

Stadtwerke Lichtenau GmbH  
Leihbühl 21  
33165 Lichtenau

## **Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen auf der Kläranlage Grundsteinheim**

### **Kurzbericht**

Gefördert durch:  
Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen  
Kennziffer: M-02/13-Pb

Paderborn, Dezember 2014



AWP GmbH  
Tegelweg 25  
33102 Paderborn  
Tel.: 05251 / 503 6253  
E-Mail: [info@awp-gmbh.net](mailto:info@awp-gmbh.net)

**Inhaltsverzeichnis**

=====

|   |             |
|---|-------------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b>  | <b>iii</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>  | <b>iv</b>   |
| <b>1 Einleitung</b>   | <b>1-1</b>  |
| <b>2 Kläranlage Grundsteinheim</b>                                      | <b>2-2</b>  |
| <b>3 Untersuchung der Schadstoffe auf der Kläranlage Grundsteinheim</b> | <b>3-3</b>  |
| <b>4 Variantenbeschreibung</b>  | <b>4-7</b>  |
| 4.1 Allgemeines   | 4-7         |
| 4.2 Pulveraktivkohle (PAK) - Variante 1                                 | 4-7         |
| 4.3 Granulierte Aktivkohle - Variante 2                                 | 4-7         |
| 4.4 Ozonung - Variante 3  | 4-8         |
| <b>5 Integration in den Kläranlagenbetrieb</b>                          | <b>5-10</b> |
| 5.1 Grundlagen der Bemessung  | 5-10        |
| 5.2 Variante 1: Pulveraktivkohle  | 5-10        |
| 5.3 Variante 2: Granulierte Aktivkohle                                  | 5-12        |
| 5.4 Variante 3: Ozonung   | 5-13        |
| <b>6 Kostenbetrachtung</b>  | <b>6-14</b> |
| 6.1 Allgemeines   | 6-14        |
| 6.2 Kostenschätzung Variante 1 - Pulveraktivkohle                       | 6-14        |
| 6.3 Kostenschätzung Variante 2 - Granulierte Aktivkohle                 | 6-15        |
| 6.4 Kostenschätzung Variante 3 - Ozonung                                | 6-15        |
| 6.5 Kostenzusammenstellung  | 6-16        |
| <b>7 Zusammenfassung</b>  | <b>7-19</b> |
| <b>8 Literaturverzeichnis</b>   | <b>8-21</b> |

## **Abbildungsverzeichnis**

=====

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| Abb. 1.1: | Einbindung der Kläranlage Grundsteinheim in das NSG Sauerthal | 1-1  |
| Abb. 2.1: | Luftbild der Kläranlage Grundsteinheim                        | 2-2  |
| Abb. 3.1: | Untersuchungsergebnisse der KA Grundsteinheim                 | 3-4  |
| Abb. 4.1: | PAK-Anlage auf der KA Grundsteinheim                          | 4-7  |
| Abb. 4.2: | GAK-Anlage auf der KA Grundsteinheim                          | 4-8  |
| Abb. 4.3: | Ozon-Anlage auf der KA Grundsteinheim                         | 4-8  |
| Abb. 5.1: | Einbindung der PAK-Stufe in die KA Grundsteinheim             | 5-10 |
| Abb. 5.2: | Einbindung der GAK-Stufe in die KA Grundsteinheim             | 5-12 |
| Abb. 5.3: | Einbindung der Ozon-Stufe in die KA Grundsteinheim            | 5-13 |

## **Tabellenverzeichnis**



|           |  |      |
|-----------|--|------|
| Tab. 3.1: | Vergleich der Messergebnisse KA Grundsteinheim mit anderen Kläranlagen | 3-6  |
| Tab. 5.1: | Zulaufmengen KA Grundsteinheim   | 5-10 |
| Tab. 5.2: | Auslegungsdaten der PAK-Anlage für die KA Grundsteinheim               | 5-11 |
| Tab. 5.3: | Auslegungsdaten der GAK-Anlage für die KA Grundsteinheim               | 5-12 |
| Tab. 5.4: | Auslegungsdaten der Ozonung für die KA Grundsteinheim                  | 5-13 |
| Tab. 6.1: | Investitions- und Betriebskosten für PAK                               | 6-14 |
| Tab. 6.2: | Investitions- und Betriebskosten für GAK                               | 6-15 |
| Tab. 6.3: | Investitions- und Betriebskosten für Ozon                              | 6-16 |
| Tab. 6.4: | Gesamtinvestitionskosten der verschiedenen Varianten                   | 6-16 |
| Tab. 6.5: | Gesamtbetriebskosten der verschiedenen Verfahren                       | 6-17 |
| Tab. 6.6: | Gesamtjahreskosten der verschiedenen Verfahren                         | 6-17 |
| Tab. 7.1: | Bewertungsmatrix V1 – V3   | 7-19 |

# 1 Einleitung

Das Ziel der Landesregierung ist es durch die Beseitigung von Spurenstoffen bzw. Mikroschadstoffen eine Verbesserung der Gewässerqualität zu erreichen. Neben der Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination werden durch das Land NRW Maßnahmen zur Ausrüstung öffentlicher Abwasseranlagen gefördert („Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“). Die Kläranlage Grundsteinheim soll exemplarisch für Kläranlagen bis 10.000 EGW auf mögliche Gefährdungspotenziale von Spurenstoffen bzw. Mikroschadstoffen untersucht werden. Die Kläranlage wurde aufgrund der besonderen Lage in einem Naturschutzgebiet und dem Vorfluter Sauer (Karstgebiet) ausgewählt (Abb. 1.1).

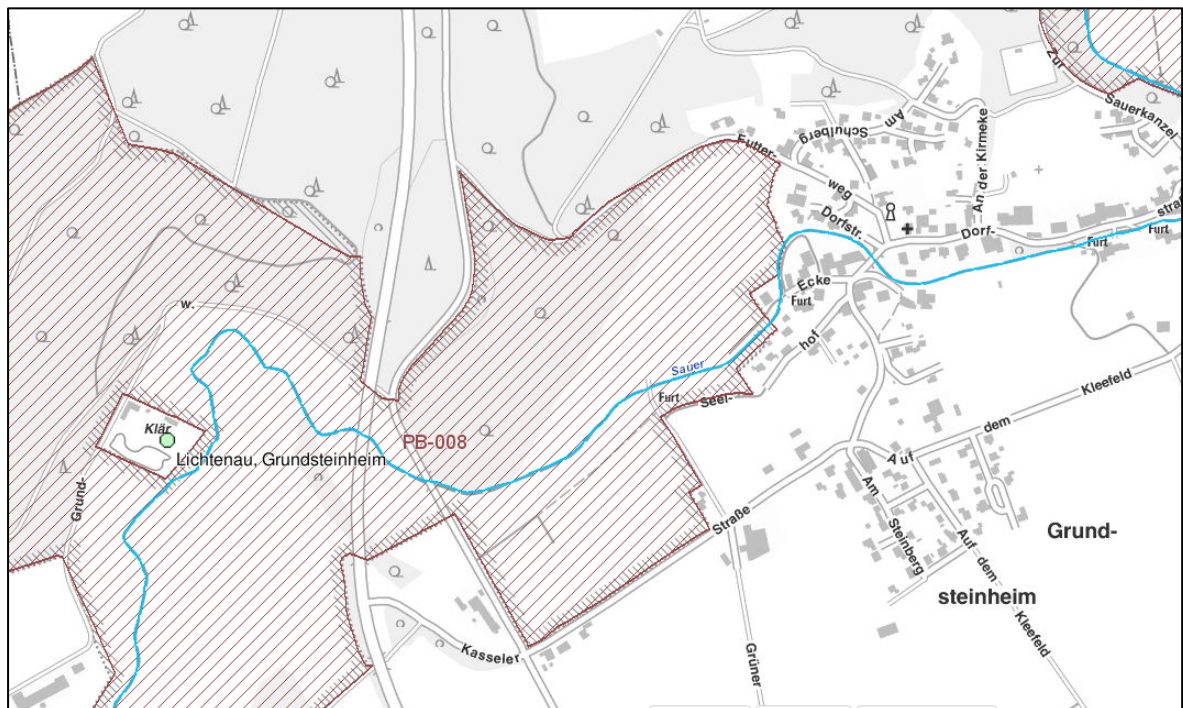


Abb. 1.1: Einbindung der Kläranlage Grundsteinheim in das Naturschutzgebiet Sauer (www.elwasweb.nrw.de)

Zur Abwasserreinigung, mit dem Ziel der Entfernung von Mikroschadstoffen, wurden im Rahmen dieser Studie unterschiedliche Verfahren betrachtet.

- Neubau einer Behandlung mit Pulveraktivkohle (PAK).
- Neubau einer Behandlung mit granulierter Aktivkohle (GAK).
- Neubau einer Ozonung

Ziel der Studie ist die Bewertung der unterschiedlichen Methoden im Hinblick auf die technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit.

