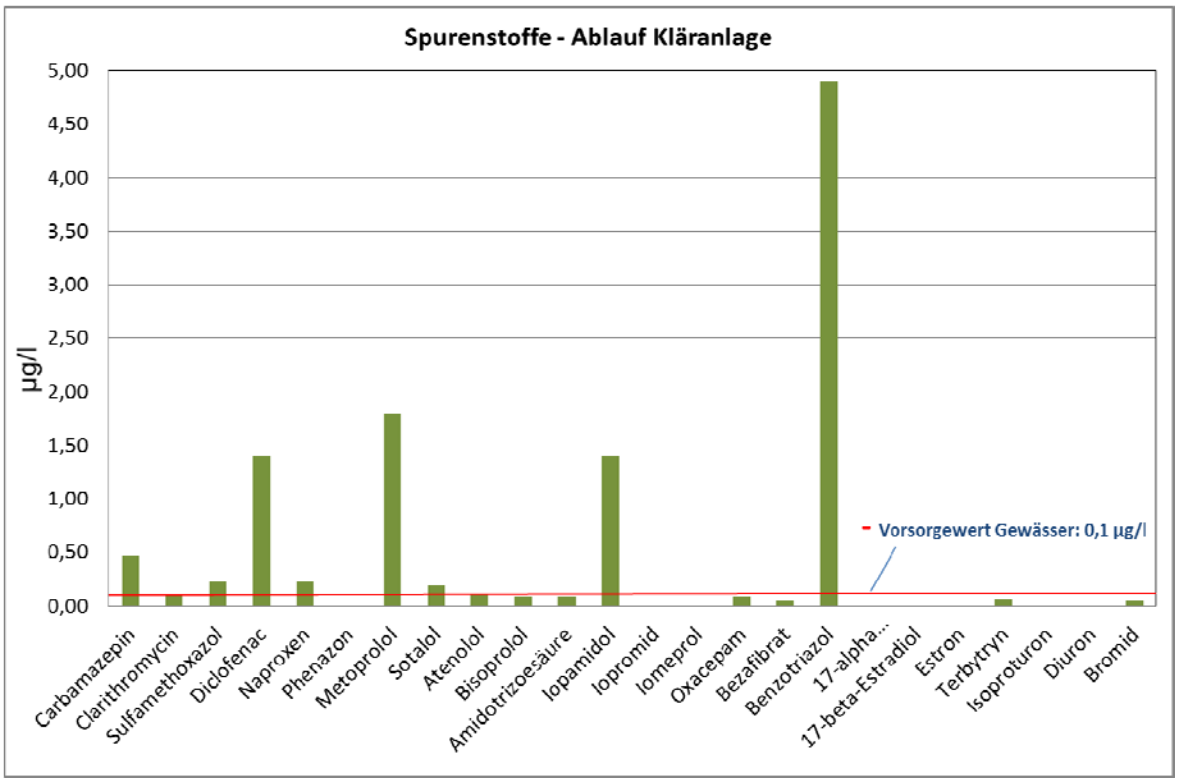



Bild 3: Spurenstoff-Screening - Nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage Steinhagen

# 4 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Steinhagen zur Spurenstoffelimination

Für die nachfolgende Variantenbetrachtung werden die wesentlichen Verfahrenstechniken zur Mikroschadstoffentfernung hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit auf der Kläranlage Steinhagen untersucht. Neben den Hauptverfahren auf Basis von PAK, GAK und Ozon, unterscheiden sich die Verfahren im Hinblick auf die nachgeschaltete Filterstufe.

Folgende Verfahren werden betrachtet:

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

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

**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)

Die verfügbare Erweiterungsfläche liegt im westlichen Kläranlagenbereich und hat eine Größe von rd. 1.500 m².

Bild 4: Potentielle Erweiterungsfläche – Kläranlage Steinhagen (blaue Markierung) (Luftbild - Quelle: Google-Earth)

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

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

Tabelle 2: Auslegung – Spurenstoffelimination

| **KA Steinhagen** | **Bemessung Spurenstoffelimination -** Ausbau-Zustand (+21 %) | | | **Bemerkung** |
|---|---|---|---|---|
| Trockenwetterzufluss (mittel), $Q_{T,mittel}$ | 5.215 m³/d | 217 m³/h | 60 l/s | JSM 2012-2014+21% $Q_{S,a}$ |
| Trockenwetterzufluss (max.) $Q_{T,max.}$ | | **300 m³/h** | **83 l/s** | Steigerung $Q_{T,max.}$ in Summe: 13,6% |
| Trockenwetterzufluss (min.) $Q_{T,min.}$ | | 124 m³/h | 34 l/s | |
| Regenwetterzufluss (max.) | | **1.387 m³/h** | 385 l/s | KA-Bem. |
| Regenwetterzufluss (Bem. Filtration) | | **900 m³/h** | 250 l/s | rd. 65% KA-Bem. |
| Fremdwasserzufluss | 2.519 m³/d | 105 m³/h | 29 l/s | konstanter FW-Anteil rd. 53% |
| Frischwasser/Schmutzwasser | 2.696 m³/d | 112 m³/h | 31 l/s | Steigerung; 21 % |

