



# Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen

Überarbeitung des Kap. 5 der Arbeitshilfe vom  
18.02.2011

„Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maß-  
nahmen zur P-Elimination“

April 2015

erarbeitet durch

Technische Hochschule Mittelhessen THM  
Zentrum für Energie- und Umweltsystemtechnik (ZEuUS)  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und anaerobe Verfahrenstechnik  
Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen  
Wiesenstraße 14  
35390 Giessen

**Herausgeber:** Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Mainzer Str. 80  
65189 Wiesbaden  
Tel.: 0611 / 815 1301  
Fax: 0611 / 815 1941

**erarbeitet durch:**

Technische Hochschule Mittelhessen  
Zentrum für Energie- und Umweltsystemtechnik (ZEUUS)  
Fachbereich Bauwesen  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und anaerobe Verfahrenstechnik  
Wiesenstraße 14  
35390 Gießen  
Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen  
Tel.: 0172 5118256  
Fax: 0641 309 2964  
E-Mail: ulf.theilen@bau.thm.de

---

**Veröffentlichung:**

<http://flussgebiete.hessen.de/information/hintergrundinformationen-2015-2021.html>

| <b><u>Inhaltsverzeichnis</u></b> |  | Seite     |
|----------------------------------|--|-----------|
| <b>1</b>                         | <b>Grundlagen</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1                              | Hessisches Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie  | 1         |
| 1.2                              | Zielsetzung der Maßnahmen  | 1         |
| 1.3                              | Veranlassung für diese Überarbeitung   | 2         |
| <br>                             |  |           |
| <b>5</b>                         | <b>Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination</b>   | <b>4</b>  |
| 5.1                              | Allgemeines, Fallbetrachtung   | 4         |
| 5.2                              | Kostenbetrachtungen  | 7         |
| 5.2.1                            | Investitionen bei Dosierung von Fällmitteln  | 8         |
| 5.2.2                            | Investitionen für Biologische Phosphor-Elimination   | 14        |
| 5.2.3                            | Investitionen für weitergehende Suspensa-Entnahme bei Überwachungswert $P_{ges} < 0,2$ mg/l in der 24h-Probe   | 15        |
| 5.3                              | Ermittlung der zu verrechnenden Abwasserabgabe   | 19        |
| 5.4                              | Betriebskosten   | 21        |
| 5.4.1                            | Allgemeines  | 21        |
| 5.4.2                            | Betriebskosten der Chemischen P-Elimination durch Fällung  | 21        |
| 5.4.3                            | Betriebskosten der Biologischen P-Elimination  | 22        |
| 5.4.4                            | Betriebskosten der Filtration  | 22        |
| 5.5                              | Reduzierung der Betriebskosten durch Verringerung der zu zahlenden Abwasserabgabe  | 23        |
| 5.6                              | Modellrechnungen   | 23        |
| 5.7                              | Wertungen, Ergebnisse  | 34        |
| 5.7.1                            | Anlagentyp 1: Teichanlagen, ggf. kombiniert mit Tauchtropfkörperanlagen, Beispiel 500 EW   | 34        |
| 5.7.2                            | Anlagentyp 2: kleine Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, Beispiel 4.000 EW  | 37        |
| 5.7.3                            | Anlagentyp 3: Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und Größenordnungen zwischen ca. 10.000 und 40.000 EW, Beispiel: 20.000 EW | 38        |
| 5.7.4                            | Anlagentyp 4: Belebungsanlagen der Größenklasse 4 mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung (10.000 bis 100.000 EW), Beispiel: 50.000 EW    | 41        |
| 5.7.5                            | Anlagentyp 5: Belebungsanlagen mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung für Anlagen größer 100.000 EW, Beispiel: 200.000 EW                | 45        |
|                                  | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>47</b> |

## **Anlagenverzeichnis**

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Anlage 1: | Kostenermittlung zu den im Kap. 5 erläuterten Beispielvarianten | 50 |
|-----------|---|----|

## **Abbildungsverzeichnis**

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| Abbildung 5.7-1: | Überschreitungshäufigkeit von P <sub>ges</sub> der natürlich und technisch belüfteten Abwasserteichanlagen Mecklenburg-Vorpommern aus den Mittelwerten der behördlichen Überwachung, Stand 2003 (Barjenbruch et al., 2004) | 35 |
|------------------|--|----|

## **Tabellenverzeichnis**

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| Tabelle 5.1-1: | Betrachtete Anlagenkonfigurationen für Kostenbetrachtungen  | 5  |
| Tabelle 5.1-2: | angesetzte Abwassermengen der betrachteten Anlagenkonfigurationen                                     | 7  |
| Tabelle 5.2-1: | Basiswerte für die Dimensionierung von Modell-Filtrationsanlagen                                      | 16 |
| Tabelle 5.2-1: | Investitionen von Tuchfiltrationsanlagen, Maschinen- und E-MSR-Technik (Richtpreise)                  | 17 |
| Tabelle 5.2-3: | Investitionen von Tuchfiltrationsanlagen, Bautechnik (Richtpreise)                                    | 17 |
| Tabelle 5.2-1: | Investitionen von kontinuierlichen Sandfiltrationsanlagen, Maschinen- und E-MSR-Technik (Richtpreise) | 18 |
| Tabelle 5.2-1: | Investitionen von kontinuierlichen Sandfiltrationsanlagen, Bautechnik (Richtpreise)                   | 18 |
| Tabelle 5.3-1: | Abschätzung der möglicherweise zu verrechnenden Abwasserabgabe  | 20 |
| Tabelle 5.6-1: | Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellrechnungen   | 31 |
| Tabelle 5.6-2: | Mehr- oder Minderkosten ausgewählter Varianten im Vergleich zur Bestandsvariante                      | 33 |

## **1 Grundlagen**

### **1.1 Hessisches Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie**

Nach Art. 11 Abs. 1 Satz 1 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) müssen alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union für jede Flussgebietseinheit ein Maßnahmenprogramm aufstellen. Die Aufstellung der Maßnahmenprogramme ist durch § 82 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) geregelt. Das Hessische Maßnahmenprogramm für den Zeitraum von 2009 bis 2015 wurde am 22. Dezember 2009 veröffentlicht (HMUELV, 2009). Es wurde auf der Basis der Bestandsaufnahme, den Ergebnissen der Gewässerüberwachung, der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen, der Defizitanalyse und der konkreten Umweltziele erarbeitet.

Derzeit (Stand April 2015) ist der Entwurf für das Hessische Maßnahmenprogramm 2015-2021 offengelegt und soll bis Ende 2015 in Kraft gesetzt werden.

Maßgeblich für das Bewirtschaftungsziel ist der § 27 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) nach dem die oberirdischen Gewässer so zu bewirtschaften sind, dass ein guter ökologischer und guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird.

Im Ergebnis hat der Bewirtschaftungsplan gezeigt, dass für die Punktquellen der Schwerpunkt bei den Maßnahmen zur Verminderung des Eutrophierungsfaktors Phosphor (Trophie) liegen sollte. Die Maßnahmen zur Phosphorreduzierung an den Abwasserbehandlungsanlagen lassen auch positive Auswirkungen auf die Verminderung der organischen Belastung erwarten (Saprobie). .

An kommunalen Kläranlagen sind daher insbesondere Maßnahmen zur weiteren Verminderung der Abwasserbelastung durch Phosphor-Verbindungen vorgesehen. Diese sind immer dann geplant, wenn im Einzugsgebiet des Flusses unterhalb der Kläranlage ökologische Defizite bestehen, die u. a. auf zu hohe Phosphorkonzentrationen im Gewässer zurückgeführt werden können. Dies ist in Hessen mit Ausnahme des Rheins und des Wispereinzugsgebietes in allen Fließgewässern und einzelnen Seen und Talsperren der Fall.

### **1.2 Zielsetzung der Maßnahmen**

Die grundsätzlichen Forderungen des überarbeiteten Maßnahmenkatalogs zur Ausrüstung der Kläranlagen zwischen 1.000 EW und 10.000 EW (Größenklasse 2 und 3) sowie Optimierung der Einrichtungen zur Elimination von Phosphorverbindungen bei Anlagen größer 10.000 EW (Größenklasse 4 und 5) werden wie folgt festgelegt:

- Größenklasse 1:  
Keine generellen Anforderungen geplant.
- Größenklassen 2 und 3:  
Ausrüstung der Kläranlagen mit Anlagen zur P-Elimination zum Einhalten eines Überwachungswertes für  $P_{\text{ges.}}$  von 2,0 mg/l in der 2h-Mischprobe, angestrebter Jahresmittelwert 1,0 mg/l,
- Größenklasse 4:  
Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 0,5 mg/l sowie für ortho- $\text{PO}_4\text{-P}$  von 0,2 mg/l in der 24-h-Mischprobe einzuhalten, erwarteter Jahresmittelwert von ca. 0,4 mg/l,
- einzelne Kläranlagen der Größenklasse 4 im Einzugsgebiet von Schwarzbach (Ried), Rodau, Urselbach und einzelnen Talsperren (max. 16 Kläranlagen):  
Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 0,2 mg/l in der 24-h-Mischprobe einzuhalten
- Größenklasse 5:  
Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 0,2 mg/l in der 24-h-Mischprobe einzuhalten.

### 1.3 Veranlassung für diese Überarbeitung

Das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ging mit Vorlage der Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen im Februar 2011 davon aus, dass die in der Arbeitshilfe genannten  $P_{\text{ges.}}$ -Ablaufwerte zu einer deutlichen Verringerung der P-Ablaufmengen der kommunalen Kläranlagen und damit zu einer deutlichen Entlastung der Gewässer führen würde. Die in der Arbeitshilfe vom Februar 2011 genannten  $P_{\text{ges.}}$ -Ablaufwerte waren allerdings nicht als verbindliche Überwachungswerte eingeführt.

Diese Verringerung der P-Ablaufmengen sind nicht in dem Maß erreicht worden wie erhofft.

Neuere Untersuchungen des Hess. Landesamts für Umwelt und Geologie (HLUG) haben gezeigt, dass der Anteil der kommunalen Kläranlagen an dem Gesamt-Eintrag von Phosphor in die hessischen Gewässer bei ca. 65 % liegt und damit noch höher ist als 2009 angenommen wurde. Gleichzeitig zeigen die Bilanzierungsrechnungen, dass gegenüber der Arbeitshilfe von 2011 teilweise die Anforderungen an die Kläranlagen erhöht werden müssen, um den guten Zustand der betreffenden Gewässer zu erreichen.

Daher werden im Entwurf des Maßnahmenprogramms 2015-2021 die in Kap. 1.2 genannten Werte als zukünftige zusätzliche Überwachungswerte festgelegt.