## 2 Kläranlage Grundsteinheim

Die Kläranlage Grundsteinheim hat eine Ausbaugröße von 7.500 EW und befindet sich westlich des Ortsteils Grundsteinheim. Die Kläranlage wurde 1980 errichtet und zuletzt 1995 im Zuge der geforderten dritten Reinigungsstufe umgerüstet (Abb. 2.1).



Abb. 2.1: Luftbild der Kläranlage Grundsteinheim ([www.elwasweb.nrw.de](http://www.elwasweb.nrw.de))

Die Kläranlage dient der zentralen Abwasserbehandlung der Orte Lichtenau, Herbram, Herbram Wald, Iggenhausen, Asseln, Hakenberg und Grundsteinheim. Die Entwässerung erfolgt dabei sowohl im Trenn- als auch im Mischsystem. Dabei beträgt die Fläche des Trenngebietes ca. 145 ha und die des Mischgebietes ca. 63 ha. Das gesamte Einzugsgebiet umfasst ca. 208 ha.

Die Anlage arbeitet als zweistraßige Belebungsanlage, mit gezielter Nitrifikation/Denitrifikation sowie einer aeroben Schlammstabilisierung. Der stabilisierte und entwässerte Klärschlamm wird landwirtschaftlich verwertet. Das gereinigte Abwasser wird in den Vorfluter Sauer eingeleitet.

### **3 Untersuchung der Schadstoffe auf der Kläranlage Grundsteinheim**

Für die Kläranlage Grundsteinheim wurden folgende Stoffe, die in der Abbildung 3.1 aufgeführt sind, analysiert. Da für Spurenstoffe noch keine Grenzwerte festgelegt wurden (siehe Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-3, 2013), finden die vorgegebenen Stoffe eine Bewertung anhand eines allgemeinen Vorsorgewertes (VWa); es sei denn, es liegt ein kleinerer gesundheitlicher Orientierungswert (GOW) oder ein Leitwert (LW) vor.

Dieser VWa kann für Arzneimittel pauschal mit 0,1 µg/l und für Industriechemikalien und sonstigen anthropogenen Spurenstoffen mit 10 µg/l angenommen werden, falls kein ökotoxikologisches Qualitätsziel vorhanden ist. Stoffe die im Anhang der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) oder im Anhang 2 den Umweltqualitätsnormen (UQN) genannt sind, bekommen den dort genannten Wert als Grenzwert vorgeschrieben. Zusätzlich wird ein Chronisches Qualitätskriterium (AA-EQS) angegeben. Diese Werte beschreiben Grenzen bei denen Organismen im Gewässer vor Langzeitbelastungen geschützt werden sollen (oekotoxzentrum,2014).

Die Eliminationsraten der verschiedenen Verfahren sind gemessene Werte aus Pilot- und Referenzanlagen. Sie können daher nicht vollständig auf andere Anlagen übertragen werden. Sie sollen vielmehr aufzeigen, wie sich Mikroschadstoffe bei den verschiedenen Varianten verhalten und somit die Festlegung auf ein Verfahren ermöglichen. Es wurden Eliminationsraten von den Kläranlagen: Regensdorf (Ozon und PAK), Lausanne (Ozon und PAK), der Eawag (PAK) in der Schweiz, Bad Sassendorf (Ozon), Schwerte (PAK und Ozon) und der Oberen Lutter (GAK) in Deutschland ausgewertet.

Einige Werte für die Ozonung wurden aus der Literaturstudie Golloch et al. (2005) entnommen. Die Ergebnisse wurden miteinander verglichen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Eliminationsraten für die PAK und GAK ähnlich sind. Damit lassen sich Rückschlüsse auf die Eliminationsrate der verschiedenen Varianten ziehen. Die Eliminationsraten werden anhand eines Bewertungsschlüssels angegeben.

Die Beurteilung für die Eliminationsraten stammen aus verschiedenen Referenzanlagen und aus folgender Literatur:

<sup>1</sup>Alt et al., 2012; <sup>2</sup>BAFU, 2012; <sup>3</sup>Bolle und Pinnekamp, 2011; <sup>4</sup>Bornemann et al., 2012; <sup>5</sup>Golloch et al., 2005; <sup>6</sup>Grünebaum et al., 2012; <sup>7</sup>Herbst et al., 2012; <sup>8</sup>Hydro Ingenieure, 2012; <sup>9</sup>Kapp, 2012; <sup>10</sup>MKULNV NRW, 2012.

Weiterhin Grenzwerte aus der WRRL.

| Parameter/Spurenstoff   | Beschreibung                | Vorschläge von Grenzwerten                           |                  |                        | Aktuelle Messwerte  |                      | Eliminationsrate |         |      |              |
|---|-----------------------------|--|------------------|------------------------|---------------------|----------------------|------------------|---------|------|--------------|
|   |                             | Vwa<br>[µg/l]  | AA-EQS<br>[µg/l] | WRRL-ZHK-UQN<br>[µg/l] | Messwerte<br>[µg/l] | Mittelwert<br>[µg/l] | PAK              | GAK     | Ozon |              |
| <b>Arzneimittelwirkstoffe</b>   |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| Atenolol  | Betablocker                 |  | 150              |                        | 20.01.2014          | 27.01.2014           |                  |         |      |              |
| Bezafibrat  | Lipidsenker                 |  | 0,46             |                        | 0,050               | 0,050                | 2                |         | +    | 2,8          |
| Bisoprolol  | Betablocker                 | 0,1  |                  |                        | 0,110               | 0,110                | 2                | +       | +    | 2,6          |
| Carbamazepin  | Antiepileptikum             |  |                  | 0,5                    | 0,780               | 2,900                |                  |         |      |              |
| Clarithromycin  | Antibiotikum                |  | 0,06             |                        | 1,500               | 1,650                |                  | 2,3,4,9 | ++   | 2,3,5,6,7,10 |
| Diclofenac  | Analgetikum (Schmerzmittel) |  | 0,05             | 0,00004                | 0,067               | 0,120                | 2                | +       | ++   | 2,5          |
| Metoprolol  | Betablocker                 |  | 64               | 0,1                    | 1,900               | 2,100                |                  | 2,4,9   | ++   | 1,3,5,6,7,10 |
| Naproxen  | Analgetikum (Schmerzmittel) |  | 1,7              |                        | 1,100               | 1,100                |                  | 2,3,4   | +    | 2,3,5,6,7,10 |
| Oxazepam  | Psychopharmakon             | 0,1  |                  |                        | 0,050               | 0,075                | 2                | +       | +    | 2,6          |
| Phenazon  | Analgetikum (Schmerzmittel) | 0,1  |                  |                        | 1,500               | 0,200                |                  |         |      |              |
| Sotalol   | Betablocker                 | 0,1  |                  |                        | 0,050               | 0,050                |                  |         |      |              |
| Sulfamethoxazol   | Antibiotikum                |  | 0,6              | 0,1                    | 1,200               | 1,200                |                  | 0       | 0    | 2,5,5,6      |
|   |                             |  |                  |                        | 0,620               | 0,074                | 2                | 0       | 0    | 2,5,6,9      |
| <b>Röntgenkontrastmittel</b>  |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| Amidolizoesäure   | Kontrastmittel              | 0,1  |                  |                        | 1,300               | 0,580                |                  |         |      | 6,7,10       |
| Iomeprol  | Kontrastmittel              | 0,1  |                  |                        | 0,050               | 0,050                |                  | 0       | 0    | 2,6          |
| Iopamidol   | Kontrastmittel              | 0,1  |                  |                        | 1,100               | 0,280                |                  | 0       | 0    | 2,6          |
| Iopromid  | Kontrastmittel              | 0,1  |                  |                        | 0,050               | 0,050                |                  | 0,+     | 0,+  | 2            |
| <b>Östrogene</b>  |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| 17-alpha-Ethinylestradiol   | Estrogen (Steroidhormon)    |  | 0,000037         |                        | 0,005               | 0,005                |                  |         |      |              |
| 17-beta-Estradiol   | Estrogen (Steroidhormon)    |  | 0,0004           |                        | 0,005               | 0,005                |                  |         |      |              |
| Estron  | Estrogen (Steroidhormon)    |  | 0,0036           |                        | 0,005               | 0,005                |                  | ++      | ++   | 2,6          |
| <b>Pflanzenschutzmittel</b>   |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| Diuron  | Herbizid (PSM)              |  | 0,02             | 1,8                    | 0,050               | 0,050                |                  | +       | +    | 0            |
| Isoproturon   | Herbizid (PSM)              |  | 0,32             | 1                      | 0,120               | 0,050                |                  | 0,+     | 0,+  | 2            |
| Terbutyn  | Herbizid (PSM)              |  | 0,065            | 0,034                  | 0,050               | 0,050                |                  | -       | -    | 2            |
| <b>Industriechemikalien</b>   |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| Benzoatriazol   | Korrosionsinhibitor         |  | 30               |                        | 6,000               | 4,100                |                  | +       | 0    | 2            |
| Bisphenol A   | Additiv (Prioritäre Stoffe) |  | 1,5              |                        | 0,010               | 0,074                |                  | ++      | ++   | 2,6,7,10     |
| DEHP  | Additiv (Prioritäre Stoffe) | 10   |                  |                        | 1,000               | 1,000                |                  | 2,3     | 0,+  | 2,6,7,10     |
| Nonylphenol   | Additiv (Prioritäre Stoffe) |  | 0,013            | 2                      | 0,150               | 0,100                |                  | --      | --   | 8            |
| Octylphenol   | Additiv (Prioritäre Stoffe) | 10   |                  |                        | 0,018               | 0,025                |                  | 2       | +    | 2,6          |
| <b>Süßstoffe</b>  |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| Cyclamat  | Süßstoff                    | 10   |                  |                        | 0,400               | 0,390                |                  |         |      |              |
| Saccharin   | Süßstoff                    | 10   |                  |                        | 0,370               | 0,520                |                  |         |      |              |
| Acesulfam   | Süßstoff                    | 10   |                  |                        | 62,000              | 51,000               |                  |         |      |              |
| Sucralose   | Süßstoff                    | 10   |                  |                        | 2,740               | 3,590                |                  |         |      |              |
| <b>Legende:</b>   |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| <b>Beurteilung der Eliminationsleistung der unterschiedlichen Verfahren</b> |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| --  | < 20 %                      | Vwa  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| -   | 20-50 %                     | Allgemeiner Vorsorgewert                             |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| 0   | 50-70 %                     | AA-EQS   |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| +   | 70-90 %                     | Chronisches Qualitätskriterium                       |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| ++  | > 90 %                      | WRRL   |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
|   |                             | Prioritäre Stoffe: Anhang der Wasserrahmenrichtlinie |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
|   |                             | UQN  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
|   |                             | Anhang 2 Umweltqualitätsnormen                       |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |
| <b>Erklärung Abkürzungen</b>  |                             |  |                  |                        |                     |                      |                  |         |      |              |