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

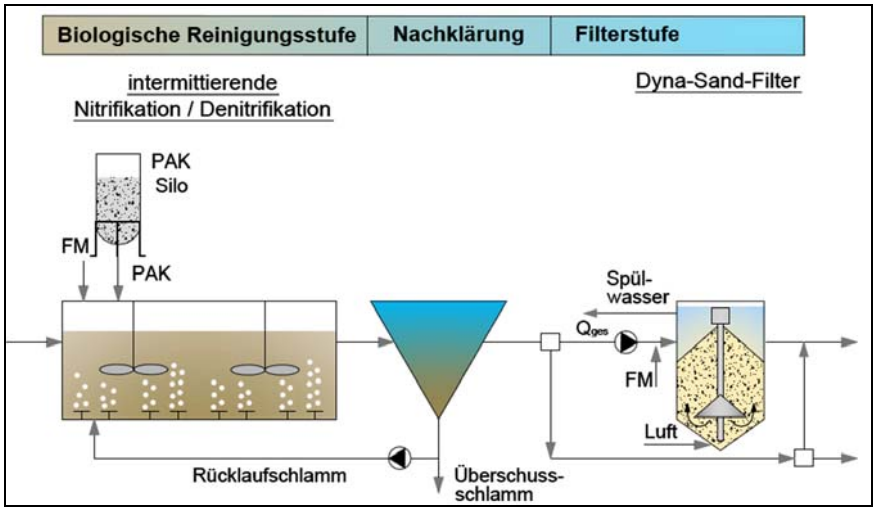



Bild 5: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.1

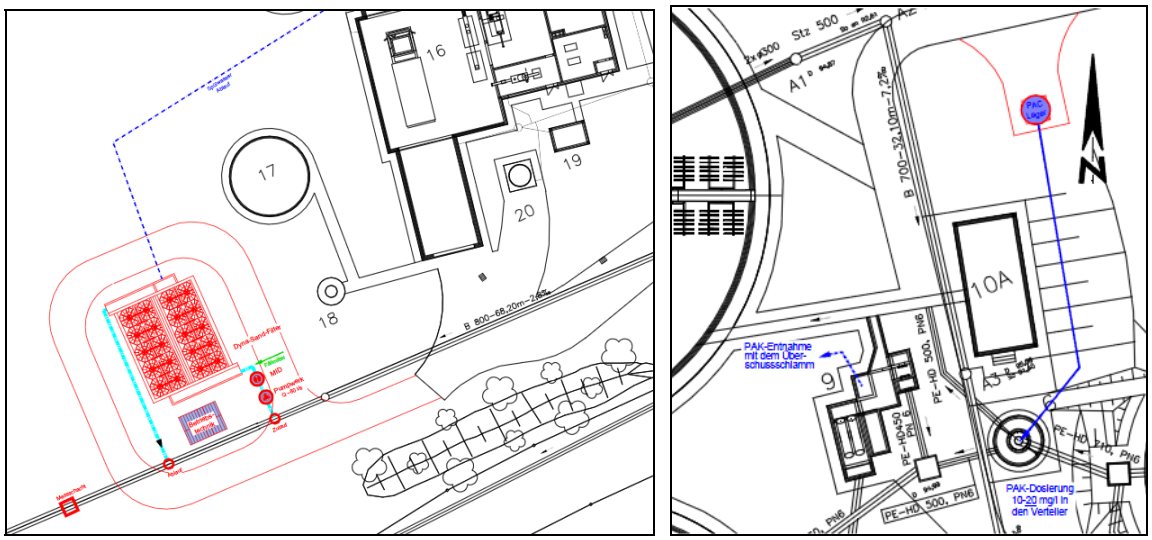



Bild 6: Lageplan KA Steinhagen - Variante 1.1 – PAK Dosierung in die Belebung, Dyna-Sand Filtration Ablauf Nachklärung

## 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 Filter)
- Optional – Fällmittel, Flockungshilfsmittel Lager- und Dosierstation