Um insbesondere die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser neu festzusetzenden Überwachungswerte abschätzen zu können, wird hiermit das Kapitel 5 der Arbeitshilfe „Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination“ in überarbeiteter und aktualisierter Fassung vorgelegt.

## **2 Umsetzung der notwendigen Maßnahmen**

siehe Arbeitshilfe 2011

## **3 Phosphoreintrag ins Abwasser, Erfordernis der Phosphor-Rückgewinnung**

siehe Arbeitshilfe 2011

## **4 Prozesse und Technologien zur Phosphor-Elimination in Kläranlagen**

siehe Arbeitshilfe 2011

## **5 Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination (Überarbeitung 2015)**

### **5.1 Allgemeines, Fallbetrachtung**

Nachfolgend werden auf der Basis der theoretischen Betrachtungen und der im Rahmen des *"Gutachten zur Ertüchtigung von Kläranlagen ab 1.000 EW zur verbesserten Phosphor-Elimination"* durchgeführten Versuche zur P-Elimination verschiedene Vorschläge zur Realisierung bzw. zur Optimierung von P-Eliminationsverfahren beschrieben, mit denen die zukünftig zu erwartenden Überwachungswerte bzw. Jahresmittelwerte eingehalten werden können.

Die verschiedenen betrachteten Kläranlagentypen sind in der nachfolgenden Tabelle 5.1-1 zusammengestellt.

In der Tabelle 5.1-2 sind die angesetzten Abwassermengen zusammengestellt. Die Fremdwassermenge wurde allgemein mit 50 %  $Q_S$  angesetzt. Für die Mischwassermenge  $Q_{M,h}$  wurde der Ansatz  $Q_{M,h} = 3 * Q_S + Q_F$  gewählt.

Folgende Fragestellungen werden nachfolgend für die verschiedenen Typen unter anderem betrachtet:

- Mit welchen erforderlichen Investitionen und Betriebskosten ist zu rechnen?
- Welche Kosten - Nutzen - Verhältnisse einzelner Maßnahmen ergeben sich?
- Ab welcher Anlagengröße ist eine Online-Analytik für die P- Fällung zu empfehlen?
- Wann lohnt sich eine Zweipunktfällung?
- Wie können Anlagen zur biologischen P-Elimination eingerichtet und optimiert werden?
- Kann bei Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung die biologische P-Elimination eine maßgebliche Rolle übernehmen?
- Wie ändern sich durch die Fällmittelzugabe die Schlammengen und die Schlammeigenschaften?



Tabelle 5.1-1: Betrachtete Anlagenkonfigurationen für Kostenbetrachtungen (Teil 1)

| Nr.      | Anlagentyp und Größe  | Schlammbehandlung     | Eingesetzte Technologie zur P-Elimination                              | Überwachungswerte <sup>1)</sup>                          | Betriebsmittelwerte <sup>1)</sup><br>P <sub>ges</sub> | β-Wert (angen.) <sup>2)</sup> | Regelung der Dosierung und Lagerbehälter                            |
|----------|---|-----------------------|--|--|---|-------------------------------|---|
| <b>1</b> | <b>Varianten für sehr kleine Anlagen der GK 1 (ca. 100 bis 1.000 EW), Teichanlagen, z.T. mit TTK., Beispiel: 500 EW</b>         |                       |  |  |   |                               |   |
| 1.1      | Teich / z.T. TTK<br>500 EW  | aerobe Stabilisierung | <b>Bestand:</b><br>Keine P-Elimination                                 | <b>Bestand:</b><br>keine                                 | 7,0 mg/l  | -                             |   |
| 1.2      | Teich / z.T. TTK<br>500 EW  | aerobe Stabilisierung | Fällmitteldosierung kontinuierlich, Simultan-Fällung                   | keine  | 2,0 mg/l  | 1,8                           | kontinuierliche Dosierung<br>1 – m <sup>3</sup> Wechsel-Behälter    |
| <b>2</b> | <b>Varianten für kleine Anlagen der GK 2 und 3 (ca. 1.000 bis 10.000 EW), simultane aerobe Schlammstab., Beispiel: 4.000 EW</b> |                       |  |  |   |                               |   |
| 2.1      | Belebung,<br>4.000 EW   | aerobe Stabilisierung | <b>Bestand:</b><br>Keine P-Elimination                                 | <b>Bestand:</b><br>keine                                 | 7,0 mg/l  | -                             |   |
| 2.2      | Belebung,<br>4.000 EW   | aerobe Stabilisierung | Fällmitteldosierung kontinuierlich, Simultan-Fällung                   | 2,0 mg/l P <sub>ges</sub><br>in 2h-MP                    | 1,0 mg/l  | 2,2                           | kontinuierliche Dosierung,<br>10 m <sup>3</sup> Lagerbehälter       |
| 2.3      | Belebung,<br>4.000 EW   | aerobe Stabilisierung | Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung                   | 2,0 mg/l P <sub>ges</sub><br>in 2h-MP                    | 1,5 mg/l  | 1,5                           | frachtabhängige Dosierung<br>10 m <sup>3</sup> Lagerbehälter        |
| <b>3</b> | <b>Varianten für mittlere Anlagen der GK 4 (ca. 10.000 bis 50.000 EW), simultane aerobe Schlammstab., Beispiel 20.000 EW</b>    |                       |  |  |   |                               |   |
| 3.1      | Belebung,<br>20.000 EW  | aerobe Stabilisierung | <b>Bestand:</b> Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fäll.     | <b>Bestand:</b><br>2,0 mg/l P <sub>ges</sub><br>in 2h-MP | 1,5 mg/l  | 1,5                           | frachtabhängige Dosierung,<br>30 m <sup>3</sup> Lagerbehälter       |
| 3.2      | Belebung,<br>20.000 EW  | aerobe Stabilisierung | Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung                   | 0,5 mg/l P <sub>ges</sub><br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP   | 0,4 mg/l  | 2,2                           | frachtabhängige Dosierung,<br>30 m <sup>3</sup> Lagerbehälter       |
| 3.3      | Belebung,<br>20.000 EW  | aerobe Stabilisierung | Bio-P, zusätzlich Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung | 0,5 mg/l P <sub>ges</sub><br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP   | 0,4 mg/l  | 2,2                           | frachtabhängige Dosierung<br>30 m <sup>3</sup> Lagerbehälter, Bio-P |

Tabelle 5.1-1: Betrachtete Anlagenkonfigurationen für Kostenbetrachtungen (Teil 2)

| Nr.      | Anlagentyp und Größe  | Schlammbehandlung   | Eingesetzte Technologie zur P-Elimination   | Überwachungs-Werte <sup>1)</sup>                    | Betriebs-Mittelwerte <sup>1)</sup><br>P <sub>ges</sub> | β-Wert (angen.) <sup>2)</sup>              | Regelung der Dosierung und Lagerbehälter  |
|----------|---|---------------------|---|---|--|--|---|
| <b>4</b> | <b>Varianten für größere Anlagen der GK 4 (bis ca. 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, Beispiel 50.000 EW</b>    |                     |   |   |  |  |   |
| 4.1      | Belebung, 50.000 EW   | Vorklärung, Faulung | <b>Bestand:</b> Fällmitteldosierung frachtabhängig. Simultan-Fäll.  | <b>Bestand:</b> 2,0 mg/l P <sub>ges</sub> in 2h-MP  | 1,5 mg/l   | 1,5  | frachtabhängige Dosierung<br>50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter  |
| 4.2      | Belebung, 50.000 EW   | Vorklärung, Faulung | Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung  | 0,5 mg/l P <sub>ges</sub><br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l   | 2,2  | frachtabhängige Dosierung<br>50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter  |
| 4.3      | Belebung, 50.000 EW   | Vorklärung, Faulung | Bio-P neu, zusätzlich Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung                                    | 0,5 mg/l P <sub>ges</sub><br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l   | 2,2  | frachtabhängige Dosierung,<br>50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter                                       |
| 4.4      | Belebung, 50.000 EW   | Vorklärung, Faulung | Fällmitteldosierung, 2-Punkt-Fällung  | 0,5 mg/l P <sub>ges</sub><br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 4,0 mg/l (VK)<br>0,4 mg/l                              | 1,0 (Vorf.)<br>2,2 (Sim.-F.) <sup>3)</sup> | frachtabhängige Dosierung,<br>50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter                                       |
| 4.5      | Belebung, 50.000 EW   | Vorklärung, Faulung | Bio-P vorhanden, Fällmitteldosierung frachtabhängig, 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + Flockungsfiltration) | 0,2 mg/l P <sub>ges</sub> in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (NK)<br>0,15 mg/l (FF)                        | 1,2 (Sim.-F.)<br>3,0 (FF) <sup>4)5)</sup>  | frachtabhängige Dosierung,<br>2-Punkt-Fällung, Flockungsfiltration, 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter |
| <b>5</b> | <b>Varianten für sehr große Anlagen der GK 5 (größer 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, Beispiel 200.000 EW</b> |                     |   |   |  |  |   |
| 5.1      | Belebung, 200.000 EW  | Vorklärung, Faulung | <b>Bestand:</b> Bio-P vorhanden, Fällmitteldosierung frachtabhängig, Simultan-Fällung                         | <b>Bestand:</b> 1,0 mg/l P <sub>ges</sub> in 2h-MP  | 0,5 mg/l   | 2,0  | frachtabhängige Dosierung<br>50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter  |
| 5.2      | Belebung, 200.000 EW  | Vorklärung, Faulung | Bio-P vorhanden, Fällmitteldosierung frachtabhängig, 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + Flockungsfiltration) | 0,2 mg/l P <sub>ges</sub> in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (NK)<br>0,15 mg/l (FF)                        | 1,2 (Sim.-F.)<br>3,0 (FF) <sup>4)5)</sup>  | frachtabhängige Dosierung,<br>2-Punkt-Fällung, Flockungsfiltration, 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter |

**Erläuterungen zu den Annahmen der Tabelle 5.1-1:**

- 1) Die voraussichtlichen Vorgaben des HLOG / HMUKLV der zukünftigen Überwachungswerte werden im Betrieb zu niedrigeren Jahresmittelwerten (Betriebsmittelwerten) Diese Jahresmittelwerte werden für die weiteren Berechnungen der einzelnen betrachteten Anlagenkonfigurationen herangezogen und können im Einzelfall von den hier angesetzten Werten abweichen.
- 2) Bei den  $\beta$ -Werten handelt es sich um abgeschätzte Werte, die in der Praxis abweichen können.
- 3) Bei Anlagen mit 2-Punkt-Fällung wird für die erste Dosierstelle ein  $\beta$ -Wert von 1,0 angesetzt, für die 2. Dosierstelle ein erhöhter  $\beta$ -Wert.
- 4) Für Anlagen mit > 100.000 EW und einem angenommenen Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,2 \text{ mg/l}$  (24h-MP) wird ein erhöhter Fällmittelbedarf angenommen, was sich in einem erhöhten  $\beta$ -Wert zeigt.
- 5) für die Flockungsfiltration (FF) wird ein  $\beta$ -Wert von 3,0 angesetzt, da der zukünftige Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,2 \text{ mg/l}$  gegenüber den Angaben des DWA-A 202 eine deutliche Verschärfung darstellt.