Abb. 3.1: Untersuchungsergebnisse der KA Grundsteinheim



Im Rahmen der Auswertung wurden die Frachten (72 h – Mischprobe) der gemessenen Mikroschadstoffe bestimmt. Als auffallend gekennzeichnet wurden dabei die Parameter Acesulfam (85,2 g), Benzotriazol (8,2 g), Sucralose (4,2 g) und Oxazepam (2,1 g) mit den angegebenen Frachten. Weitere Ergebnisse können den Untersuchungsbefunden (siehe 9.) entnommen werden.

Der Bereich Süßstoffe wurde nicht wegen der Schädlichkeit, sondern als Indikator zur Feststellung von anthropogenen Einflüssen mit aufgenommen. Der auffällige Acesulfam-Wert konnte direkt einem Indirekteinleiter im Ortsteil Grundsteinhein zugeordnet werden.

Anhand einiger Leitparameter wurde in Tabelle 3.1 ein Vergleich zwischen verschiedenen Kläranlagen vorgenommen, um die Menge des Eintrags der Mikroschadstoffe beurteilen zu können.

Tab. 3.1: Vergleich der Messergebnisse KA Grundsteinheim mit anderen Kläranlagen

| Leitparameter          |                   | Messergebnisse*   |                | Messergebnisse** |             |                   |                        |
|------------------------|-------------------|-------------------|----------------|------------------|-------------|-------------------|------------------------|
|                        |                   | KA Grundsteinheim | KA Lippspringe | KA Warburg       | KA Schwerte | KA Bad Sassendorf | KA Duisburg Vierlinden |
|                        |                   | [µg/l]            | [µg/l]         | [µg/l]           | [µg/l]      | [µg/l]            | [µg/l]                 |
| Arzneimittelwirkstoffe | Carbamezepin      | <b>1,65</b>       | 0,52           |                  | 1,10        | 1,30              | 1,80                   |
|                        | Diclofenac        | <b>2,00</b>       | 1,25           | 1,10             | 3,00        | 4,90              | 1,30                   |
|                        | Metoprolol        | <b>1,10</b>       | 1,70           | 0,76             | 1,00        | 0,54              | 0,57                   |
|                        | Sotalol           | <b>1,20</b>       | 0,43           |                  |             |                   |                        |
|                        | Sulfamethoxazol   | <b>0,35</b>       | 0,40           | 0,70             | 1,00        | 0,71              | 0,65                   |
|                        | Amidotrizoensäure | <b>0,94</b>       | 0,66           | 0,60             | 8,80        | 0,45              | 0,80                   |
|                        | Iomeprol          | <b>0,05</b>       | 0,11           | 0,78             | 1,80        | 0,38              | 0,80                   |
|                        | Iopamidol         | <b>0,69</b>       | 1,03           | 1,80             | 1,20        | 1,50              |                        |
|                        | Iopromid          | <b>0,05</b>       | 0,12           | 0,80             | 0,45        | 1,10              | 0,20                   |
| Industriechemikalien   | Benzotriazol      | <b>5,05</b>       | 3,68           | 2,30             | 2,60        | 2,10              | 1,70                   |
|                        | Bisphenol A       | <b>0,04</b>       | 0,18           | 0,10             | 0,10        | 9,70              | 0,03                   |
| Süßstoffe              | Acesulfam         | <b>56,50</b>      | 2,10           |                  |             |                   |                        |
|                        | Sucralose         | <b>3,17</b>       | 1,52           |                  |             |                   |                        |
| *                      | 72 h Mischprobe   |                   |                |                  |             |                   |                        |
| **                     | 24 h Mischprobe   |                   |                |                  |             |                   |                        |

## 4 Variantenbeschreibung

### 4.1 Allgemeines

Die Auswahl einer Variante zur Entfernung von Mikroschadstoffen hängt von vielen projektspezifischen Bedingungen ab. Neben der Wirtschaftlichkeit beeinflussen auch die festgestellten Spurenstoffe die Festlegung auf eine Verfahrenstechnik. Zudem müssen der Platzbedarf und die Ausstattung (z.B. Filtrationsstufen, Schönungsteich usw.) der Kläranlage berücksichtigt werden. Für die Kläranlage Grundsteinheim werden drei ausgewählte Varianten beschrieben und bewertet.

### 4.2 Pulveraktivkohle (PAK) - Variante 1

Für PAK-Anwendungen stehen verschiedene verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Auswahl. In dieser Variante wird die PAK in ein separates Kontaktbecken gegeben. Das Fällmittel und Flockungshilfsmittel wird entsprechend zudosiert. Nach einer Aufenthaltszeit von ca. 30 Minuten verlässt das Wasserkohlegemisch den Kontaktreaktor und fließt in die anschließende Sedimentation. Ein Teil des Schlammes wird zurück in den Kontaktreaktor gefördert, um der PAK eine längere Aufenthaltsmöglichkeit im Wasser zu ermöglichen.

Der Ablauf aus der Sedimentation wird über einen Sandfilter geführt. Das Rückspülwasser zur Reinigung des Sandfilters wird zurück in den Sandfang geleitet, um eventuell ausgeschwemmtes Material zu entfernen. Das Filtrat durchläuft das Vorhaltebecken und wird dann in den Schönungsteich eingeleitet. In Abb. 4.1 ist das Schema für die PAK-Anlage dargestellt.

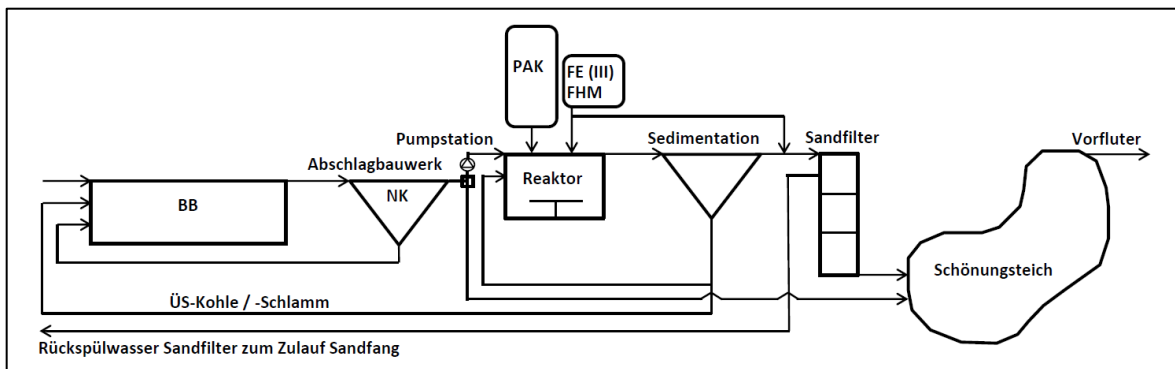


Abb. 4.1: PAK-Anlage auf der KA Grundsteinheim

Die PAK wird durchflussproportional zum Abwasserstrom zudosiert. Vor und hinter dem Sandfilter erfolgt eine Trübstoffmessung.