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

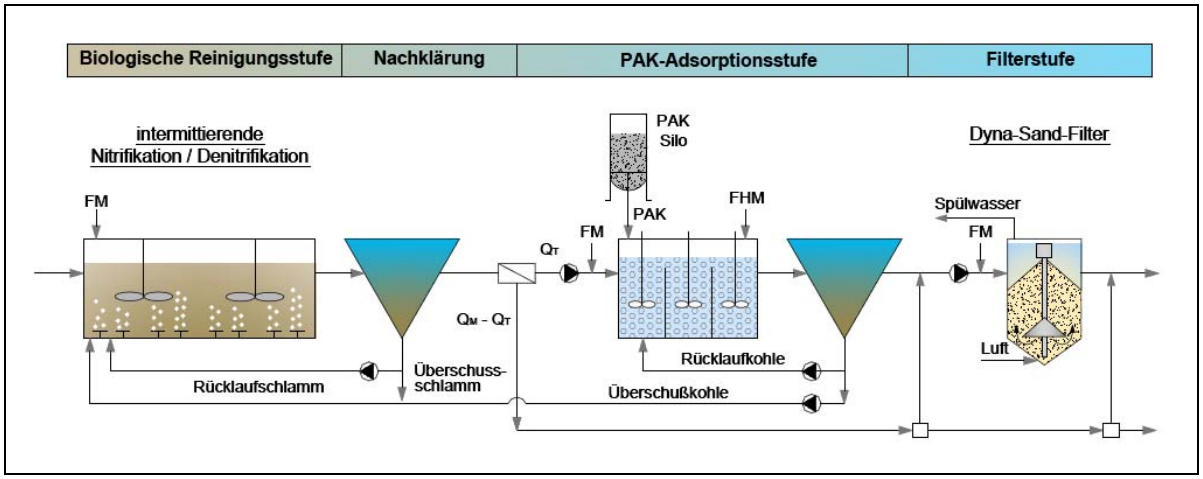



Bild 7: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 1.2

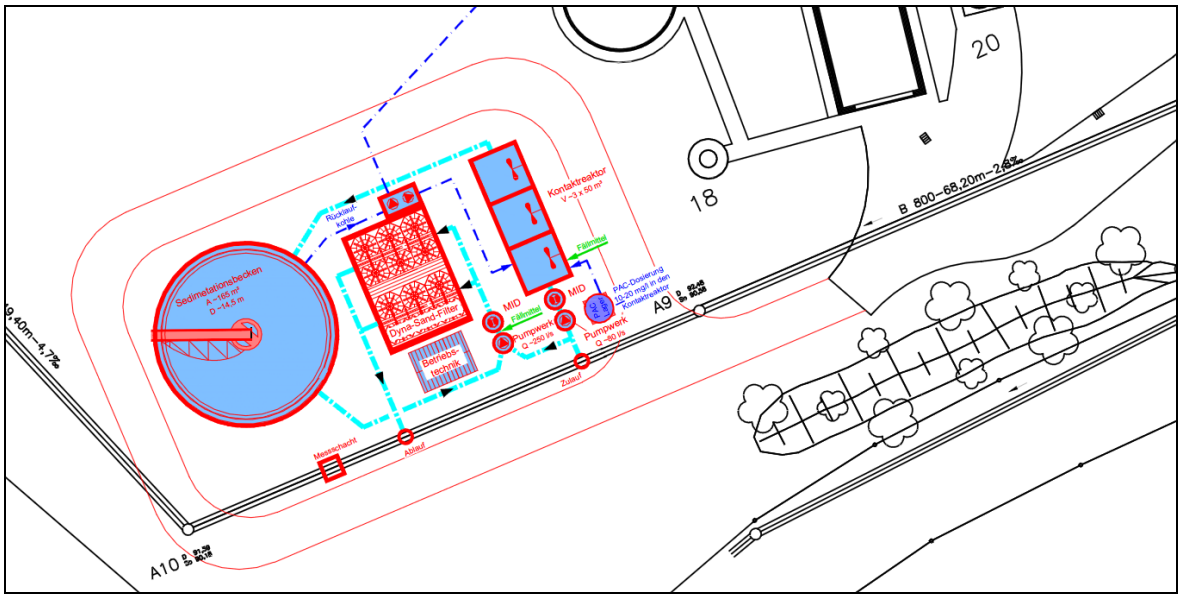



Bild 8: Lageplan KA Steinhagen - Variante 1.2 – PAK Dosierung adsorptive Reinigungsstufe

## 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
- Elektro-, MSR-Technik

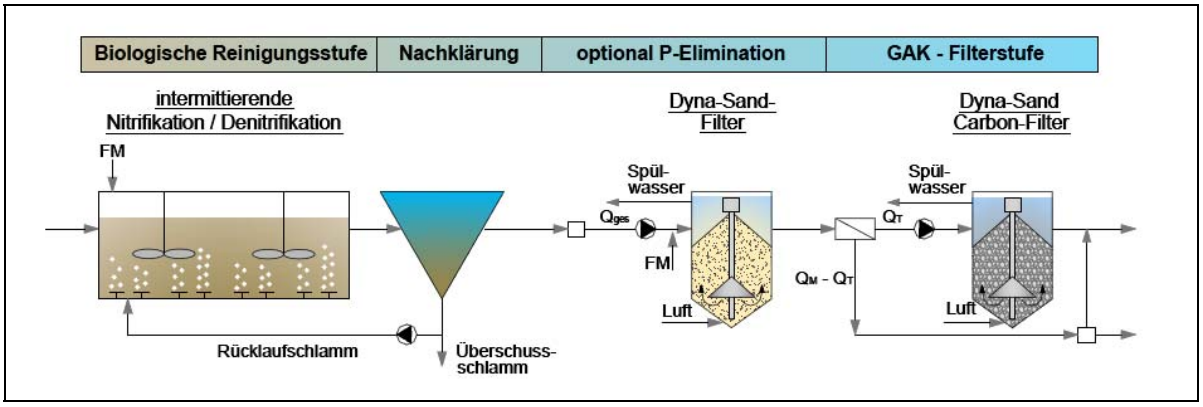



Bild 9: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.1

Die Dyna-Sand Carbon Filtration (DS-C) sowie die Dyna-Sand Filtration (DS) werden in Betonbauweise errichtet. Vorgesehen sind 10 Filterzellen (DS-C) und 12 Filterzellen (DS).