Tabelle 5.1-2: angesetzte Abwassermengen der betrachteten Anlagenkonfigurationen

|                                 | Kläranlage, siehe Tabelle 5.1-1 |                           |                             |                             |                              |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                                 | Typ 1                           | Typ 2                     | Typ 3                       | Typ 4                       | Typ 5                        |
|                                 | 500 EW                          | 4.000 EW                  | 20.000 EW                   | 50.000 EW                   | 200.000 EW                   |
| $q_s$                           | 100 l/(E*d)                     | 120 l/(E*d)               | 140 l/(E*d)                 | 170 l/(E*d)                 | 200 l/(E*d)                  |
| $q_f$                           | 50%                             | 50%                       | 50%                         | 50%                         | 50%                          |
| $Q_{T,d}$                       | 75 m <sup>3</sup> /d            | 720 m <sup>3</sup> /d     | 4.200 m <sup>3</sup> /d     | 12.750 m <sup>3</sup> /d    | 60.000 m <sup>3</sup> /d     |
| $w_s$                           | 8                               | 10                        | 12                          | 12                          | 14                           |
| $Q_{T,h}$                       | 7,3 m <sup>3</sup> /h           | 58 m <sup>3</sup> /h      | 292 m <sup>3</sup> /h       | 885 m <sup>3</sup> /h       | 3.690 m <sup>3</sup> /h      |
| $Q_{M,h}$ (= 3* $Q_S$ + $Q_F$ ) | 19,8 m <sup>3</sup> /a          | 154 m <sup>3</sup> /a     | 758 m <sup>3</sup> /a       | 2.302 m <sup>3</sup> /a     | 9.405 m <sup>3</sup> /a      |
| $Q_{T,a}$                       | 27.325 m <sup>3</sup> /a        | 262.800 m <sup>3</sup> /a | 1.533.000 m <sup>3</sup> /a | 4.653.750 m <sup>3</sup> /a | 21.900.000 m <sup>3</sup> /a |

## 5.2 Kostenbetrachtungen

Grundsätzlich sind folgende Kosten zu betrachten:

- a) **Investitionen bzw. die sich daraus ergebenden Kapitalkosten für**
  - Dosierstation
  - Analysentechnik
  - Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
  - Um- und Neubauten, bei Bio-P auch ggf. erforderliches Anaerob-Volumen
  - ggf. Filtrationsanlagen
- b) **Betriebskosten**
  - Fällmittel
  - Reparatur-, Wartungs- und Unterhaltungskosten
  - Analysenkosten
  - Kosten für Schlamm entwässerung (Energie, Chemikalien) und -entsorgung
  - Energiekosten
  - Abwasserabgabe (Reduzierung durch geringere Ablaufwerte)

Um die Kosten der verschiedenen Verfahren (chemische P-Elimination, Biologische P-Elimination oder Bio-P mit unterstützender chemischer P-Elimination) gegenüberstellen zu können, müssen vergleichende Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Einzelnen durchgeführt werden.

Hierfür sollten die Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen zum Einsatz kommen. Neben der Berechnung der Projektkostenbarwerte unter Verwendung dynamischer Ansätze (auch Preisentwicklung, Zinsentwicklung etc.) kann ein erster überschlägiger Vergleich auch über Jahreskosten (Kapitalkosten und Betriebskosten jeweils pro Jahr) erfolgen, bei dem nach statischen Verfahren lediglich der aktuelle Zeitpunkt herangezogen wird.

Die nachfolgenden Kostenangaben wurden von verschiedenen Unternehmen zur Verfügung gestellt und basieren auf dem Kostenstand Juni 2014. Die auf dieser Basis getroffenen Angaben und Aussagen können nur einen ersten Anhaltspunkt darstellen und sind im Einzelfall anzupassen.

Es werden folgende Randbedingungen in den Jahreskostenbetrachtungen herangezogen:

#### **Kapitalkosten:**

- Zinssatz: 3 %
- Nutzungsdauer Bautechnik: 30 Jahre  
Annuitätenfaktor  $a = 0,05102$
- Nutzungsdauer Maschinenteknik: 15 Jahre  
Annuitätenfaktor  $a = 0,08377$

#### **Betriebskosten**

(Brutto-Kosten (inkl. ges. MwSt. von derzeit 19%)):

- spezifischer Strompreis: 0,24 €/kWh
- allgemeine Wartung Bautechnik: 1 % / a bezogen auf Investition
- allgemeine Wartung M- und E-Technik: 3 % / a bezogen auf Investition
- Fällmittelkosten: 210,00 €/t bei Lieferung von 25 m<sup>3</sup>  
300,00 €/f bei Lieferung von 10 m<sup>3</sup>  
475,00 €/t bei Lieferung von 1 m<sup>3</sup>
- Personalkosten 35,00 €/h
- Klärschlamm Entsorgung 60,00 €/t bei 25 % TS

### **5.2.1 Investitionen bei Dosierung von Fällmitteln**

Beim Einsatz von Fällmitteln ist der sich ergebende Fällschlamm zu berücksichtigen. Die Zusammensetzung des belebten Schlammes in der Belebungsanlage ändert sich durch den Fällschlamm, was Einfluss auf die biologischen Vorgänge hat. Vor Einsatz von Fällmitteln ist also die Funktionsweise der Belebungsanlage nachzuweisen, was

mittels Bemessungs- und Nachweisprogrammen (z.B. nach ATV-DVWK A131) erfolgen sollte.

Grundsätzlich müssen folgende Investitionsanteile betrachtet bzw. ermittelt werden:

- I. Dosierstation, bestehend aus
  - Lagerbehälter für die Fällmittel
  - Dosiertechnik (einfache Pumpentechnik und Verrohrung oder redundante Technologie)
  - Mess- und Regelungstechnik inkl. Software
- II. Einmischung des Fällmittels
- III. Abtrennung des Fällschlammes (Sedimentation, Filtration)
- IV. Bautechnik
  - Witterungsschutz (ist ein Gebäude erforderlich oder kann ggf. für die Dosiertechnik ein vorhandenes Gebäude genutzt werden)
  - Verrohrung bis zur Dosierstation (Entfernung des Lagertanks / der Dosieranlage von der Dosierstelle)
  - ggf. Investitionen für die Einmischung des Fällmittels

#### **5.2.1.1 Investitionen für Fällmittellager und Dosierstationen**

Neben der Lager- und Dosiertechnik sind die MSR-Technik sowie die Einbindung in ein vorhandenes Prozessleitsystem der maßgebliche Faktor bei den Investitionen. Die einzusetzende Messtechnik (Analysestechnik, Analysensonden für Stickstoffparameter und Phosphor) ist allerdings häufig ohnehin auf den Kläranlagen vorhanden, um die jeweiligen Zu- und Ablaufwerte online aufnehmen und dokumentieren zu können.

Nachstehend werden exemplarisch Investitionen für unterschiedlich große Dosieranlagen mit unterschiedlicher MSR-Technik zusammengestellt. Die Kosten wurden anhand von Anfragen bei Herstellern ermittelt und stellen Brutto-Kosten (inkl. ges. MwSt. von derzeit 19%) dar:

- a) Dosieranlage mit kleinem Wechsel-Lagerbehälter (IBC, ca. 1 m<sup>3</sup>), einfache Dosiertechnik (eine Pumpe), konstante Dosierung (keine Steuerung), Dosierung in den Zulauf zur Belebung (Simultanfällung), bestehend aus:
  - Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 1 m<sup>3</sup> (als Wechselbehälter)
  - Pumpe auf Palette, Dosiermenge max. 2 l/h
  - Überfüllsicherung, Leckagewarnung
  - Schaltschrank (Vor-Ort)
  - Wetterschutz

Diese Dosiertechnik sollte allenfalls auf kleinen Kläranlagen bis max. 5.000 EW eingesetzt werden.

- Auffangwanne, 1 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung ca. 2.200 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung ca. 2.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 1.800 €
- Wetterschutz (sofern erforderlich, ohne Isolierung) ca. 2.500 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 2.500 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 2.500 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 5.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 19.000 €

b) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 5 m<sup>3</sup>, einfache Dosiertechnik (eine Pumpe), kontinuierliche nicht gesteuerte Dosierung in den Zulauf zur Belebung (Simultanfällung), bestehend aus:

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 5 m<sup>3</sup>
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpe auf Palette, Dosiermenge max. 5 l/h
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

Diese Dosiertechnik sollte allenfalls auf kleinen Kläranlagen bis max. 10.000 EW eingesetzt werden.

- Behälter Außenaufstellung, inkl. Auffangwanne, 5 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Befüllleitungen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, , Isolierung ca. 13.000 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung, inkl. Wetterschutzschrank ca. 10.500 €
- Saug- und Dosierleitungen, Dosierstelle (hier insg. ca. 20 m Leitungen) ca. 4.000 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 6.000 €
- Transport, Montage, Inbetriebnahme ca. 5.000 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 5.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 15.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 58.500 €

c) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 10 m<sup>3</sup>, einfache Dosiertechnik (eine Pumpe), frachtabhängige gesteuerte Dosierung in den Zulauf zur Belebung (Simultanfällung), bestehend aus:

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 10 m<sup>3</sup>
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpe auf Palette, Dosiermenge max. 10 l/h
- Online-P-Messung im Ablauf, kombiniert mit Zulaufmengenmessung
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung

- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

Diese Dosiertechnik sollte allenfalls auf kleinen Kläranlagen bis max. 10.000 EW eingesetzt werden.

- Behälter Außenaufstellung inkl. Auffangwanne, 10 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Befüllleitungen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Isolierung ca. 20.000 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung, inkl. Wetterschutzschrank ca. 11.000 €
- Saug- und Dosierleitungen, Dosierstelle (hier insg. ca. 30 m Leitungen) ca. 5.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 6.000 €
- Messtechnik (Online-P) ca. 21.500 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 5.000 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 5.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 16.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 90.000 €

d) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 30 m<sup>3</sup>, redundante Dosiertechnik (zwei Pumpen), Steuerung über zwei Parameter (Ablaufwassermenge, Ablaufkonzentration, frachtproportionale Dosierung), Dosierung in den Zulauf zur Belebung (Simultanfällung) oder Zulauf zur Vorklärung (Vorfällung), bestehend aus:

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 30 m<sup>3</sup>, inkl. Leiter
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpen auf Palette, Dosiermenge max. 30 l/h (redundante Ausführung)
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Online-Messtechnik (Phosphor-Ablaufkonzentration), es wird davon ausgegangen, dass eine Online-Messung des Durchflusses ohnehin auf den Anlagen verfügbar ist.
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

Diese Dosiertechnik kann auf Kläranlagen jeder Größenordnung eingesetzt werden.