### 4.3 Granulierte Aktivkohle - Variante 2

In diesem Verfahren werden die Mikroschadstoffe mittels GAK entfernt. Der Ablauf des Nachklärbeckens durchfließt drei parallel nebeneinander geschaltete Filter. Insgesamt werden 4 Filter geplant, um die Betriebssicherheit zu erhöhen. Zudem kann so das Filtermaterial ohne Betriebsausfall gespült oder gewechselt werden. Die GAK-Filter

werden abwärts durchströmt. Der Ablauf der Filter fließt durch das Vorhaltebecken und wird von dort in den Schönungsteich eingeleitet. Das Rückspülwasser der Filter wird zurück in das Verteilerbauwerk geführt und auf die beiden Belebungsbecken aufgeteilt. In Abb. 4.2 wird die GAK-Stufe schematisch dargestellt.

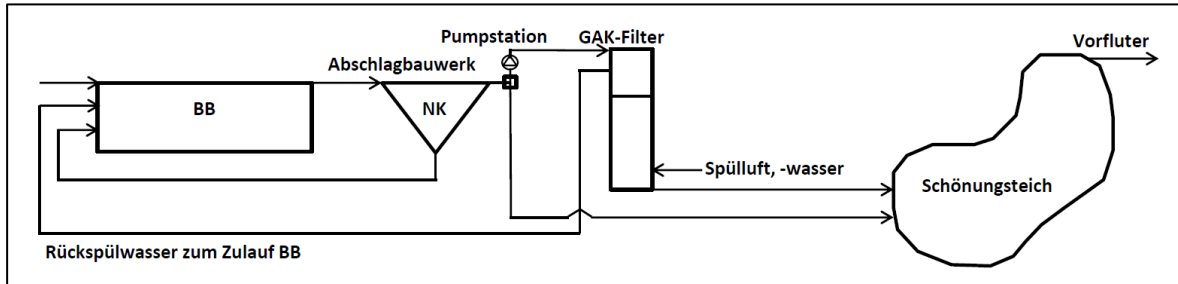


Abb. 4.2: GAK-Anlage auf der KA Grundsteinheim

Vor und hinter den GAK-Filtern werden Messungen vorgenommen, um einen möglichen Durchbruch bestimmter Spurenstoffe zu erkennen.

#### 4.4 Ozonung - Variante 3

In der dritten Variante werden die Mikroschadstoffe mittels Ozon eliminiert bzw. vielmehr transformiert. Ozon muss auf der Kläranlage selbst produziert werden. Die Produktion benötigt Sauerstoff und Energie. Auf der Anlage wird das Ozon über einen Ozongenerator hergestellt.

Das produzierte Ozon wird dem Ablauf der Nachklärung in einen Reaktorraum zugegeben. Dieser Reaktorraum muss so ausgebildet sein, dass eine gute Durchmischung und eine ausreichende Aufenthaltszeit gewährleistet wird. Die Abluft aus dem Reaktorraum wird über einen Restozonvernichter gereinigt; es darf kein Ozon in die Umgebungsluft gelangen, um das Betriebspersonal nicht zu gefährden. Die Abluft kann zurück die Belebung geführt werden. Es muss sichergestellt werden, dass das Ozon am Ende des Reaktors aufgebraucht ist. Das Wasser aus dem Ozon-Reaktor muss biologisch nachbehandelt werden. Im Fall der Kläranlage Grundsteinheim soll das über den vorhandenen Schönungsteich erfolgen. In Abb. 4.3 ist das Schema der Anlage dargestellt.

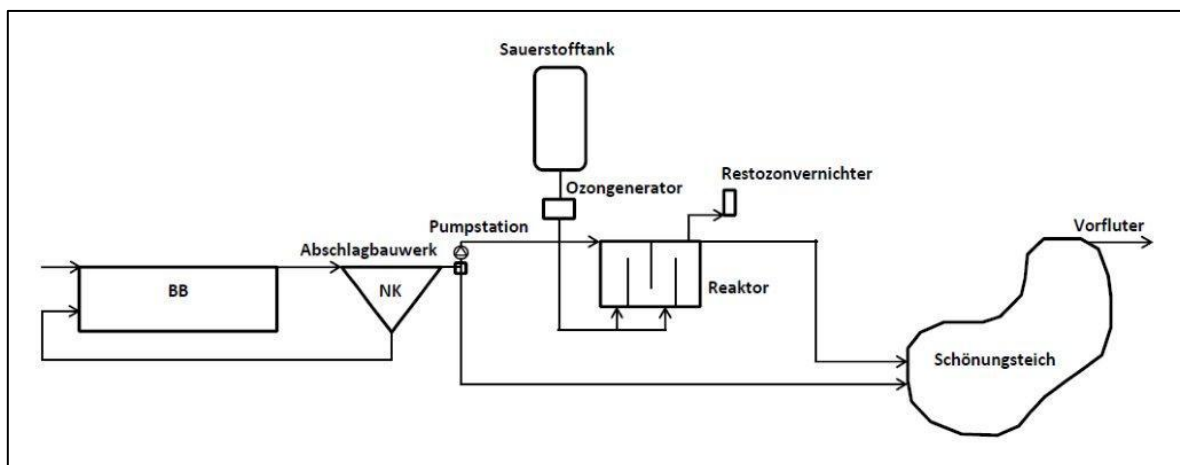


Abb. 4.3: Ozon-Anlage auf der KA Grundsteinheim

Die Ozonmenge wird durchflussproportional zudosiert. Zudem findet eine Steuerung über den gemessenen DOC-Gehalt statt. Am Ende des Reaktors wird das Restozon in der Luft und in der Wasserphase gemessen, um eine Überdosierung zu vermeiden.

## 5 Integration in den Kläranlagenbetrieb

### 5.1 Grundlagen der Bemessung

Die aus dem Betriebstagebuch ermittelten Zuflussmengen für den Mischwasserzufluss bzw. die Neuberechnung wurden als Grundlage für die Bemessung der Schadstoffelimination genommen. In Tabelle 5.1 werden die Zulaufmengen für die Berechnung der ausgewählten Varianten aufgeführt.

Tab. 5.1: Zulaufmengen KA Grundsteinheim

| Zulaufmenge               | l/s  | m <sup>3</sup> /h |
|---------------------------|------|-------------------|
| $Q_M$                     | 36   | 130               |
| $Q_{T,h,max}$             | 11   | 40                |
| $Q_{max}$ (nach Bescheid) | 86,7 | 312               |

### 5.2 Variante 1: Pulveraktivkohle

Diese Variante umfasst, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, die Pulveraktivkohlezugabe in einen Kontaktreaktor im Ablauf der Nachklärung. Als maximale Beschickung der Aktivkohlebehandlung wird  $Q_M$  gewählt. Bei Regenereignissen (Abfluss > 36 l/s) erfolgt ein Entlastung in den vorhandenen Schönungsteich.

Alle Becken müssen neu erstellt werden. Es ist keine vorhandene Bausubstanz nutzbar. Nach dem Ablaufschacht der Nachklärung fließt das Abwasser einer Pumpstation zu. Die Pumpen werden auf  $Q_M$  ausgelegt. Insgesamt sind drei Tauchmotorpumpen vorgesehen, wobei eine der Redundanz dient. Nach der Pumpstation durchfließt das Abwasser die weiteren Bauwerke im freien Gefälle. Die Becken werden als Erdbecken ausgeführt. Die Behandlungsstufe soll im Bereich des Schönungsteiches errichtet werden (Abb. 5.1).

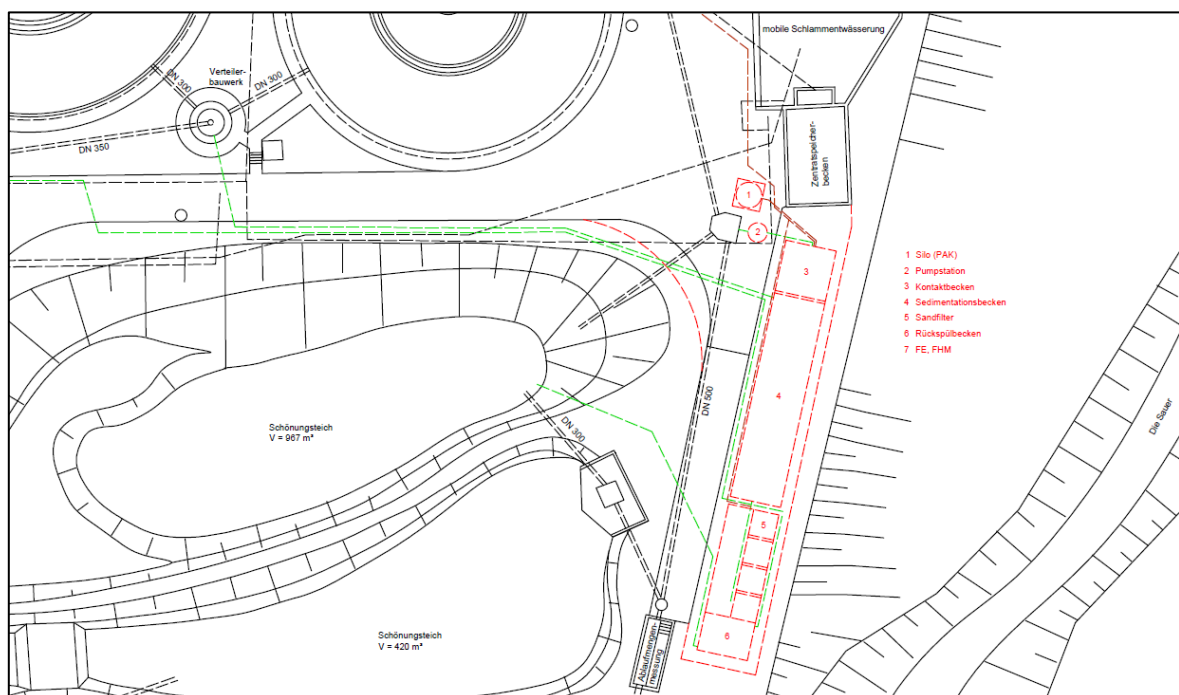


Abb. 5.1: Einbindung der PAK-Stufe in die KA Grundsteinheim

In Tabelle 5.2 werden die Auslegungsdaten der Anlage aufgelistet.