Jedes Modul einer Filterzelle besteht aus:

- Trichtereinbauten mit Verspannelementen
- Zuflussverteiler und Sandverteilerkegel
- Sandwäscher mit Waschlabyrinthen
- 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.

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.

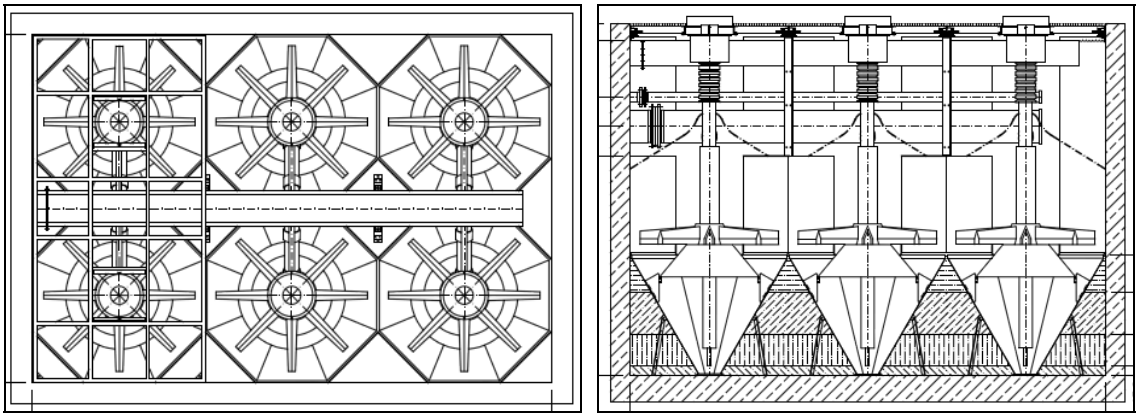


Bild 10: Draufsicht, Schnitt Dyna-Sand Carbon Filtration (Konstruktionszeichnung) (Quelle: Fa. Nordic Water)

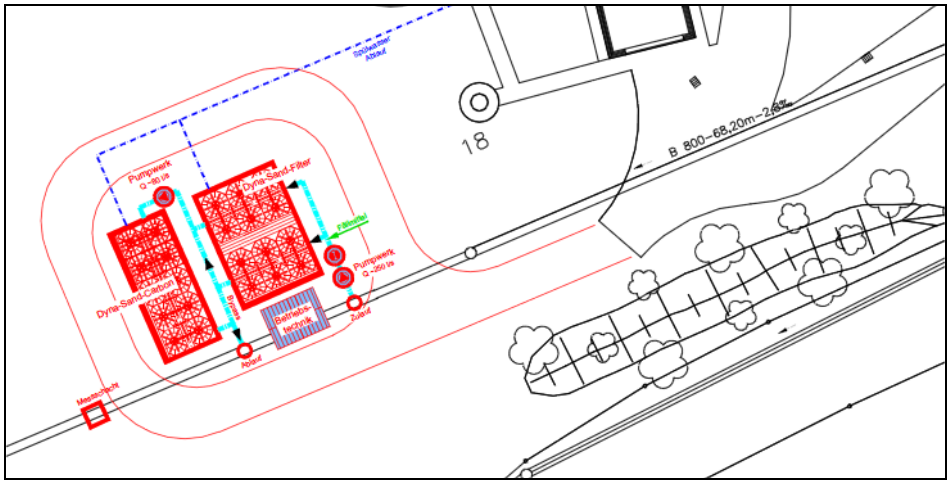



Bild 11: Lageplan KA Steinhagen - Variante 2.1 – GAK in Dyna-Sand Carbon Filtration