- Behälter inkl. Auffangwanne, 30 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Leiter und Bedienpost, Isolierung ca. 35.000 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung (redundante Ausführung), inkl. Wetterschutzschrank ca. 15.000 €
- Saug- und Dosierleitungen, Dosierstelle (hier insg. ca. 30 m Leitungen) ca. 5.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung, inkl. SPS ca. 9.000 €

- Messtechnik (Online-P) ca. 21.500 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 20.000 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 9.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 25.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 140.000 €

Da auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 bereits Dosierstationen zur P-Fällung vorhanden sind, werden hier Kosten für die Erweiterung der Dosierstation sowie der erforderlichen MSR-Technik für die frachtabhängige-Fällung von ca. 35.000 € angesetzt.

- e) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 30 m<sup>3</sup>, redundante Dosiertechnik (drei Pumpen), Dosierung an Steuerung über zwei Parameter (frachtproportionale Dosierung über Zulauf- und Abauffrachten), Dosierung an zwei Stellen (2-Punktfällung):

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 30 m<sup>3</sup>, inkl. Leiter
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpen auf Palette, Dosiermenge max. 10 l/h (redundante Ausführung), doppelte Ausführung für Zweipunktfällung
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Online-Messtechnik (Phosphor-Zulaufkonzentration und Phosphor-Ablaufkonzentration), es wird davon ausgegangen, dass eine Online-Messung des Durchflusses ohnehin auf den Anlagen verfügbar ist.
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

Diese Dosiertechnik kann grundsätzlich auf Kläranlagen jeder Größenordnung eingesetzt werden.

- Behälter inkl. Auffangwanne, 30 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Leiter und Bedienpost, Isolierung ca. 35.000 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung (3 Pumpen, redundante Ausführung, inkl. Wetterschutzschrank) ca. 18.500 €
- Saug- und Dosierleitungen, Dosierstelle (hier insg. ca. 30 m Leitungen) ca. 5.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung, inkl. SPS ca. 11.000 €
- Messtechnik (Online-P) ca. 43.000 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 22.000 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 10.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 30.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 185.000 €



Da auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 bereits Dosierstationen zur P-Fällung vorhanden sind, werden hier Kosten für die Erweiterung der Dosierstation sowie der erforderlichen MSR-Technik für die 2-Punkt-Fällung von ca. 60.000 € angesetzt.

### **5.2.1.2 Investitionen für Einmischung des Fällmittels**

Die Einmischung des Fällmittels ist von besonderer Bedeutung, da für die Einmischung eine hohe Turbulenz erforderlich ist. Die hierfür geeigneten Stellen auf der Kläranlage sind im Einzelfall zu prüfen. Diese können sei:

- Absturzbauwerke,
- Dosierstellen vor Pumpwerken,
- Einbau geeigneter statischer Mischer in Rohrleitungen (Achtung: Verzopfungsgefahr),
- Rohrleitungsstrecken mit großer Turbulenz vor Verteilungsbauwerken,
- Gerinneabschnitte mit großer Turbulenz, z.B. vor Venturi-Messtrecken, ggf. unterstützt durch zusätzliche Einbauten in das Gerinne.

**Die hierfür erforderlichen Investitionen sind im Einzelfall zu ermitteln und in den nachfolgenden Kostenbetrachtungen nicht enthalten.**

### **5.2.1.3 Investitionen für Suspensa-Entnahme (Fällschlamm-Entnahme)**

Die Entnahme der sich bei der Fällung bildenden Suspensa (Fällschlamm) erfolgt in der Regel über Absetzbecken.

Bei der Vorfällung werden die Fällmittel vor dem Sandfang oder vor dem Vorklärbecken zugegeben. Die Fällungsprodukte werden mit dem Primärschlamm im Vorklärbecken abgeschieden. Bei diesem Verfahren werden neben den Phosphaten auch organische und abfiltrierbare Stoffe entfernt, so dass durch die Reduzierung des BSB<sub>5</sub> bzw. CSB Auswirkungen auf die nachgeschaltete Belebung, insbesondere auf die Denitrifikation berücksichtigt werden müssen.

Bei der Simultanfällung wird der Fällschlamm über die Nachklärung aus dem System entnommen und über den Überschussschlamm entsorgt. Da der Fällschlamm sich in der Belebungsanlage bildet und damit Teil des belebten Schlamms ist, muss dieser inerte Schlamm bei der Bemessung bzw. der Nachrechnung der Belebungsanlage berücksichtigt werden. Hinweise sowie Bemessungsvorgaben sind z.B. dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 zu entnehmen.

**Investitionen für Absetzbecken (Vorklärbecken, Nachklärbecken) sind individuell zu ermitteln und in diesen Kostenbetrachtungen nicht enthalten.**

## 5.2.2 Investitionen für Biologische Phosphor-Elimination

Wie in Kap. 4.4 der Arbeitshilfe 2011 ausführlich erläutert ist für eine vermehrte biologische Phosphor-Aufnahme bei verschiedenen Bakterien-Gruppen der stetige Wechsel zwischen aeroben und anaeroben Zuständen erforderlich. Bei größeren Kläranlagen wird das in der Regel durch getrennte Anaerob-Becken realisiert. Kosten hierfür sind sehr standort- und größenspezifisch und können in diesem Rahmen nicht angegeben werden.

Für den Fall, dass ein zusätzliches Anaerobbecken realisiert werden soll, sind diese Kosten im Rahmen einer standortspezifischen Planung zu ermitteln.

In den nachfolgenden Kostenermittlungen sind Kosten zur Schaffung eines zusätzlichen Anaerob-Volumens nicht enthalten.

Bei vielen kleinen und mittleren Kläranlagen ist aber eine simultane Stickstoffelimination mit einer Steuerung der Phasen von Nitrifikation (Belüftung) und Denitrifikation (ohne Belüftung, nur Umwälzung) über Redox-/O<sub>2</sub>-Regelung oder einer Regelung über Ammonium-, Nitrat- und Sauerstoff-Sonden realisiert. In diesem Fall kann ggf. eine zusätzliche Anaerob-Phase in den Prozessablauf eingebaut werden.

Sollte also bereits die für eine Stickstoff-Elimination erforderliche Mess- und Regelungstechnik vorhanden sein (entweder als Ammonium-Nitrat-Messung oder als Redox-O<sub>2</sub>-Messung), erfordert eine Ergänzung des Prozesses um eine Anaerob-Phase (Bio-P-Phase) lediglich eine Umprogrammierung der Steuerung. Zu beachten sind in diesem Fall aber folgende Aspekte:

- Die gesamte biologische Stufe muss vor der entsprechenden Programmierung neu mit den aktuellen Belastungen der Anlage mit einem anerkannten Bemessungsprogramm oder Simulationsprogramm nachgewiesen werden. Besonderes Augenmerk ist zu legen auf:
  - das zur Verfügung stehende Belebungsvolumen
  - auf das Sauerstoffeintragssystem (Belüfterbelegung, Leistungsfähigkeit der gesamten Belüftungseinrichtung, Leistungsfähigkeit der Gebläse
  - die Effizienz der Nachklärung (es muss mit Einflüssen auf die Schlammabsetzeigenschaften gerechnet werden; das Entstehen von schlecht absetzbaren Mikroflokkeln oder fädigen Organismen kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden).
- Eine seitens der Aufsichtsbehörde vorgegebene oder seitens des Betreibers angestrebte P-Ablaufkonzentration ist ausschließlich durch biologische P-Elimination nicht sicher einzuhalten. Selbst wenn ein angestrebter P-Ablaufwert über längere Betriebsdauer erreicht werden sollte, kann durch Änderung der Zulaufbelastungen, Änderung der Abwassertemperatur und/oder Änderung der Biozönose eine Reduzierung der P-Elimination eintreten.

Daher sollte eine Bio-P-Anlage immer mit einer Fällmittel-Dosier-Anlage mit P-Ablaufwert-Messung und entsprechender Steuerung kombiniert werden.

Für die Umprogrammierung einer vorhandenen Mess- und Regelungstechnik mit Stickstoff-Regelung zur biologischen P-Elimination sind Kosten zwischen 5.000 € und 10.000 € erforderlich.

Die Kosten für eine neu einzurichtende Messstelle inkl. der Einbindung in die E-MSR-Technik der Kläranlage liegen bei ca. 20.000 bis 25.000 €.

### 5.2.3 Investitionen für weitergehende Suspensa-Entnahme bei Überwachungswert $P_{ges} < 0,2 \text{ mg/l}$ in der 24h-Probe

Sofern Überwachungswerte von  $P_{ges} < 0,2 \text{ mg/l}$  in der 24h-Probe gefordert werden, ist eine sehr weitgehende Fällung mit guter Flockenbildung und Suspensa-Entnahme in der Regel erforderlich.

Eine weitergehende Suspensa-Entnahme erfolgt in der Regel durch eine nachgeschaltete Filtration. Diese kann direkt im Ablauf der Nachklärung installiert werden (als reine Nachfiltration) oder als gesonderte Flockungsfiltrationseinheit zur Nachfällung in Kombination mit einer Fällmittel-Dosierung, Einmischung, Flockungsreaktor und Filtrationseinheit.

Für eine Nachfiltration zur reinen Entnahme der noch im Ablauf der Nachklärung enthaltenen Schwebstoffe bieten sich grundsätzlich verschiedene Filtrationsverfahren an:

- I. Tuchfiltration / Microsiebung
- II. kontinuierliche Sandfiltration
- III. Mehrschicht-Filtration
- IV. Membranfiltration (Mikrofiltration, Ultrafiltration)

Mit Tuchfiltrationsanlagen und kontinuierlich betriebenen Sandfilteranlagen sind  $P_{ges}$ -Ablaufkonzentrationen  $< 0,5 \text{ mg/l}$  in der 2h-Mischprobe sicher einzuhalten, sofern die MSR-Technik sowie Dosiertechnik der Fällmitteldosierung einwandfrei funktioniert.

Betriebsergebnisse haben zudem gezeigt, dass  $P_{ges}$ -Ablaufkonzentrationen in der 24h-Mischprobe  $< 0,2 \text{ mg/l}$  ebenfalls unter diesen Bedingungen eingehalten werden können.