Tab. 5.2: Auslegungsdaten der PAK-Anlage für die KA Grundsteinheim

| Stufe  | n      | L x B x H               | A              | V                     | t <sub>R</sub> | v <sub>f</sub> | q <sub>A</sub> | Dosierung |
|--|--------|-------------------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|
|  | -      | m                       | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup>        | min            | m/h            | m/h            | mg/l      |
| Kontaktbecken                                    | 1      | 4,05 x 4 x 4            | 16,2           | 65                    | 30             |                |                |           |
| PAK  |        |                         |                | 10 m <sup>3</sup>     |                |                |                | 10-20     |
| Fällmittel                                       |        |                         |                |                       |                |                |                | 2-8       |
| Polymer  |        |                         |                |                       |                |                |                | 0,2-0,35  |
| Sedimentation                                    | 1      | 16,2 x 4 x 4            | 65             | 260                   | 120            |                | 2              |           |
| Filter<br>(mit einer<br>Gesamthöhe<br>von 3,9 m) | 1<br>4 | 1,95 x 2 x 1,5<br>(3,9) | 3,9<br>15,6    | 5,9<br>23,4<br>(60,9) |                | 11             |                |           |
| Spülwasser                                       | 1      |                         |                |                       | 10             | 55             |                |           |
| Spülluft   | 1      |                         |                |                       | 8              | 90             |                |           |
| Vorhaltebecken                                   | 1      |                         |                | 36                    |                |                |                |           |

### 5.3 Variante 2: Granulierte Aktivkohle

Diese Variante besteht aus einem Festbettfilter der mit GAK gefüllt ist. Als maximale Beschickung der Aktivkohlebehandlung wird  $Q_M$  gewählt. Bei Regenereignissen (Abfluss > 36 l/s) erfolgt ein Entlastung in den vorhandenen Schönungsteich. Die Behandlungsstufe wird am Schönungsteich geplant (Abb. 5.2).

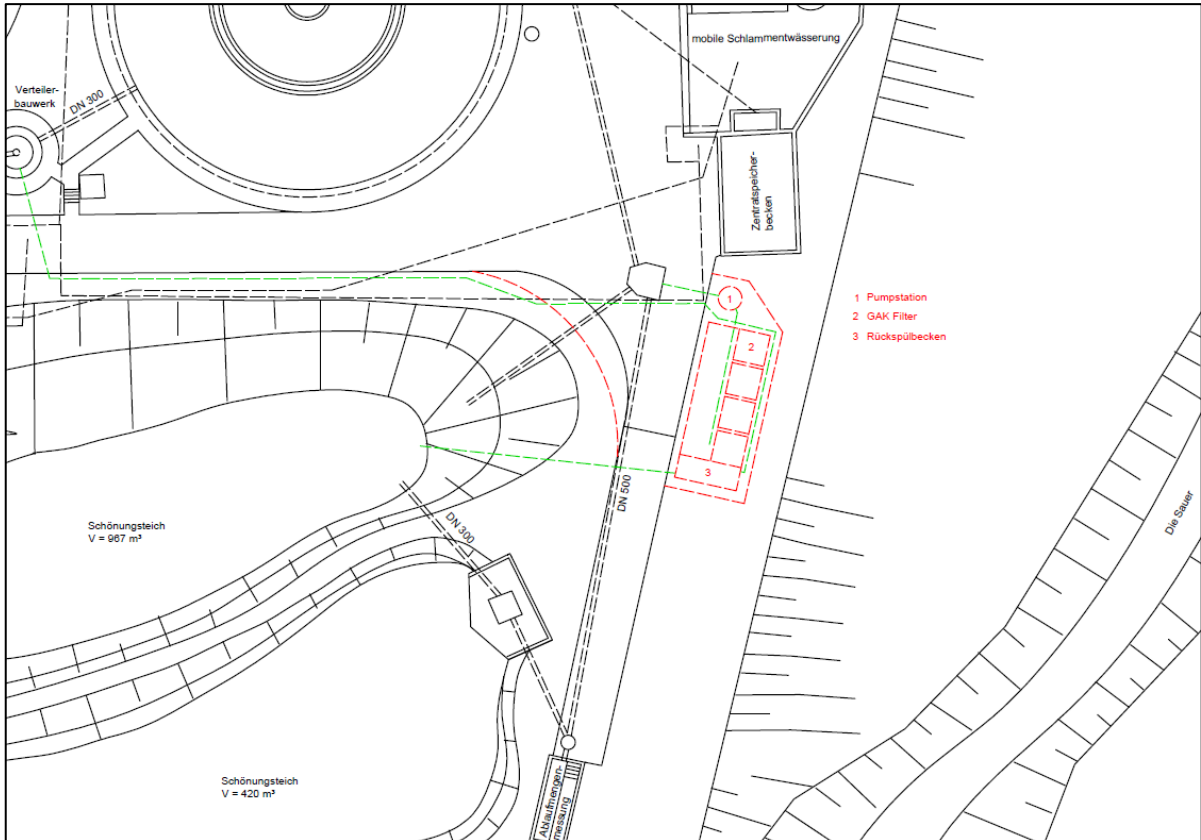


Abb. 5.2: Einbindung der GAK-Stufe in die KA Grundsteinheim

In Tabelle 5.3 werden die Auslegungsdaten der Anlage aufgelistet.

Tab. 5.3: Auslegungsdaten der GAK-Anlage für die KA Grundsteinheim

| Stufe                        | n | L x B x H    | A     | A ges. | V     | V ges. | $t_R$ | $v_f$ |
|------------------------------|---|--------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|                              | - | m            | $m^2$ | $m^2$  | $m^3$ | $m^3$  | min   | m/h   |
| GAK-Filter bei $Q_M$         | 3 | 1,95 x 2 x 5 | 3,9   | 11,7   | 9,8   | 29,4   | 14    | 11    |
| GAK-Filter bei $Q_{T,h,max}$ | 1 | 1,95 x 2 x 5 | 3,9   | 3,9    | 9,8   | 9,8    | 15    | 10    |
| Spülwasser GAK               | 1 |              |       |        |       |        | 10    | 27    |
| Spülluft GAK                 | 1 |              |       |        |       |        | 3     | 60    |
| Vorhaltebecken               | 1 |              |       |        |       | 18     |       |       |



## 5.4 Variante 3: Ozonung

In Variante 3 werden die Mikroschadstoffe mittels Ozon eliminiert bzw. transformiert. Der geplante Standort für die Ozonung liegt im Bereich des Schönungsteiches (Abb. 5.3). Der Reaktionsraum wird als einstraßiges Erdbecken geplant. Über eine Pumpstation, wie in den ersten beiden Varianten, wird der Reaktor beschickt. Das Wasser aus dem Ozon-Reaktor wird biologisch nachbehandelt. Dafür kann der auf der Kläranlage Grundsteinheim vorhandene Schönungsteich genutzt werden.