## 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

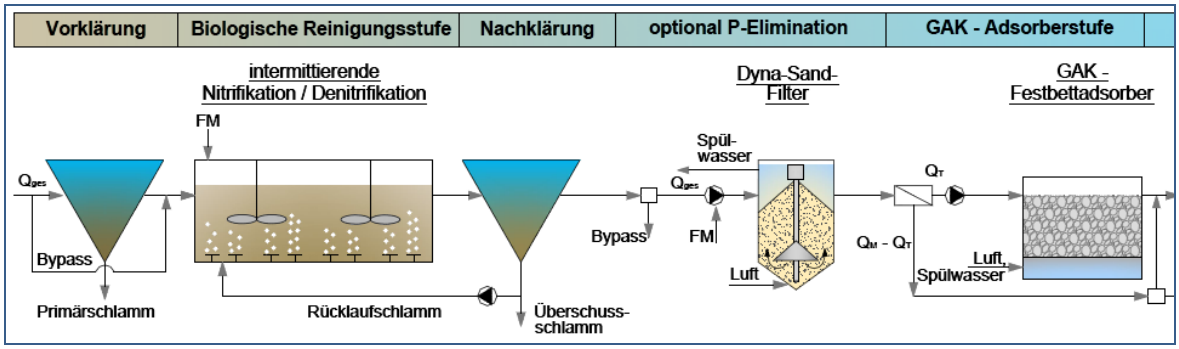



Bild 12: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 2.2

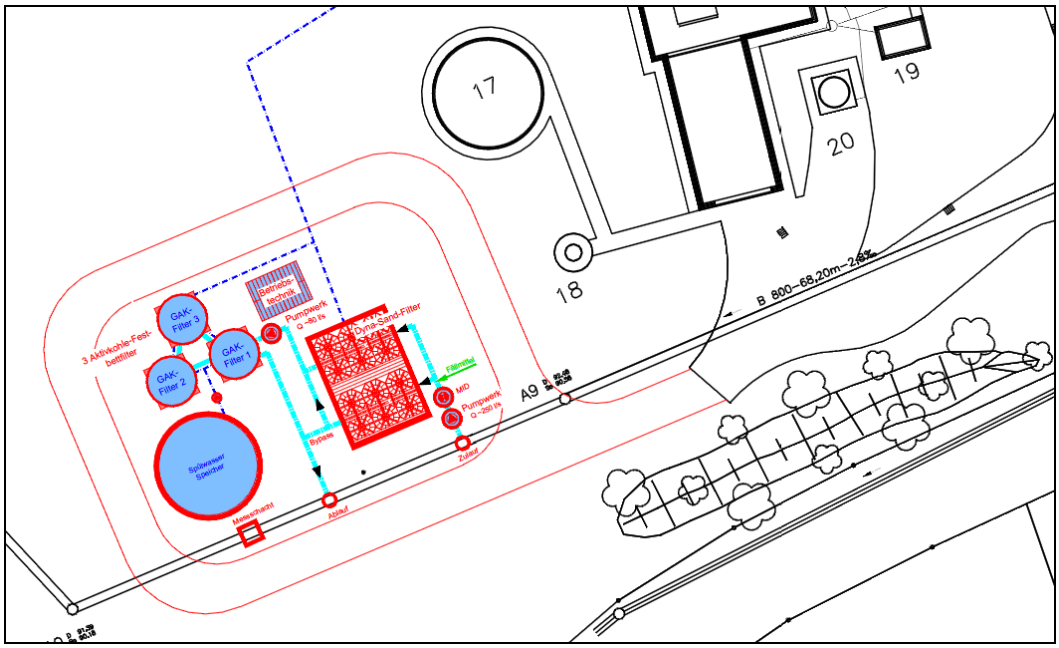



Bild 13: Lageplan KA Steinhagen - Variante 2.2 – GAK in Festbett-Adsorberstufe, vorgeschalteter Dyna-Sand Filter