Kosten für **Mehrschicht-Filtrationsanlagen** und **Membranfiltrationsanlagen** können hier nicht angegeben werden, da diese sehr standortspezifisch sind. Der Einsatz einer Membranfiltration ausschließlich zur Verringerung der Phosphat-Ablaufwerte ist nicht wirtschaftlich, da neben den vergleichsweise hohen Investitionen für eine Membranfiltration vor allem die Betriebskosten (elektrische Energie, Reinigungschemikalien) sowie Membranersatzkosten in Betracht zu ziehen sind. Sollten weitere Maßnahmen z.B. zur Entkeimung oder zur Reduzierung von an Feststoffen adsorbierter toxischer Inhaltsstoffe erforderlich sein, kann der Einsatz einer Membranfiltration sinnvoll und wirtschaftlich sein.

Allerdings kann mit einer Membranfiltration aufgrund des vollständigen Rückhalts von Suspensa ein P-Ablaufwert von < 0,2 mg/l sicher eingehalten werden. Bei Optimierung der Fällung lassen sich mit der Membranfiltration auch Ablaufwerte von < 0,05 mg/l (50 µg/l) erreichen (z.B. GNIRSS, 2007).

Für die Kostenermittlung wurden folgende Basiswerte zugrundegelegt:

Tabelle 5.2-1: Basiswerte für die Dimensionierung von Modell-Filtrationsanlagen

| Bemessungsgrößen |                |                |                | Wassermengen      |                   |                   | Tuchfilter / Scheibenfilter |                                   |                                   | kontinuierliche Sandfilter |                                  |                                  |
|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Grösse (EW)      | q <sub>s</sub> | q <sub>F</sub> | w <sub>s</sub> | Q <sub>T,d</sub>  | Q <sub>T,h</sub>  | Q <sub>M,h</sub>  | Filterfläche                | v <sub>F</sub> bei Q <sub>T</sub> | v <sub>F</sub> bei Q <sub>M</sub> | Filterfläche               | v <sub>F</sub> (Q <sub>T</sub> ) | v <sub>F</sub> (Q <sub>M</sub> ) |
|                  | (l/EW*d)       | (%)            |                | m <sup>3</sup> /d | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | m <sup>2</sup>              | m/h                               | m/h                               | m <sup>2</sup>             | m/h                              | m/h                              |
| 20.000           | 140            | 50%            | 12             | 4.200             | 292               | 758               | 90                          | 3,2                               | 8,4                               | 80                         | 3,7                              | 9,5                              |
| 50.000           | 170            | 50%            | 12             | 12.750            | 885               | 2.302             | 300                         | 3,0                               | 7,7                               | 250                        | 3,5                              | 9,2                              |
| 50.000           | 170            | 50%            | 12             | 12.750            | 885               | 2.302             | 360                         | 2,5                               | 6,4                               | 250                        | 3,5                              | 9,2                              |
| 100.000          | 200            | 50%            | 14             | 30.000            | 1.845             | 4.702             | 450                         | 4,1                               | 10,4                              | 500                        | 3,7                              | 9,4                              |
| 200.000          | 200            | 50%            | 14             | 60.000            | 3.690             | 9.405             | 900                         | 4,1                               | 10,5                              | 1000                       | 3,7                              | 9,4                              |

**Für die Tuchfiltrations- und kontinuierliche Sandfiltrationsanlagen können grob die nachfolgend zusammengestellten Investitionen für Bau- sowie Maschinen- und E-MSR-Technik angenommen werden, wobei hier festgehalten werden muss, dass die genannten Kosten grobe Schätzkosten sind und im Einzelfall detailliert überprüft werden müssen.**

Die Angaben über die Maschinen-, Elektro- und MSR-Technik wurden auf der Basis von Richtpreisangeboten verschiedener Anbieter, die für die Bautechnik wurden ebenfalls auf der Basis von Richtpreisangeboten sowie auf der Basis von Bauplänen sowie realisierten Baumaßnahmen ermittelt. Die Investitionen für die erforderliche Bautechnik (Betonbauweise) sind sehr vom Standort abhängig und bedürfen einer detaillierten Prüfung (Baugrund, Grundwasser etc.).

Hinzu kommen noch die Kosten für Planung und Genehmigung.

**I. Tuchfiltration:**

Filtrationseinheiten mit Mikrofasertüchern (Scheibenfilter) und Reinigungssystem, Steuerung, Einbau, Inbetriebnahme, Flockungsreaktor, Bautechnik, E-MSR-Technik, Halle, Filtrationspumpwerk  $\Delta H = 1$  m:

angesetzte Filtergeschwindigkeiten:

- bei  $Q_{T,h}$ :  $v_F = \text{ca. } 3 - 4$  m/h
- bei  $Q_{T,h}$ :  $v_F = \text{ca. } 10 - 12,5$  m/h

Tabelle 5.2-2: Investitionen von Tuchfiltrationsanlagen, Maschinen- und E-MSR-Technik (Richtpreise)

| Tuchfiltration, Investition Maschinen- und E-MSR-Technik |            |          |                          |                 |                  |
|--|------------|----------|--------------------------|-----------------|------------------|
| Grösse (EW)  | Filtration | Pumpwerk | Nebenanlagen, Sicherheit | Summe M+E netto | Summe M+E brutto |
|  | €          | €        | 20%                      | €               | €                |
| 20.000   | 280.000    | 80.000   | 72.000                   | 432.000         | 514.080          |
| 50.000   | 770.000    | 160.000  | 186.000                  | 1.116.000       | 1.328.040        |
| 100.000  | 970.000    | 240.000  | 242.000                  | 1.452.000       | 1.727.880        |
| 200.000  | 1.850.000  | 360.000  | 442.000                  | 2.652.000       | 3.155.880        |

Tabelle 5.2-3: Investitionen von Tuchfiltrationsanlagen, Bautechnik (Richtpreise)

| Tuchfiltration, Investition Bautechnik |            |          |                   |                 |                  |
|--|------------|----------|-------------------|-----------------|------------------|
| Grösse (EW)                            | Filtration | Pumpwerk | Halle, Sicherheit | Summe Bau netto | Summe Bau brutto |
|  | €          | €        | 20%               | €               | €                |
| 20.000                                 | 140.000    | 30.000   | 33.440            | 203.440         | 242.094          |
| 50.000                                 | 330.000    | 60.000   | 77.180            | 467.180         | 555.944          |
| 100.000                                | 610.000    | 90.000   | 140.440           | 840.440         | 1.000.124        |
| 200.000                                | 1.060.000  | 130.000  | 238.400           | 1.428.400       | 1.699.796        |

## II. Kontinuierliche Sandfiltration:

Filtrationseinheiten mit Druckluftheber, Sandwäscher, Verteilereinrichtungen, Druckluftanlage inkl. Steuerschrank, Steuerung, Bedienbrückenkonstruktion, Einbau, Inbetriebnahme, Flockungsreaktor, Bautechnik, E-MSR-Technik, Halle, Filtrationspumpwerk  $\Delta H = 1$  m:

angesetzte Filtergeschwindigkeiten:

- bei  $Q_{T,h}$ :  $v_F = \text{ca. } 3 - 4$  m/h
- bei  $Q_{T,h}$ :  $v_F = \text{ca. } 10$  m/h

Tabelle 5.2-4: Investitionen von kontinuierlichen Sandfiltrationsanlagen, Maschinen- und E-MSR-Technik (Richtpreise)

| <b>Kont. Sandfiltration Investition Maschinen- und E-MSR-Technik</b> |                   |                 |                                 |                        |                           |
|--|-------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>Grösse (EW)</b>   | <b>Filtration</b> | <b>Pumpwerk</b> | <b>Nebenanlagen, Sicherheit</b> | <b>Summe M+E netto</b> | <b>Summe M+E (brutto)</b> |
|  | €                 | €               | 20%                             | €                      | €                         |
| 20.000   | 380.000           | 80.000          | 92.000                          | 552.000                | 656.880                   |
| 50.000   | 1.160.000         | 160.000         | 264.000                         | 1.584.000              | 1.884.960                 |
| 100.000  | 2.260.000         | 240.000         | 500.000                         | 3.000.000              | 3.570.000                 |
| 200.000  | 4.390.000         | 360.000         | 950.000                         | 5.700.000              | 6.783.000                 |

Tabelle 5.2-5: Investitionen von kontinuierlichen Sandfiltrationsanlagen, Bautechnik (Richtpreise)

| <b>Kont. Sandfiltration, Investition Bautechnik</b> |                   |                 |                         |                        |                           |
|---|-------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>Grösse (EW)</b>                                  | <b>Filtration</b> | <b>Pumpwerk</b> | <b>Halle Sicherheit</b> | <b>Summe Bau netto</b> | <b>Summe Bau (brutto)</b> |
|   | €                 | €               | 20%                     | €                      | €                         |
| 20.000  | 294.000           | 30.000          | 64.800                  | 388.800                | 462.672                   |
| 50.000  | 660.000           | 60.000          | 144.000                 | 864.000                | 1.028.160                 |
| 100.000   | 1.200.000         | 90.000          | 258.000                 | 1.548.000              | 1.842.120                 |
| 200.000   | 2.160.000         | 130.000         | 458.000                 | 2.748.000              | 3.270.120                 |

Abfragen nach Richtpreisen von kontinuierlich betriebenen Sandfiltrationsanlagen haben erhebliche Preisunterschiede zwischen den Anbietern ergeben. In die Kostenermittlungen sind daher Mittelwerte dieser Richtpreisangebote eingeflossen. Die Richtpreisabfragen bei verschiedenen Herstellern haben zudem deutliche Unterschiede bei den zu erwartenden Investitionen zwischen Tuchfilteranlagen und kontinuierlich betriebenen Sandfilteranlagen ergeben.

Weiterhin weisen kontinuierliche Sandfiltrationsanlagen einen höheren Energiebedarf auf als Tuchfilteranlagen. Eine erste Wirtschaftlichkeitsgegenüberstellung beider Filtrationsverfahren ist im Kap. 5.6 enthalten.

### 5.3 Ermittlung der zu verrechnenden Abwasserabgabe

Gemäß § 10 Abs. 3 Abwasserabgabengesetz, können Aufwendungen für die Errichtung von Anlagen verrechnet werden (vgl. Kap. 2.4 der Arbeitshilfe 2011).

Verrechnungsfähig sind bauliche, verfahrenstechnische oder sonstigen Maßnahmen (Planung, Genehmigung und Ausführung). Dazu zählt auch die Auswechslung vorhandener Anlagen bzw. Anlagenteilen, wenn die neuen Anlagen im Vergleich zu den bisherigen Anlagen eine zusätzliche Reinigungsleistung in dem geforderten Umfang bringen.