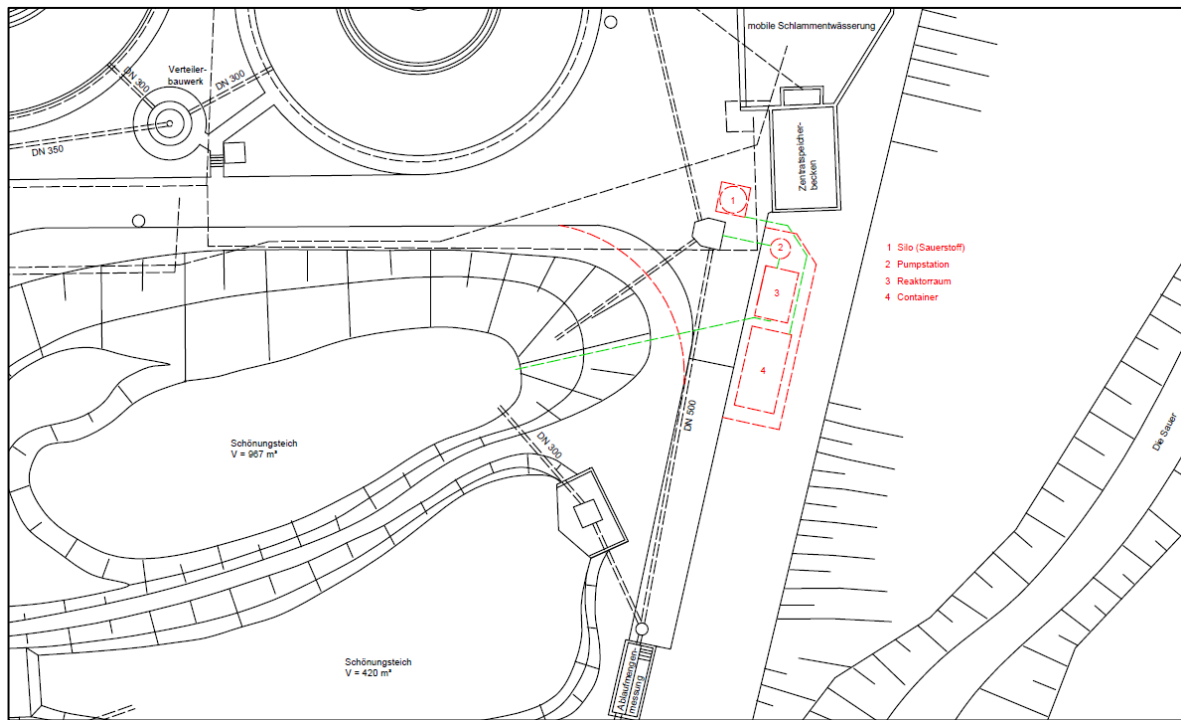


Abb. 5.3: Einbindung der Ozon-Stufe in die KA Grundsteinheim

In Tabelle 5.4 werden die Auslegungsdaten der Anlage aufgelistet.

Tab. 5.4: Auslegungsdaten der Ozonung für die KA Grundsteinheim

| Stufe         | n | L x B x H              | A              | V              | $t_R$ | Dosierung             | Bedarf |
|---------------|---|------------------------|----------------|----------------|-------|-----------------------|--------|
|               | - | m                      | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> | min   | mg O <sub>3</sub> / l | kg/h   |
| $Q_M$         |   |                        |                |                |       | 5                     | 0,65   |
| $Q_{T,h,max}$ |   |                        |                |                |       | 5                     | 0,20   |
| Reaktor       | 1 | 3,8 x 2,5 x 4,5<br>(5) | 9,5            | 43,3           | 20    |                       |        |

## 6 Kostenbetrachtung

### 6.1 Allgemeines

Um die Wirtschaftlichkeit der drei Varianten prüfen zu können, muss eine Kostenschätzung der einzelnen Lösungen für die Investitionskosten und Betriebskosten durchgeführt werden. Bei der Abschätzung der Kosten wurden Werte aus der Literatur und bestehender Referenzanlagen verwendet. Sämtliche Kosten werden Netto angegeben.

### 6.2 Kostenschätzung Variante 1 - Pulveraktivkohle

Die Investitionskosten für die Variante 1 - Pulveraktivkohle wurden anhand der durchgeführten Berechnungen ermittelt. Aus den Investitions- und Betriebskosten können die Jahreskosten für diese Variante berechnet werden (Tab. 6.1). Dabei wurde für die Leistungen der Bautechnik und der Nebenkosten eine Nutzungsdauer von 30 Jahren und für die EMSR- und Maschinenteknik von 10 bzw. 15 Jahren angesetzt.

Tab. 6.1: Investitions- und Betriebskosten für PAK

| <b>Investitionskosten</b>                                 | <b>Einheiten</b>      |                      |                  |
|---|-----------------------|----------------------|------------------|
| Bautechnik  | €                     |                      | 344.500          |
| Maschinenteknik   | €                     |                      | 366.000          |
| EMSR Technik  | €                     |                      | 258.000          |
| Nebenkosten   | €                     |                      | 185.500          |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €                     |                      | <b>1.154.000</b> |
| <b>Betriebskosten</b>                                     | <b>Einheiten</b>      |                      |                  |
| Energie   | €/a                   |                      | 10.500           |
| Personal  | €/a                   |                      | 12.500           |
| Wartung/ Instandaltung                                    | €/a                   |                      | 23.000           |
| Sauerstoff  | €/a                   |                      |                  |
| PAK/GAK   | €/a                   |                      | 5.000            |
| FHM, FM, Schlamm Entsorgung                               | €/a                   |                      | 10.000           |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                   |                      | <b>61.000</b>    |
| <b>Kapitalkosten</b>                                      | <b>Einheiten</b>      | <b>Faktoren LAWA</b> |                  |
| Bautechnik  | €/a                   | 0,05102              | 17.576           |
| Maschinenteknik   | €/a                   | 0,05102              | 31.116           |
| Elektrotechnik  | €/a                   | 0,05102              | 30.245           |
| Nebenkosten   | €/a                   | 0,05102              | 9.464            |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                   |                      | <b>88.402</b>    |
| <b>Jahreskosten (Bezugsjahr 2014)</b>                     | <b>Einheiten</b>      |                      |                  |
| Jahreskosten gesamt                                       | €/a                   |                      | 149.402          |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser | €/(m <sup>3</sup> *a) |                      | 0,45             |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> Frischwasser         | €/(m <sup>3</sup> *a) |                      | 0,93             |

Die spezifischen Jahreskosten bezogen auf den Frischwassermaßstab betragen 0,93 €/m<sup>3</sup>\*a. Es wurden Gesamtjahreskosten von 149.402 € ermittelt. Die Berechnungsansätze können der Kostenaufstellung (siehe 10.) entnommen werden.

### 6.3 Kostenschätzung Variante 2 - Granulierte Aktivkohle

Die Investitionskosten der Variante 2 - Granulierte Aktivkohle wurden anhand der durchgeführten Berechnungen ermittelt. Dabei wurden 4 Filter berücksichtigt.

Ein wesentlicher Kostenfaktor für die Variante stellt der regelmäßige Austausch der GAK dar. Hierfür wurden die Beschaffungskosten bei einem mittleren Jahresverbrauch von 18 t/a einbezogen, gerechnet wurde mit reaktivierter Aktivkohle.

Aus den Investitions- und Betriebskosten können die Jahreskosten für diese Variante berechnet werden (Tab. 6.2). Dabei wurde für die Leistungen der Bautechnik und der Nebenkosten eine Nutzungsdauer von 30 Jahren und für die EMSR- und Maschinentechnik von 10 bzw. 15 Jahren angesetzt.

Tab. 6.2: Investitions- und Betriebskosten für GAK

| <b>Investitionskosten</b>                                 | <b>Einheiten</b>    |                      |                |
|---|---------------------|----------------------|----------------|
| Bautechnik  | €                   |                      | 200.500        |
| Maschinentechnik  | €                   |                      | 210.000        |
| EMSR Technik  | €                   |                      | 265.000        |
| Nebenkosten   | €                   |                      | 141.500        |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €                   |                      | <b>817.000</b> |
| <b>Betriebskosten</b>                                     | <b>Einheiten</b>    |                      |                |
| Energie   | €/a                 |                      | 4.000          |
| Personal  | €/a                 |                      | 12.500         |
| Wartung/ Instandhaltung                                   | €/a                 |                      | 16.000         |
| Sauerstoff  | €/a                 |                      |                |
| PAK/GAK   | €/a                 |                      | 19.500         |
| FHM, FM, Schlamm Entsorgung                               | €/a                 |                      |                |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                 |                      | <b>52.000</b>  |
| <b>Kapitalkosten</b>                                      | <b>Einheiten</b>    | <b>Faktoren LAWA</b> |                |
| Bautechnik  | €/a                 | 0,05102              | 10.229         |
| Maschinentechnik  | €/a                 | 0,05102              | 17.853         |
| Elektrotechnik  | €/a                 | 0,05102              | 31.066         |
| Nebenkosten   | €/a                 | 0,05102              | 7.219          |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                 |                      | <b>66.368</b>  |
| <b>Jahreskosten (Bezugsjahr 2014)</b>                     | <b>Einheiten</b>    |                      |                |
| Jahreskosten gesamt                                       | €/a                 |                      | 118.368        |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser | €/m <sup>3</sup> *a |                      | 0,36           |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> Frischwasser         | €/m <sup>3</sup> *a |                      | 0,74           |

Die spezifischen Jahreskosten bezogen auf den Frischwassermaßstab betragen 0,74 €/m<sup>3</sup>\*a. Es wurden Gesamtjahreskosten von 118.368 € ermittelt. Die Berechnungsansätze können der Kostenaufstellung (siehe 10.) entnommen werden.

### 6.4 Kostenschätzung Variante 3 - Ozonung

Die Investitionskosten für die Variante 3 - Ozonung wurden anhand der durchgeführten Berechnungen ermittelt. Aus den Investitions- und Betriebskosten können die Jahreskosten für diese Variante berechnet werden (Tab. 6.3). Dabei wurde für die Leistungen der Bautechnik und der Nebenkosten eine Nutzungsdauer von 30 Jahren und für die EMSR- und Maschinentechnik von 10 bzw. 15 Jahren angesetzt.