## Variante 3. 1 - 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

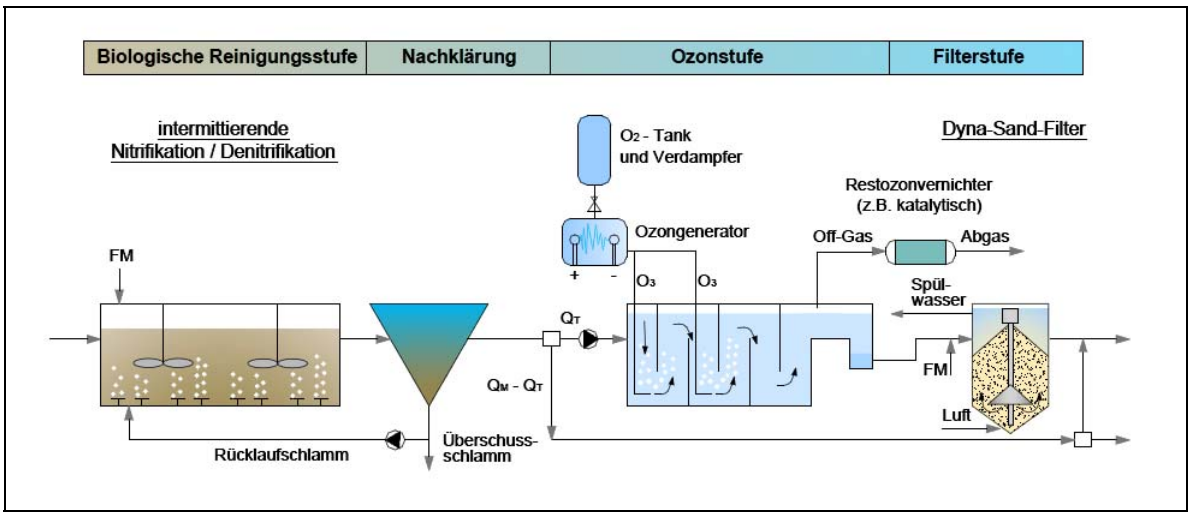



Bild 14: Verfahrensschema – Mikroschadstoffelimination – Variante 3.1

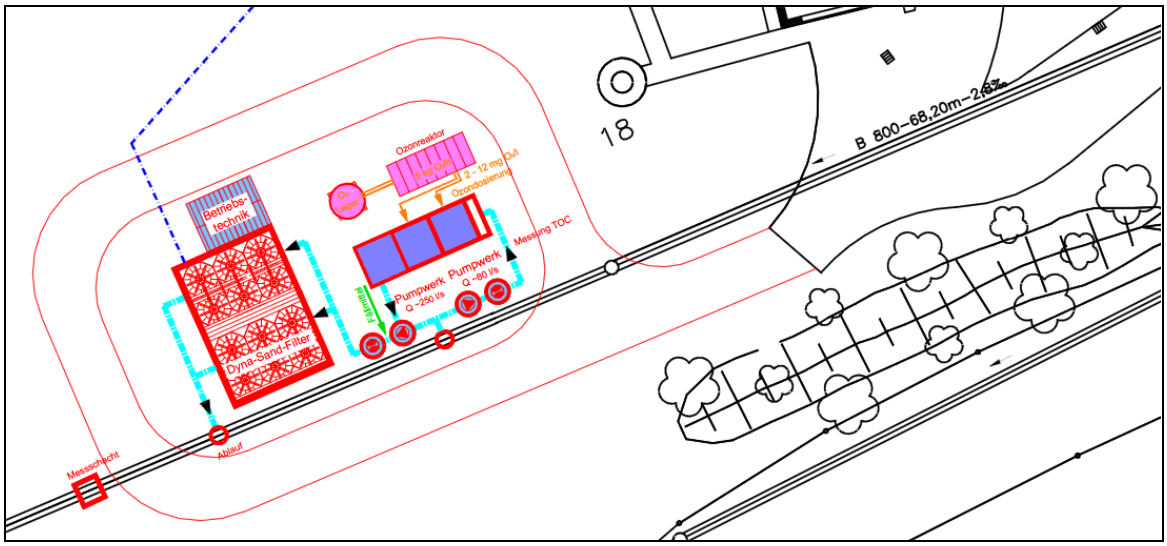
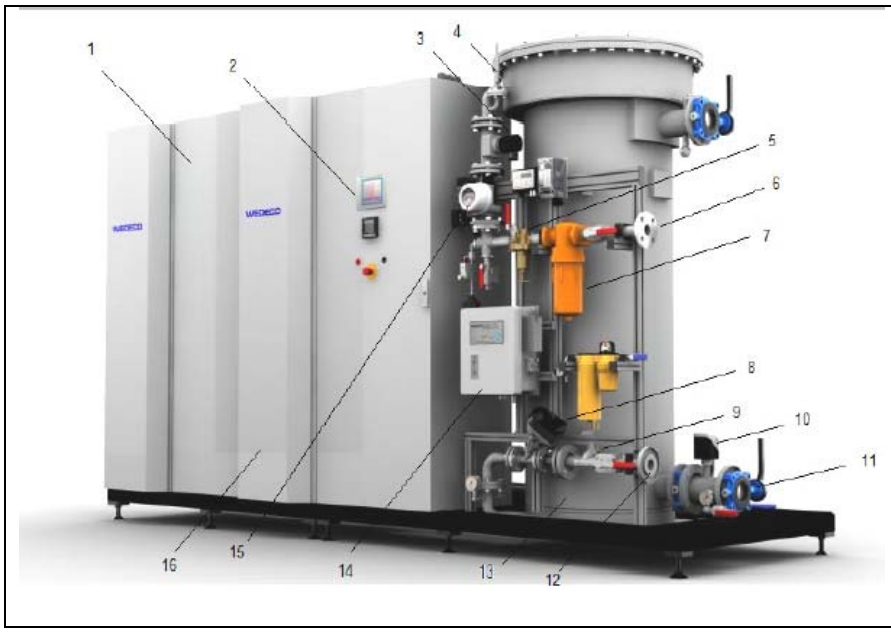



Bild 15: Lageplan KA Steinhagen - Variante 3.1 – Ozonung mit nachgeschaltetem DS-Filter

**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.

Die Herstellung von Ozon im Ozonerzeuger erfolgt aus sauerstoffhaltigen Gasen nach dem Prinzip der „Stillen elektrischen Entladung“.




| | |
|---|---|
| 1 | Spannungsversorger Umrichter (PSU) |
| 2 | Operator Panel TP 700 |
| 3 | Sicherheitsdruckschalter |
| 4 | Sicherheitsventil |
| 5 | Druckminderventil |
| 6 | Gaseinlassflansch |
| 7 | Staubfilter |
| 8 | Gasregelventil |
| 9 | Rückschlagventil |
| 10 | Kühlwasserdurchflussmesser |
| 11 | Kühlwassereinlass |
| 12 | Gasauslassflansch |
| 13 | Ozongenerator |
| 14 | Ozonkonzentrationsüberwachung |
| 15 | Gasdurchflussmesser |
| 16 | Klimatisierte Schaltschranktüren |

Bild 16: Beispiel Ozonerzeugungsgenerator (Quelle: Fa. Xylem)

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

Bild 17: Beispiel Aufstellung Ozongenerator in Container (Quelle: Fa. Xylem)

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

# 5 Wirtschaftlichkeitsvergleich

## 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.

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 2.1 - GAK in DS-Carbon | Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption | Variante 3.1 - Ozon, Dyna-Sand Filtration |
| **Baukosten** | 740.601 € | 600.966 € | 1.092.877 € | 850.650 € | 881.851 € | 764.194 € |
| **Maschinentechnik Kosten** | 790.500 € | 830.500 € | 902.500 € | 677.500 € | 826.000 € | 798.500 € |
| **EMSR-Technik Kosten** | 82.500 € | 82.500 € | 122.500 € | 120.000 € | 132.500 € | 112.500 € |
| Nebenkosten Ing. honorare, Prüfgebühren (20%) | 322.720 € | 302.793 € | 423.575 € | 329.630 € | 368.070 € | 335.039 € |
| **Summe Investkosten, Nebenkosten (netto)** | 1.936.321 € | 1.816.759 € | 2.541.452 € | 1.977.780 € | 2.208.421 € | 2.010.233 € |
| **Summe Investkosten (brutto)** | **2.304.222 €** | **2.161.943 €** | **3.024.328 €** | **2.353.558 €** | **2.628.021 €** | **2.392.177 €** |
| **Prozente** | **107%** | **100%** | **140%** | **109%** | **122%** | **111%** |