Auch Investitionen in Anlagen, die z. B. temperaturbedingt nicht das ganze Jahr betrieben werden können, sind grundsätzlich verrechnungsfähig. Allerdings gilt auch hier die Anforderung, dass bezogen auf die Jahresschadstofffracht die erforderliche Schadstofffrachtverminderung um mindestens 20 vom Hundert gewährleistet sein muss.

Die mögliche Verrechnung kann im Rahmen der Arbeitshilfe nur allgemein beschrieben und abgeschätzt werden und muss in jedem Einzelfall detailliert berechnet werden. Folgende Daten sind für die Berechnung der Abwasserabgabe herangezogen worden:

- Die Abwassermenge in der Tabelle 5.3-1 setzt sich zusammen aus dem häuslichem Schmutzwasser und einem mittleren Fremdwasseranteil von 50 % bezogen auf das häusliche Schmutzwasser (entspricht 33,3 % Fremdwasser, bezogen auf die Jahresschmutzwassermenge). Eine gewerbliche Abwassermenge wird hier nicht berücksichtigt.
- Die für die Berechnung der Schadstofffrachten angenommenen Konzentrationen sind aus der nachfolgenden Tabelle 5.3-1 zu entnehmen. Für die P-Ablaufkonzentrationen werden bei den Größenklassen 4 und 5 die Mindestanforderungen gemäß Anhang 1 der AbwV angenommen.
- Bei der Ermittlung der Abwasserabgabe wird der halbierte Satz pro Schadeinheit (17,90 €) angenommen.

Die Abschätzung der zu verrechnenden Abwasserabgabe eines Zeitraumes von 3 Jahren ist in der nachfolgenden Tabelle 5.3-1 zusammengestellt. Diese Darstellung soll lediglich das möglicherweise vorhandene "Potential" zur Verrechnung verdeutlichen. Im konkreten Fall können die Werte davon deutlich abweichen.

Tabelle 5.3-1: Abschätzung der möglicherweise zu verrechnenden Abwasserabgabe

|   | Kläranlage, siehe Tabelle 5.1-1 |                           |                             |                             |                              |
|---|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|   | Typ 1                           | Typ 2                     | Typ 3                       | Typ 4                       | Typ 5                        |
|   | 500 EW                          | 4.000 EW                  | 20.000 EW                   | 50.000 EW                   | 200.000 EW                   |
| $q_s$   | 100 l/(E*d)                     | 120 l/(E*d)               | 140 l/(E*d)                 | 170 l/(E*d)                 | 200 l/(E*d)                  |
| $q_f$   | 50%                             | 50%                       | 50%                         | 50%                         | 50%                          |
| $Q_{T,d}$   | 75 m <sup>3</sup> /d            | 720 m <sup>3</sup> /d     | 4.200 m <sup>3</sup> /d     | 12.750 m <sup>3</sup> /d    | 60.000 m <sup>3</sup> /d     |
| $w_s$   | 8                               | 10                        | 12                          | 12                          | 14                           |
| $Q_{T,h}$   | 7,3 m <sup>3</sup> /h           | 58 m <sup>3</sup> /h      | 292 m <sup>3</sup> /h       | 885 m <sup>3</sup> /h       | 3.690 m <sup>3</sup> /h      |
| $Q_{M,h}$ (= 3* $Q_s$ + $Q_f$ )   | 19,8 m <sup>3</sup> /h          | 154 m <sup>3</sup> /h     | 758 m <sup>3</sup> /h       | 2.302 m <sup>3</sup> /h     | 9.405 m <sup>3</sup> /h      |
| $Q_{T,a}$   | 27.375 m <sup>3</sup> /a        | 262.800 m <sup>3</sup> /a | 1.533.000 m <sup>3</sup> /a | 4.653.750 m <sup>3</sup> /a | 21.900.000 m <sup>3</sup> /a |
| <b>Ablaufwerte / Schadeinheiten vor Durchführung einer Maßnahme</b>               |                                 |                           |                             |                             |                              |
| <b>CSB</b>  | 70 mg/l                         | 60 mg/l                   | 50 mg/l                     | 40 mg/l                     | 40 mg/l                      |
|   | 1.916 kg/a                      | 15.768 kg/a               | 76.650 kg/a                 | 186.150 kg/a                | 876.000 kg/a                 |
| 1 SE = 50 kg  | 38 SE                           | 315 SE                    | 1.533 SE                    | 3.723 SE                    | 17.520 SE                    |
| <b>P</b>  | 7 mg/l                          | 5 mg/l                    | 2 mg/l                      | 2 mg/l                      | 1 mg/l                       |
|   | 192 kg/a                        | 1.314 kg/a                | 3.066 kg/a                  | 9.308 kg/a                  | 21.900 kg/a                  |
| 1 SE = 3 kg   | 64 SE                           | 438 SE                    | 1.022 SE                    | 3.103 SE                    | 7.300 SE                     |
| <b>N</b>  | 30 mg/l                         | 20 mg/l                   | 12 mg/l                     | 12 mg/l                     | 10 mg/l                      |
|   | 821 kg/a                        | 5.256 kg/a                | 18.396 kg/a                 | 55.845 kg/a                 | 219.000 kg/a                 |
| 1 SE = 25 kg  | 33 SE                           | 210 SE                    | 736 SE                      | 2.234 SE                    | 8.760 SE                     |
| <b>Summe SE</b>   | 135 SE                          | 964 SE                    | 3.291 SE                    | 9.059 SE                    | 33.580 SE                    |
| <b>Ermittlung der zu zahlenden Abwasserabgabe vor Durchführung einer Maßnahme</b> |                                 |                           |                             |                             |                              |
| <b>Abwasserabgabe pro Jahr (17,90 €/SE)</b>                                       | 2.417,40 €/a                    | 17.248,44 €/a             | 58.906,04 €/a               | 162.161,47 €/a              | 601.082,00 €/a               |
| <b>Abwasserabgabe in 3 Jahren, zur Verrechnung</b>                                | <b>7.252,19 €</b>               | <b>51.745,32 €</b>        | <b>176.718,11 €</b>         | <b>486.484,41 €</b>         | <b>1.803.246,00 €</b>        |



## **5.4 Betriebskosten**

### **5.4.1 Allgemeines**

Die Betriebskosten der Phosphor-Elimination ergeben sich aus der eingesetzten Technologie. Im Wesentlichen werden die Betriebskosten beeinflusst durch:

- bei der Fällung:
  - Fällmittelart (z.T. deutliche Unterschiede zwischen Eisensalzen (auch zwischen Eisen(II)- und Eisen(III)-Salzen, Aluminium-Salzen, Kombinationsprodukten),
  - eingesetzte Mess- und Regelungstechnik (siehe Anmerkungen oben),
  - Liefermenge (deutliche Unterschiede je nach Liefermenge (1 m<sup>3</sup> oder 20 m<sup>3</sup>),
  - Verwendungsort (Entfernung vom Lieferanten),
  - Dosierstelle (gemäß DWA-AG KA-8.2, 2006, liegt der Fällmittelverbrauch bei Dosierung in den Zulauf zur Biologie ca. 20 – 25 % höher als bei Dosierung in den Ablauf des Belebungsbeckens),
  - Effektivität der Einmischung (bei schlechter Einmischung kann es zu einem erhöhten Fällmittelbedarf kommen),
  - Einsatz der Biologischen P-Elimination auf der betrachteten Anlage (gemäß DWA-AG KA-8.2, 2006, vermindert die Anwendung des Bio-P-Verfahrens den Fällmittelverbrauch um ca. 50 bis 70 %),
  - Reparatur, Wartung, Unterhaltung der Anlagentechnik,
  - Chemikalien für die Analytik,
  - Elektrische Energie für die Dosierung sowie die E-MSR-Technik,
  - zusätzliche Kosten durch erhöhte Schlammengen (Schlammwässerung, Schlamm Entsorgung).
  
- bei der biologischer P-Elimination:
  - Reparatur, Wartung, Unterhaltung der Messtechnik,
  - Chemikalien für die Analytik,
  - Elektrische Energie für die Rückführung des belebten Schlammes in das Anaerob-Becken, die Umwälzung im Anaerobbecken sowie die E-MSR-Technik,
  - zusätzliche Kosten durch erhöhte Schlammengen (Schlammwässerung, Schlamm Entsorgung).

### **5.4.2 Betriebskosten der Chemischen P-Elimination durch Fällung**

Die Ermittlung der Betriebskosten für die Chemische P-Elimination wird anhand folgender Basisdaten vorgenommen:

- Fällmittelart: Eisen(III)chlorid-Lösung, 40 % Wirksubstanz: 13,8 % Fe entspr. 138 g Fe pro t Fällmittel-Lösung,
- Liefermenge: entsprechend der oben angegebenen Größen der Lagerbehälter,
- spezifische Fällmittelkosten inkl. Lieferung für Verwendungsort Mittelhessen,
- angesetzte  $\beta$ -Werte gemäß Tabelle 5.1-1,
- Dosierstelle (gemäß DWA-AG KA-8.2, 2006, liegt der Fällmittelverbrauch bei Dosierung in den Zulauf zur Biologie ca. 20 – 25 % höher als bei Dosierung in den Ablauf des Belebungsbeckens),
- Effektivität der Einmischung:  
bei den Anlagen  $\leq 10.000$  EW wird eine ungünstige Einmischung angenommen, bei den größeren Anlagen eine optimale Einmischung,
- Einsatz der Biologischen P-Elimination:  
bei den Anlagentypen, bei denen Bio-P betrachtet wird, wird eine Verminderung des Fällmittelverbrauchs um 50 % angenommen,
- Reparatur, Wartung, Unterhaltung der Bautechnik: 1 % / a der Investitionen,
- Reparatur, Wartung, Unterhaltung der Maschinen- und E-MSR-Technik: 3 % / a der Investitionen,
- Elektrische Energie für die Dosierung sowie die E-MSR-Technik,
- zusätzliche Kosten durch erhöhte Schlammengen (Schlammwässerung, Schlamm Entsorgung).

### 5.4.3 Betriebskosten der Biologischen P-Elimination

Die Betriebskosten für die biologische P-Elimination sind gering, zumal in den meisten Fällen das Hauptstromverfahren oder ein abgewandeltes Verfahren zum Einsatz kommt. In diesem Fall wird der Rücklaufschlamm, der ohnehin von der Nachklärung in das Belebungsbecken zurückgeführt wird, in ein vorgeschaltetes Anaerobbecken gefördert. Der energetische Mehraufwand ist vernachlässigbar, da lediglich eine geringfügig größere Förderhöhe realisiert werden muss.

Die Betriebskosten der Analytik ist abhängig von der Analysenhäufigkeit und kann mit 300 bis 500 €/a (bei einer Messstelle) abgeschätzt werden.

Kosten für Reparatur, Wartung, Unterhaltung der Messtechnik können mit pauschal 3 % der Investition pro Jahr (3 %/a) angenommen werden.