Tab. 6.3: Investitions- und Betriebskosten für Ozon

| <b>Investitionskosten</b>                                 |                     | <b>Einheiten</b> |                      |                |
|---|---------------------|------------------|----------------------|----------------|
| Bautechnik  | €                   |                  |                      | 83.500         |
| Maschinentechnik  | €                   |                  |                      | 279.000        |
| EMSR Technik  | €                   |                  |                      | 208.000        |
| Nebenkosten   | €                   |                  |                      | 127.000        |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €                   |                  |                      | <b>697.500</b> |
| <b>Betriebskosten</b>                                     |                     | <b>Einheiten</b> |                      |                |
| Energie   | €/a                 |                  |                      | 20.000         |
| Personal  | €/a                 |                  |                      | 10.000         |
| Wartung/ Instandhaltung                                   | €/a                 |                  |                      | 16.000         |
| Sauerstoff  | €/a                 |                  |                      | 3.000          |
| PAK/GAK   | €/a                 |                  |                      |                |
| FHM, FM, Schlammensorgung                                 | €/a                 |                  |                      |                |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                 |                  |                      | <b>49.000</b>  |
| <b>Kapitalkosten</b>                                      |                     | <b>Einheiten</b> | <b>Faktoren LAWA</b> |                |
| Bautechnik  | €/a                 | 0,05102          |                      | 4.260          |
| Maschinentechnik  | €/a                 | 0,05102          |                      | 23.720         |
| Elektrotechnik  | €/a                 | 0,05102          |                      | 24.384         |
| Nebenkosten   | €/a                 | 0,05102          |                      | 6.479          |
| <b>Gesamtkosten</b>                                       | €/a                 |                  |                      | <b>58.843</b>  |
| <b>Jahreskosten (Bezugsjahr 2014)</b>                     |                     | <b>Einheiten</b> |                      |                |
| Jahreskosten gesamt                                       | €/a                 |                  |                      | 107.843        |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> behandeltes Abwasser | €/m <sup>3</sup> *a |                  |                      | 0,33           |
| Spez. Jahreskosten je m <sup>3</sup> Frischwasser         | €/m <sup>3</sup> *a |                  |                      | 0,67           |

Die spezifischen Jahreskosten bezogen auf den Frischwassermaßstab betragen 0,67 €/m<sup>3</sup>\*a. Es wurden Gesamtkosten von 107.843 € ermittelt. Die Berechnungsansätze können der Kostenaufstellung (siehe 10.) entnommen werden.

## 6.5 Kostenzusammenstellung

Nachfolgend werden die Investitions- (Tab. 6.4) und die Betriebskosten (Tab. 6.5) aufgeführt.

Tab. 6.4: Gesamtinvestitionskosten der verschiedenen Varianten

| Pos | Beschreibung       | Verfahren 1: PAK<br>€ | Verfahren 2: GAK<br>€ | Verfahren 3: Ozon<br>€ |
|-----|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1   | Bautechnik         | 344.500               | 200.500               | 83.500                 |
| 2   | Maschinentechnik   | 366.000               | 210.000               | 279.000                |
| 3   | EMSR-Technik       | 258.000               | 265.000               | 208.000                |
| 4   | Nebenkosten        | 185.500               | 141.500               | 127.000                |
|     | Investition netto  | 1.154.000             | 817.000               | 697.500                |
|     | 19 % USt.          | 219.260               | 155.230               | 132.525                |
|     | Investition brutto | 1.373.260             | 972.230               | 830.025                |

Die Betriebskosten ergeben sich aus den Berechnungen und werden in Personal-, Energie-, Wartungs-/Unterhaltungs- sowie Betriebsmittelkosten aufgeteilt.

Tab. 6.5: Gesamtbetriebskosten der verschiedenen Verfahren

| Pos | Beschreibung                      | Verfahren 1: PAK<br>€/a | Verfahren 2: GAK<br>€/a | Verfahren 3: Ozon<br>€/a |
|-----|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1   | Energiekosten                     | 10.500                  | 4.000                   | 20.000                   |
| 2   | Personalkosten                    | 12.500                  | 12.500                  | 10.000                   |
| 3   | Chemikalienkosten                 | 5.000                   | 19.500                  | 3.000                    |
| 4   | Entsorgungskosten                 | 10.000                  |                         |                          |
| 5   | Wartungs-<br>/Unterhaltungskosten | 23.000                  | 16.000                  | 16.000                   |
|     | Betriebskosten netto              | 61.000                  | 52.000                  | 49.000                   |
|     | 19 % USt.                         | 11.590                  | 9.880                   | 9.310                    |
|     | Betriebskosten brutto             | 72.590                  | 61.880                  | 58.310                   |

Daraus können folgende Gesamtjahreskosten ermittelt werden (Tab. 6.6):

Tab. 6.6: Gesamtjahreskosten der verschiedenen Verfahren

| Pos | Beschreibung                 | Verfahren 1: PAK<br>€/a | Verfahren 2: GAK<br>€/a | Verfahren 3: Ozon<br>€/a |
|-----|------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
|     | Kapitalkosten<br>netto       | 88.402                  | 66.368                  | 58.843                   |
|     | Betriebskosten netto         | 61.000                  | 52.000                  | 49.000                   |
|     | Gesamtjahreskosten<br>Netto  | 149.402                 | 118.368                 | 107.843                  |
|     | 19 % USt.                    | 28.386,31               | 22.489,94               | 20.490,18                |
|     | Gesamtjahreskosten<br>brutto | 177.787,97              | 140.858,04              | 128.333,24               |

Wie sich bereits bei den Investitions- und Betriebskosten zeigt, ist die Variante 1 - Pulveraktivkohle die kostenintensivste Variante. Die Variante 2 mit granulierter Aktivkohle kann auf der Kläranlage Grundsteinheim auch nicht wirtschaftlich dargestellt werden, da im Vergleich zu anderen Kläranlagen keine vorhandene Bausubstanz (z.B.: Filter) nutzbar ist. Für die Variante 3 – Ozonung könnte der vorhandene Schönungsteich als biologische Nachbehandlung genutzt werden. Zusätzlich stellt sich die Variante 3 als kostengünstigste Variante dar. Entscheidend für die Auswahl der Variante ist allerdings nicht nur die Wirtschaftlichkeit, sondern auch die spezifische Eliminationsleistung der im Ablauf vorhandenen Mikroschadstoffe.

Die Variante der Ozonung mit Jahreskosten von 107.843 €/a ist das wirtschaftlichste Verfahren. Sie ist im Vergleich zur Variante 1 Pulveraktivkohle mit 149.402 €/a um 39 % und im Vergleich zu Variante 2 der granulierten Aktivkohle mit 118.368 €/a um 10 % günstiger.

## 7 Zusammenfassung

In der Machbarkeitsstudie zur Elimination von Mikroschadstoffen auf der Kläranlage Grundsteinheim wurden die zur Zeit verwendeten Varianten zur Spurenstoffentfernung untersucht. Darunter fallen die Behandlung des Abwassers mit Pulveraktivkohle, granulierter Aktivkohle und Ozon.

Diese Reinigungsstufe soll die Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlagen eliminieren bzw. verringern, da die meisten Mikroschadstoffe in der biologischen Stufe einer konventionellen Kläranlage nicht oder nur zum Teil abgebaut werden.

Ziel der Studie war es, die in der Praxis angewendeten Verfahren zu untersuchen, zu vergleichen und ihre Wirtschaftlichkeit am Beispiel der Kläranlage Grundsteinheim zu betrachten. Zur Auslegung der Beckenvolumen für die Mikroschadstoffelimination wurden relevante Wassermengen im Zulauf der KA anhand der Mischwasserzuflüsse bestimmt. In Tabelle 7.1 wird eine Beurteilung der verschiedenen Varianten vorgenommen.