Die Variante 1.1b weist mit rd. 2,16 Mio. Euro brutto die niedrigsten Investitionskosten auf. Mit Mehrkosten von etwa 7 % ist die Variante 1.1 mit PAK Dosierung und Dyna-Sand Filtration teurer als die Variante mit Tuchfiltration im Ablauf. Variante 2.1 mit GAK DS-C-Filtration weist Mehrkosten von rd. 9% auf. Die Variante 3.1 mit Ozonung zeigt 11 % höhere Investitionskosten.
Die Bandbreite der Investitionskosten der untersuchten Varianten ist mit rd. 2,161 Mio. Euro und 3,024 Mio. Euro brutto relativ hoch.

## Betriebskosten

Die jährlichen Betriebskosten der einzelnen Varianten sind unterteilt in Wartung und Instandhaltung, Verbrauchsstoffe, Energiebedarf, Schlammentsorgung und Personalkosten.

Tabelle 4: Zusammenstellung Betriebskosten

| | 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 2.1 - GAK in DS-Karbon | Variante 2.2 - GAK in Festbett-Adsorption | Variante 3.1 - Ozon, Dyna-Sand Filtration |
| **Wartung u. Instandhaltung** | 32.771 € | 32.575 € | 40.454 € | 31.232 € | 36.249 € | 33.847 € |
| **Verbrauchsstoffe** | 68.782 € | 77.293 € | 29.902 € | 111.942 € | 112.900 € | 36.745 € |
| **Energiebedarf** | 17.394 € | 14.197 € | 19.616 € | 22.878 € | 23.719 € | 53.128 € |
| **Personalkosten** | 11.250 € | 8.438 € | 11.250 € | 7.031 € | 8.438 € | 9.844 € |
| **Summe Betriebskosten (netto)** | 130.197 € | 132.503 € | 101.222 € | 173.083 € | 181.306 € | 133.564 € |
| **Summe Betriebskosten (brutto)** | **154.934 €** | **157.679 €** | **120.454 €** | **205.969 €** | **215.754 €** | **158.941 €** |
| **Prozente** | **129%** | **131%** | **100%** | **171%** | **179%** | **132%** |

Die Betriebskosten variieren von rd. 120.000 €/a der Variante 1.2 bis rd. 215.000,-- € brutto bei Variante 2.2. Die kostengünstigste Variante mit PAK Dosierung in eine Adsorptionsstufe liegt mit einem Abstand von rd. 29 % bis 32 % zu Variante 1.1 mit PAK Dosierung bzw. 3.1 mit Ozonung und nachfolgender Dyna-Sand Filtration.

## 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% (Stand: Förderung 2017).

Tabelle 5: Zusammenstellung der Jahreskosten (mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten von 70%)

| Untersuchungszeitraum: 30 a<br>Bezugszeitpunkt: 2015<br>Realer Zinssatz: ir = 3 %<br>Preissteigerungsrate r = 0 | **Variante 1.1.b - 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** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Investitionskosten einschl. NK (20%)** (gesamt) (netto) | 1.936.321 € | 2.541.452 € | 1.977.780 € | 2.208.421 € | 2.010.233 € |
| Annahme: Förderung Investitionskosten 70% (netto) | 1.355.425 € | 1.779.017 € | 1.384.446 € | 1.545.895 € | 1.407.163 € |
| KFAKR3,30 | 0,05102 | 0,05102 | 0,05102 | 0,05102 | 0,05102 |
| **Ersparte Jahreskosten durch Förderung (70%)** | **69.154 €** | **90.765 €** | **70.634 €** | **78.872 €** | **71.793 €** |
| **Jahreskosten Invest,NK mit Förderung**(netto) | **67.259 €** | **84.101 €** | **66.432 €** | **76.791 €** | **71.088 €** |
| **Jahreskosten Betrieb** (netto) | **130.197 €** | **101.222 €** | **173.083 €** | **181.306 €** | **133.564 €** |
| **Jahreskosten Gesamt** mit Förderung (netto) | **197.456 €** | **185.323 €** | **239.515 €** | **258.097 €** | **204.652 €** |
| Mehrwertsteuer 19% | 37.517 € | 35.211 € | 45.508 € | 49.038 € | 38.884 € |
| **Jahreskosten Gesamt** mit Förderung (brutto) | **234.972 €** | **220.534 €** | **285.023 €** | **307.136 €** | **243.536 €** |
| **Prozente** | 107% | **100%** | 129% | 139% | 110% |