### 5.4.4 Betriebskosten der Filtration

Die Betriebskosten der Filtrationsanlagen setzen sich im Wesentlichen aus folgenden Anteilen zusammen:

- Personalkosten, Aufwand für den routinemäßigen Betrieb der Anlagen (Rohrleitungen, Armaturen, Pumpen, Gebläse etc.)
- Reparatur, Wartung, Unterhalt, (inkl. Verschleiß- und Ersatzteile), inkl. Fremdwartung,
- Energiekosten für den Betrieb der Filtration
- Energiekosten für evtl. zusätzlich erforderliches Pumpwerk; es wird von einer zusätzlichen Förderhöhe von ca. 1 ausgegangen, die energetisch berücksichtigt wird:

$$E = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{\eta_{ges} \cdot 1000} = \frac{Q \cdot h \cdot 2,7}{\eta_{Pumpe} \cdot \eta_{Motor} \cdot 1000}$$

mit:

Q = Abwassermenge [m<sup>3</sup>/a]

h = Gesamt-Förderhöhe (h<sub>geod</sub> + h<sub>v</sub>) (Ansatz: 1 m)

η<sub>ges</sub> = 0,7

Die Angaben wurden den Richtpreisangeboten verschiedener Anbieter entnommen.

## 5.5 Reduzierung der Betriebskosten durch Verringerung der zu zahlenden Abwasserabgabe

Durch Investitionen in eine bessere Phosphorelimination kann der Einleiter auch in der Zukunft Abwasserabgaben einsparen. Denn er ist anschließend in der Lage, einen niedrigeren Überwachungswert für Phosphor einzuhalten. In diesem Zusammenhang wird auf Kap. 2.3 der Arbeitshilfe 2011 verwiesen.

## 5.6 Modellrechnungen

Für die in der Tabelle 5.1-1 zusammengestellten zu betrachtenden Anlagenkonfigurationen wurden folgende Kosten abgeschätzt bzw. berechnet:

- Abwasserabgabe:
  - 3,0 kg P / Schadeinheit
  - 17,90 € / Schadeinheit (halbierter Satz)
- Investitionen von Fällmitteldosierstationen und Fällmittellagerbehältern (Ansätze siehe oben).
- Investitionen für Anaerob-Becken (Bio-P-Becken) wurden nur bei der Anlagengröße 50.000 EW (Nr. 4.3) berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass bei Anlagen mit 100.000 EW ohnehin ein Anaerob-Becken für Bio-P vorhanden ist und bei Anlagen mit 20.000 EW und kleiner die biologische P-Elimination über eine

- Umstellung in der Steuerung (Einführung einer Anaerob-Phase im Prozess) realisiert wird.
- Investitionen für eine Flockungsfiltration bei der Anlagenkonfiguration 5.3 als Tuchfiltration (Ansätze siehe oben)
  - Kapitalkosten entsprechend oben angegebenen Zinssätzen und Abschreibungszeiträumen
  - Planungshonorar wird mit pauschal 10 % angesetzt, dies ist im Einzelfall gemäß HOAI zu kalkulieren.
  - Betriebskosten für Reparatur, Wartung, Unterhalt entsprechend den o.a. Ansätzen (1 % / a für Bautechnik, 3 % / a für Maschinen- und E-MSR-Technik)
  - $\beta$ -Werte wurden anhand von Erfahrungen sowie Betriebsergebnissen abgeschätzt; hier bestehen erhebliche Unsicherheiten
  - Fällmittelverbräuche sowie anfallende und zu entsorgende Schlammengen: errechnet mit Hilfe des EXCEL-Programms aus dem Thüringer „Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranlagen“ (TMLNU, 2009).
  - spezifische Kosten für Fällmittel:  
für die Modellrechnungen werden Kosten für Eisen(III)chlorid-Lösung 40 % inkl. Lieferung in den mittelhessischen Raum verwendet; da die Lieferkosten einen großen Teil der Kosten ausmachen, können diese für andere Regionen differieren:
    - bei der Anlage mit 500 EW (inkl. 1 m<sup>3</sup>-Wechselbehälter IBC) 475,-- €/t
    - bei Lieferung von 10 m<sup>3</sup> 300,-- €/t
    - bei Lieferung von 25 m<sup>3</sup> 210,-- €/t
  - Betriebskosten für Schlamm Entsorgung:
    - Annahme: Entwässerung auf 25 % TS
    - Entsorgungskosten pro t entwässerter Schlamm: 60,-- €/t
  - Betriebskosten für elektrische Energie: 0,24 €/kWh
    - für Dosierstationen: je nach Größe und Dosiermenge: 20 – 750 kWh / a
    - für Anaerobbecken: je nach Größe: 2 bis 5 kW install. Leistung à 8.760 h/a
    - für Flockungsfiltration: gemäß Angaben der Hersteller

Die Kostenbetrachtungen sind anliegenden Excel-Berechnungen (Anlage 1) zu entnehmen. In diesen Kostenbetrachtungen sind Investitionen, Betriebskosten und Abwasserabgabe berücksichtigt und daraus Jahreskosten ermittelt. Aus diesen Tabellen können auch die nachfolgend aufgeführten Einzelergebnisse sowie deren Herleitung entnommen werden, die in der Tabelle 5.6-1 zusammengefasst sind. Bei allen Kosten handelt es sich um Bruttokosten inklusive der gesetzlichen MwSt. von 19 %.

Um eine Vergleichbarkeit zu erzielen, wurden in der Tabelle 5.6-1 die sich aus den Jahreskosten ergebenden spezifischen Kosten in (€ / (EW\*a)) angegeben.

Folgende Anlagen bzw. Anlagenkonfigurationen wurden betrachtet (siehe auch Tabelle 5.1-1):

## 1. Anlagentyp 1:

### **Teichanlagen der Größenklasse 1, ggf. kombiniert mit Tauchtropfkörperanlage, Beispiel 500 EW**

Dieser Anlagentyp symbolisiert kleine Teichanlagen, die in der Regel in Größen von einigen 100 EW bis ca. 1.000 EW realisiert sind und häufig mit Tauchtropfkörperanlagen kombiniert sind. Diese Anlagen sind in der Regel nicht mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet und leiten häufig in sehr schwache Vorfluter ein. Sofern diese Anlagen zur Größenklasse 1 gehören, werden zukünftig nur in Einzelfällen Anforderungen an die  $P_{\text{ges}}$ -Ablaufqualität gestellt.

Hier werden miteinander verglichen:

1.1: Teichanlage, ggf. mit Tauchtropfkörperanlage ohne P-Elimination (als Referenzwert):

- $P_{\text{ges}}$ -Ablaufwerte liegen häufig zwischen ca. 5 und 8 mg/l (ohne Fällung, (angesetzt sind hier 7 mg/l), siehe auch Tabelle 5.1-1,
- die Abwasserabgabe ist dementsprechend spezifisch hoch.

1.2: Teichanlage, ggf. mit Tauchtropfkörperanlage mit P-Elimination durch einfache kontinuierliche Fällmitteldosierung:

- $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert angesetzt mit 2 mg/l,
- aufgrund in der Regel nicht optimalen Dosier- und Einmisch-Gegebenheiten wird mit einem  $\beta$ -Wert von 1,8 gerechnet,
- die Abwasserabgabe ist reduziert.

## 2. Anlagentyp 2:

### **Kleine Belebungsanlagen der Größenklassen 2 und 3 mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und simultaner Nitrifikation / Denitrifikation; in Bezug auf die P-Elimination vergleichbar mit SBR-Anlage oder Biocos<sup>®</sup>-Anlage, Beispiel 4.000 EW**

Dieser Anlagentyp symbolisiert kleine technische Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, die häufig in Größen von ca. 1.000 EW bis ca. 10.000 EW realisiert; in Bezug auf die Phosphorelimination und die eingesetzten Verfahrenstechniken sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen klassischen Belebungsanlagen und SBR-Anlagen vorhanden; häufig sind einfache Fällmitteldosierungen installiert (häufig kontinuierliche ungesteuerte Dosierungen oder mengenproportionale Dosierungen); Bio-P-Anlagen sind selten. Diese Anlagen leiten häufig in schwache bis sehr schwache Vorfluter ein.

Bei Anlagen der Größenklassen 2 und 3 wird zukünftig ein Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 2 \text{ mg/l}$  in der 2h-MP einzuhalten sein, was in etwa einem  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert (Jahres-Mittelwert) von 1 – 1,5 mg/l entsprechen dürfte. Hier werden miteinander verglichen:

2.1: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, ohne P-Elimination (als Referenzanlage):

- diese Konfiguration wird zum Vergleich der nachfolgenden Kombinationen mit P-Elimination betrachtet.
- es wird von einem  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 7 mg/l ausgegangen, der ohne Fällung realisiert wird; die Abwasserabgabe wird für diesen Wert errechnet

2.2: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, kontinuierliche Fällmitteldosierung ohne Steuerung:

- um sicher den geforderten Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 2 \text{ mg/l}$  einhalten zu können, wird bei kontinuierlicher einfacher Fällmitteldosierung voraussichtlich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 1 mg/l erreicht werden. Hierfür muss überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 2,2 wird angesetzt.

2.3: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik:

- aufgrund aufwendigerer Mess- und Dosiertechnik wird ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 1,5 mg/l, sowie ein  $\beta$ -Wert von 1,5 angesetzt,

### 3. Anlagentyp 3

**Belebungsanlage der Größenklasse 4 mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und simultaner Nitrifikation / Denitrifikation; in Bezug auf die P-Elimination vergleichbar mit SBR-Anlage oder Biocos<sup>®</sup>-Anlage, Beispiel 20.000 EW**

Dieser Anlagentyp symbolisiert technische Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, die häufig in Größen von ca. 10.000 EW bis ca. 50.000 EW realisiert sind; in Bezug auf die Phosphorelimination und die eingesetzten Verfahrenstechniken sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen klassischen Belebungsanlagen und SBR-Anlagen vorhanden.

Diese Anlagen sind aufgrund des Anhanges 1 der AbwV. bereits mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet; ein Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 2 \text{ mg/l}$  (in Einzelfällen  $< 2 \text{ mg/l}$ ) muss bereits jetzt aufgrund des Erlaubnisbescheids eingehalten werden oder wird aufgrund einer niedrigeren Erklärung unterschritten. In der

Regel sind Fällungsanlagen installiert, die häufig frachtabhängig gesteuert werden.

Eine weitergehende biologische P-Elimination (Bio-P-Anlage) ist allerdings auch in dieser Größenklasse selten.