Tab. 7.1: Bewertungsmatrix V1 – V3

| Variante                                      | Wichtung [%] | V1  |           |            | V2                                    |           |            | V3               |           |            |
|---|--------------|---|-----------|------------|---------------------------------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|
|   |              | PAK mit Kontakt-,<br>Absetzbecken u. Filter |           |            | GAK im nachgeschalteten<br>Raumfilter |           |            | Ozonung          |           |            |
|   |              | Kosten                                      | Punkte    | Wertung    | Kosten                                | Punkte    | Wertung    | Kosten           | Punkte    | Wertung    |
| <b>Investitionskosten</b>                     |              | <b>1.154.000 €</b>                          |           |            | <b>817.000 €</b>                      |           |            | <b>697.500 €</b> |           |            |
| Kapitalkosten /a                              | 20%          | 88.402 €                                    | 3         | 0,6        | 66.368 €                              | 4         | 0,8        | 58.843 €         | 5         | 1,0        |
| Betriebskosten /a                             | 30%          | 61.000 €                                    | 3         | 0,9        | 52.000 €                              | 4         | 1,2        | 49.000 €         | 4         | 1,2        |
| <b>Zwischensumme</b>                          | <b>50%</b>   |   |           | <b>1,5</b> |                                       |           | <b>2,0</b> |                  |           | <b>2,2</b> |
| Eliminationsleistung                          | 15%          | gut   | 4         | 0,6        | gut                                   | 4         | 0,6        | gut              | 4         | 0,6        |
| Verbesserung Reinigungsleistung (CSB, P, ASF) | 10%          | sehr gut                                    | 5         | 0,5        | gut                                   | 4         | 0,4        | befriedigend     | 3         | 0,3        |
| Wartungsarbeiten / Betriebsaufwand            | 10%          | etwas höher                                 | 2         | 0,2        | mittel                                | 3         | 0,3        | gering           | 4         | 0,4        |
| Betriebssicherheit / Redundanzen              | 5%           | erprobt                                     | 5         | 0,3        | Versuche                              | 3         | 0,2        | erprobt          | 5         | 0,3        |
| Aufwand der Integration (Bauaufwand)          | 10%          | ausreichend                                 | 2         | 0,2        | befriedigend                          | 3         | 0,3        | gut              | 4         | 0,4        |
| <b>Zwischensumme</b>                          | <b>50%</b>   |   |           | <b>1,8</b> |                                       |           | <b>1,8</b> |                  |           | <b>2,0</b> |
| <b>Summe</b>                                  | <b>100%</b>  |   |           | <b>3,3</b> |                                       |           | <b>3,8</b> |                  |           | <b>4,2</b> |
| Jahreskosten gesamt                           | /a           |   | 149.402 € |            |                                       | 118.368 € |            |                  | 107.843 € |            |
| Spez. Jahreskosten je m³ Abwasser             | / m³*a       |   | 0,51 €    |            |                                       | 0,40 €    |            |                  | 0,34 €    |            |
| Spez. Jahreskosten je m³ Frischwasser         | / m³*a       |   | 1,05 €    |            |                                       | 0,83 €    |            |                  | 0,70 €    |            |

Die drei gewählten Varianten zeigen auf Pilotanlagen gute Eliminationsleistungen. Die adsorptiven Verfahren, wie Pulveraktivkohle und granuliert Aktivkohle zeichnen sich besonders dadurch aus, dass sie die Spurenstoffe aus dem Abwasser entfernen und nicht wie bei der Oxidation in Transformationsprodukte umwandeln. Jede Variante hat ihre Vor- und Nachteile. Mit der Pulveraktivkohle werden durch die Adsorption gute Reinigungsziele erreicht. Eine Desorption einiger Schadstoffe, wie bei der granulierten Aktivkohle, wird nicht beobachtet, da die Aktivkohle nicht lange im System verbleibt. Aufgrund der hohen Investitionskosten und Betriebskosten lässt sich dieses Verfahren im Vergleich nicht wirtschaftlich darstellen. Weil auf der KA Grundsteinheim keine vorhandene Bausubstanz nutzbar ist, müssen alle Becken (Kontaktbecken, Sedimentation, Filtration) neu errichtet werden.

Der Schlamm kann nicht mehr landwirtschaftlich verwertet werden, denn die Pulveraktivkohle wird mit dem Klärschlamm aus dem System entnommen. Hieraus resultieren höhere Entsorgungskosten (Verbrennung) und es ist mit einem höheren Schlammaufkommen zu rechnen.

Die granulierten Aktivkohle wird auf Referenzanlagen neben der Elimination von Mikroschadstoffen auch zum Abbau weiterer Abwasserinhaltsstoffe genutzt. GAK kann im Gegensatz zu PAK regeneriert werden. Bei der GAK ist weiterhin eine landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes möglich, da die Filterkohle separat entsorgt werden kann. Eine Vorklärung kann sinnvoll sein, um die Filterstandzeiten zu verlängern. Da auf der KA Grundsteinheim keine vorhandene Bausubstanz nutzbar ist, müssen auch hierbei alle Bauwerke neu errichtet werden. Jedoch zeigte sich diese Variante durch geringere Investitions- und Betriebskosten als die wirtschaftlichere der Aktivkohle-Varianten.

Die Ozonung ist im Vergleich das wirtschaftlichste Verfahren. Ein Hauptvorteil der Ozonung sind die geringen Baukosten auf der KA Grundsteinheim. Die biologische Nachbehandlung des Abwassers kann durch den vorhandenen Schönungsteich erfolgen. Ein weiterer Vorteil bei der Ozonung ist die Desinfektion des Abwassers. Nachteilig ist, dass die Oxidation die Spurenstoffe nicht eliminiert, sondern vielmehr in Transformationsprodukte umwandelt. Diese werden weniger schädlich als ihre Ausgangsstoffe eingestuft. Für die Ozonproduktion müssen allerdings höhere Betriebskosten angesetzt werden.

Wie aus Tabelle 7.1 ersichtlich, kann für die Kläranlage Grundsteinheim eine Empfehlung für die Variante 3 – Ozonung ausgesprochen werden. Bis zu einer Umsetzung sollte das Thema Transformationsprodukte durch Ozonung bei bereits errichteten Anlagen verfolgt werden. Weiterhin sind die Entwicklungen im Klärschlamm- und Düngemittelrecht zu verfolgen, da bei einem Wegfall der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, dieser Kostenvorteil bei der Ozonung und der GAK entfällt.

Bearbeitung:

AWP GmbH  
Tegelweg 25  
33102 Paderborn

Dipl.-Ing. P. Bartnik  
B.Eng. K. Metzner

Paderborn, 19.12.2014



## 8 Literaturverzeichnis

- Alt, K.; Barnscheidt, I.; Burbaum, H.; Fritzsche, J.; Nahrstedt, A.**      **2012**      Spurenstoffelimination mit granulierter Aktivkohle auf dem Verbandsklärwerk „Obere Lutter“. 45. Essener Tagung für Wasser- und Abwasserwirtschaft, Aachen, 2012, S. 55/1-55/14
- BAFU**      **2012**      Mikroverunreinigungen aus kommunalen Abwasser. Bundesamt für Umwelt, Bern, 2012
- Bolle, W.; Pinnekamp, J.**      **2011**      Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase I. Abschlussbericht, FiW und ISA an der RWTH Aachen, Aachen, 2012
- Bornemann, C.; Erbe, V.; Hachenberg, M.; Kolisch, G.; Osthoff, T.; Taudien, Y.**      **2012**      Einsatz von Pulveraktivkohle in vorhandene Flockungsfiltrationsanlagen am Beispiel der Kläranlage Buchenhofen. 45. Essener Tagung für Wasser- und Abwasserwirtschaft, Aachen, 2012, S. 53/1-53/14
- ELWAS-WEB**      **2013**      Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaft in NRW, [www.elwasweb.nrw.de](http://www.elwasweb.nrw.de), 2013
- Golloch, A.; Sonntag, C.; Nöthe, T.**      **2005**      Einsatz oxidativer Verfahren (vornehmlich von Ozon) bei der Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen – Chemische Aspekte. Literaturstudie, Universität Dortmund, 2005
- Grünebaum, T.**      **2011**      Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt: Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und Innovationen, kostengünstigen Reinigungsverfahren, Schlussbericht Phase 1 „Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen“, Essen, 2011
- Herbst, H.; Mertsch, V.; Schaefer, S.**      **2012**      Kosten zur Reduzierung der Gewässerbelastung in NRW. Ergebnisse eines F+E Projektes zum Thema: Betriebs- und Volkswirtschaftliche Kosten bei der Elimination von Mikroschadstoffen bei der

- kommunalen Abwasserbehandlung mittels Aktivkohle und Ozon, 2. Fachsymposium Mikroschadstoffe, Düsseldorf, 2012
- IWW**                                **2012**    Symposium Mikroschadstoffe, GAK zur Mikroschadstoffelimination in vorhandenen Abwasserfiltrationsanlagen, Düsseldorf, 2012
- Kapp, H.**                                **2012**    Beispiele für den Einsatz von Aktivkohle bei der kommunalen Abwasserbehandlung in Baden-Württemberg. 45. Essener Tagung für Wasser- und Abwasserwirtschaft, Aachen, 2012
- MKULNV NRW**                                **ab**        Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.  
**2012**    Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, [www.masternplanwasser.nrw.de](http://www.masternplanwasser.nrw.de), 2013
- Oekotoxzentrum centre ecotox**                                **2014**    [www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege](http://www.oekotoxzentrum.ch/expertenservice/qualitaetskriterien/vorschlaege), 2014
- Türk, J.; Dazio, M.; Dinkel, F.; Ebben, T.; Herbst, H.; Hochstrat, R.; Madzielewski, V.; Matheja, A.; Montag, D.; Remmler, F.; Schaefer, S.; Schramm, E.; Türk, J.; Vogt, M.; Werbeck, N.; Wermter, P.; Wintgens, T.**                                **2013**    Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren (TP 9)“ , gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), AZ IV-7-042 600 0011, Vergabenummer 08/0581.