**mit Förderung**

| **Spezifische Kosten (brutto)** | **Variante 1.1** | **Variante 1.2** | **Variante 2.1** | **Variante 2.2** | **Variante 3.1** |
|---|---|---|---|---|---|
| Angeschlossene Einwohner (EW) 33.079 EW | 7,10 €/EW/a | **6,67 €/EW/a** | 8,62 €/EW/a | 9,28 €/EW/a | **7,36 €/EW/a** |
| Behandelte Schmutzwassermenge 1.732.639 m³/a | 0,14 €/m³ | **0,13 €/m³** | 0,16 €/m³ | 0,18 €/m³ | **0,14 €/m³** |
| Gebührenf. Frischwassermenge 813.259 m³/a | 0,29 €/m³ | **0,27 €/m³** | 0,35 €/m³ | 0,38 €/m³ | **0,30 €/m³** |

Es zeigt sich, dass bei Berücksichtigung einer Förderung ebenfalls die Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe und Dyna-Sand Filtration im Ablauf die günstigsten Jahreskosten aufweist. Die Jahreskosten der übrigen Varianten zeigen Mehrkosten von 7 % - 39 %.

Die günstigsten spezifischen Kosten betragen 0,13 €/m³ behandeltes Schmutzwasser gegenüber 0,19 €/m³ ohne Förderung (Variante 1.2). Die spezifischen Kosten pro m³ Frischwasser betragen 0,27 €/m³ für Variante 1.2.

# 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, DS-Filter** | | **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 | Gewicht |
| **Jahreskosten mit Förderung** | 30% | 5 | 1,50 | 5 | 1,50 | 3 | 0,90 | 3 | 0,90 | 5 | 1,50 |
| **Reinigungsleistung Spurenstoffe** | 15% | 3 | 0,45 | 5 | 0,75 | 4 | 0,60 | 4 | 0,60 | 5 | 0,75 |
| **Reinigungsleistung P, CSB** (zustätzliche Reduktion) | 10% | 4,5 | 0,45 | 5 | 0,50 | 4,5 | 0,45 | 4,5 | 0,45 | 4,5 | 0,45 |
| **Reinigungsleistung Mikroplastik** | 5% | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 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** | 5% | 4 | 0,20 | 3 | 0,15 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 3 | 0,15 |
| **Erfahrungen, Referenzen** | 5% | 3 | 0,15 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 3 | 0,15 | 5 | 0,25 |
| **Betriebssicherheit** | 5% | 4 | 0,20 | 3 | 0,15 | 4 | 0,20 | 3 | 0,15 | 3 | 0,15 |
| **Sensitivität Kostensteigerung** | 5% | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 2 | 0,10 | 2 | 0,10 | 4 | 0,20 |
| **Klimarelevanz, $CO_2$-Emission** | 5% | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 |
| **Platzbedarf** | 5% | 4 | 0,20 | 2 | 0,10 | 5 | 0,25 | 4 | 0,20 | 4 | 0,20 |
| **Summe mit Förderung** | 100% | | **4,15** | | **4,35** | | 3,70 | | 3,55 | | **4,50** |
| Bewertung: 5 Punkte = sehr gut, 4 Punkte = gut, 3 Punkte = befriedigend, 2 Punkte = ausreichend, 1 Punkt = schlecht | | | | | | | | | | | |

Die **Kosten-Nutzwertanalyse** zeigt unter Berücksichtigung einer Förderung der Maßnahme von 70% der Investitionskosten für das Verfahren 3.1 Ozonung mit nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration mit 4,50 die höchste Bewertung. Eine leicht abgeminderte Bewertung zeigt Variante 1.2 mit PAK Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe und nachgeschalteter Filtration.
Vorteilhaft ist die Variante 3.1 hinsichtlich der Entsorgung von Klärschlamm, da weiterhin eine landwirtschaftliche Verwertung möglich ist, im Gegensatz zu Variante 1.2 mit PAK im Klärschlamm.
Vorzugsvariante ist die Variante 3.1 mit Ozonierung und nachgeschalteter Dyna-Sand Filtration.

# 7 Zusammenfassung und Empfehlung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden insgesamt fünf verfahrenstechnische Varianten sowie eine Untervarianten hinsichtlich der Eignung für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Steinhagen 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 (2017), ergeben sich Jahreskosten von rd. 243.000,-- € (brutto) für die Vorzugsvariante 3.1 mit Ozonung und Dyna-Sand-Filter. Die spezifischen Kosten für behandeltes Schmutzwasser betragen für diese Variante 7,36 €/EW/a bzw. 0,30 € pro m³ Frischwasser (brutto).

Als Ergebnis wird empfohlen, die Variante 3.1 mit Ozonierung und Dyna-Sand Filtration mit einer Bewertung von 4,50 Nutzwertpunkten weiter zu verfolgen.

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 Abrooksbaches, u.a. mit Phosphaten, sind zukünftige Auflagen der Aufsichtsbehörde zur Verminderung der P-Einleitungen nicht auszuschließen.

Sollte sich die Gemeinde Steinhagen zu der Nachrüstung einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffbehandlung auf der Kläranlage entschließen, wird empfohlen die Variante 3.1 Ozonierung und Dyna-Sand Filtration weiter zu verfolgen.

# 8 Beteiligte Einrichtungen, Organisation und Firmen

**Betreiber:**
Gemeinde Steinhagen
Am Pulverbach 25, 33803 Steinhagen
Herr Stephan Walter 05204 / 997-300

**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**