Bei Anlagen der Größenklasse 4 wird zukünftig ein Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,5 \text{ mg/l}$  und ortho-P =  $0,2 \text{ mg/l}$ , allerdings in der 24h-MP einzuhalten sein. Dies dürfte in etwa einem  $P_{ges}$ -Betriebsmittelwert (Jahres-Mittelwert) von  $0,4 \text{ mg/l}$  entsprechen. Hier werden miteinander verglichen:

3.1: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit zulaufproportionaler Dosierung (Betriebsmittelwert von  $1,5 \text{ mg/l}$ ) (als Referenzwert):

- Diese Konfiguration wird zum Vergleich der nachfolgenden Kombinationen betrachtet.
- Um einen  $P_{ges}$ -Überwachungswert von  $< 2 \text{ mg/l}$  (angesetzter Betriebsmittelwert  $1,5 \text{ mg/l}$ ) mit einer zulaufproportionalen Dosierung erreichen zu können, wird ein  $\beta$ -Wert von  $1,5$  angesetzt.

3.2: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit frachtabhängiger Dosierung und entsprechender Messtechnik:

- Um einen  $P_{ges}$ -Überwachungswert von  $< 0,5 \text{ mg/l}$  in der 24h-MP (angesetzter Betriebsmittelwert  $0,4 \text{ mg/l}$ ) mit frachtabhängiger Dosierung erreichen zu können, muss deutlich überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von  $2,2$  wird angesetzt.

3.3: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik, Biologische P-Elimination durch entsprechende Programmierung einer Anaerob-Phase

- Ein  $P_{ges}$ -Betriebsmittelwert von  $0,4 \text{ mg/l}$  wird mit einer Kombination aus biologischer P-Elimination und Simultanfällung erreicht.
- Aufgrund weitgehender biologischer P-Elimination und optimierter Dosier- und Einmisch-Technik wird mit einem  $\beta$ -Wert von  $2,2$  gerechnet.

#### 4. Anlagentyp 4

##### **Belebungsanlage der Größenklasse 4 mit Vorklärung und Faulung und simultaner Nitrifikation / Denitrifikation, Beispiel 50.000 EW**

Der Anlagentyp symbolisiert technische Belebungsanlagen, die häufig in Größen von mehr als ca. 30.000 EW realisiert sind und mit Vorklärung und Faulung ausgerüstet sind.

Diese Anlagen sind aufgrund des Anhanges 1 der AbwV. bereits mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet; ein  $P_{\text{ges}}$ -Überwachungswert von 2 mg/l (in Einzelfällen < 2 mg/l) muss bereits jetzt aufgrund des Erlaubnisbescheids eingehalten werden oder wird aufgrund einer niedrigeren Erklärung unterschritten. In der Regel sind Fällungsanlagen installiert, die häufig frachtabhängig gesteuert werden.

Bei Anlagen der Größenklasse 4 wird zukünftig ein Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 0,5$  mg/l und ortho-P = 0,2 mg/l, allerdings in der 24h-MP einzuhalten sein. Dies dürfte in etwa einem  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert (Jahres-Mittelwert) von 0,4 mg/l entsprechen.

In Einzelfällen wird zukünftig für Anlagen der Größenklasse 4 ein Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 0,2$  mg/l, allerdings in der 24h-MP einzuhalten sein.

Hier werden miteinander verglichen:

4.1: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit frachtabhängiger Dosierung und Betriebsmittelwert von 1,5 mg/l (als Referenzwert):

- diese Konfiguration wird zum Vergleich der nachfolgenden Kombinationen betrachtet.
- um einen  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert  $P_{\text{ges}} = 1,5$  mg/l mit einer zulaufproportionalen Dosierung erreichen zu können, ein  $\beta$ -Wert von 1,5 wird angesetzt

4.2: Belebungsanlage, Simultanfällung ohne biologische P-Elimination, mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik:

- um einen  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 0,4 mg/l erreichen zu können, muss überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 2,2 wird angesetzt

4.3: Belebungsanlage, Neubau eines Anaerob-Beckens zur weitergehenden Biologischen P-Elimination, Ergänzung der P-Elimination durch Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik,

- aufgrund weitgehender biologischer P-Elimination und optimierter Dosier- und Einmisch-Technik wird zum Erreichen eines  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwertes von 0,4 mg/l für die Fällmitteldosierung mit einem  $\beta$ -Wert von 2,2 gerechnet,

4.4: Belebungsanlage, Einsatz der 2-Punkt-Fällung mit

- Vorfällung und Dosierung des Fällmittels vor dem Vorklärbecken,
- Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik,



- bei der Vorfällung wird von einem Wirkungsgrad von ca. 50 % in der Vorklärung ausgegangen (Konzentration im Zulauf zur Vorklärung: ca. 8 mg P/l, Konzentration im Ablauf der Vorklärung 4 mg/l); hier wird ein  $\beta$ -Wert von 1,0 angesetzt,
- für die Simultanfällung in der Belebungsanlage wird zum Einhalten des angestrebten  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwertes von 0,4 mg/l ein  $\beta$ -Wert von 2,2 angesetzt.

#### 4.5: Belebungsanlage mit nachgeschalteter Filtration, Einsatz der 2-Punkt-Fällung mit

- Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik,
- Nachfällung und nachgeschaltete Flockungsfiltration über Tuchfilter
- aufgrund der nachgeschalteten Flockungsfiltration wird für den Ablauf der Belebungsanlage lediglich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 1,5 mg/l angesetzt; hierfür ist ein  $\beta$ -Wert von 1,2 ausreichend, der Fällmittelbedarf in der Belebung ist vergleichsweise gering; häufig lässt sich der hier angestrebte Ablaufwert nach der Nachklärung allein durch biologische P-Elimination erreichen;
- durch die nachgeschaltete Flockungsfiltration (Tuchfilteranlage) lässt sich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 0,15 mg/l einhalten; hierfür ist dann allerdings eine überstöchiometrische Dosierung erforderlich, angesetzt wird hier ein  $\beta$ -Wert von 3,0.

## 5. Anlagentyp 5

### Belebungsanlage mit Vorklärung und Faulung, Beispiel 200.000 EW

Dieser Anlagentyp symbolisiert technische Belebungsanlagen, die häufig in Größen von mehr als ca. 100.000 EW realisiert sind.

Diese Anlagen sind bereits mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet; ein Überwachungswert  $< 1$  mg/l muss bereits jetzt aufgrund des Erlaubnisbescheids (Anhang 1 der AbwV) eingehalten werden. Dies entspricht einem Betriebsmittelwert von ca. 0,5 mg P /l. In der Regel sind Fällungsanlagen installiert, die häufig frachtabhängig gesteuert werden.

Eine weitergehende biologische P-Elimination (Bio-P-Anlage) ist in dieser Größenklasse fast immer realisiert.

Bei Anlagen der Größenklasse 5 wird zukünftig ein Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 0,2$  mg/l, allerdings in der 24h-MP einzuhalten sein. Dies dürfte in etwa einem  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert (Jahres-Mittelwert) von 0,15 mg/l entsprechen. Dieser Überwachungswert wird in der Regel nur über eine nachgeschaltete (Flockungsfiltration) Filtration zu erreichen sein.

Es werden hier folgende Varianten miteinander verglichen:

- 5.1: Belebungsanlage, biologische P-Elimination, Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik; Referenzbetrachtung  $P_{\text{ges}} = 0,5 \text{ mg/l}$ ; ein  $\beta$ -Wert von 2,0 wird angesetzt
- 5.2: Belebungsanlage, biologische P-Elimination, Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik, nachgeschaltete Flockungsfiltration über Tuchfilter:
  - aufgrund der nachgeschalteten Flockungsfiltration wird für den Ablauf der Belebungsanlage lediglich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 1,5 mg/l angesetzt; hierfür ist ein  $\beta$ -Wert von 1,2 ausreichend, der Fällmittelbedarf in der Belebung ist vergleichsweise gering; häufig lässt sich der hier angestrebte Ablaufwert nach der Nachklärung allein durch biologische P-Elimination erreichen;
  - durch die nachgeschaltete Flockungsfiltration (Tuchfilteranlage) lässt sich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 0,15 mg/l einhalten; hierfür ist dann allerdings eine überstöchiometrische Dosierung erforderlich, angesetzt wird hier ein  $\beta$ -Wert von 3,0.

Tabelle 5.6-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellrechnungen (Teil 1)

| Nr.      | Anlagentyp, Größe   | Eingesetzte Technologie zur P-Elimination  | Überwachungswert oder erklärt                 | Betriebs-Mittelwert Pges | β-Wert (angen.) | Fällmittelmenge (FeCl <sub>3</sub> -40%) | Schlamm-menge aus P-Elimination | P-Fracht in Gewässer | Jahreskosten | Spez. Kosten           |                |
|----------|---|--|---|--------------------------|-----------------|--|---------------------------------|----------------------|--------------|------------------------|----------------|
| <b>1</b> | <b>Varianten für sehr kleine Anlagen der GK 1 (ca. 100 bis 1.000 EW), Teichanlagen, z.T. mit TTK., keine vorh. Fällung, Beispiel 500 EW</b> |  |   |                          |                 |  |                                 |                      |              |                        |                |
| 1.1      | Teich / TTK, 500 EW   | <b>Bestand:</b> Keine P-Elimination  | 10,0 mg/l                                     | 7,0 mg/l                 | -               | 0,0 t/a                                  | 0,7 t/a                         | 192 kg/a             | 1.672 €/a    | 0,092 €/m <sup>3</sup> | 3,34 €/(EW*a)  |
| 1.2      | Teich / TTK, 500 EW   | Kont. Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub>   | 4,0 mg/l                                      | 2,0 mg/l                 | 1,8             | 2,6 t/a                                  | 4,2 t/a                         | 55 kg/a              | 5.025 €/a    | 0,275 €/m <sup>3</sup> | 10,05 €/(EW*a) |
| <b>2</b> | <b>Varianten für kleine Anlagen der GK 2 und 3 (ca. 1.000 bis 10.000 EW), simult. aerobe Schlammstab., Beispiel 4.000 EW</b>                |  |   |                          |                 |  |                                 |                      |              |                        |                |
| 2.1      | Belebung, 4.000 EW  | <b>Bestand:</b> Keine P-Elimination  | 10,0 mg/l                                     | 7,0 mg/l                 | -               | 0,0 t/a                                  | 5,3 t/a                         | 1840 kg/a            | 15.991 €/a   | 0,091 €/m <sup>3</sup> | 4,00 €/(EW*a)  |
| 2.2      | Belebung, 4.000 EW  | Dosierung kontinuierlich, FeCl <sub>3</sub> ,<br>Simultan-Fällung                              | 2,0 mg/l<br>Pges<br>in 2h-MP                  | 1,0 mg/l                 | 2,2             | 30,2 t/a                                 | 46,9 t/a                        | 263 kg/a             | 20.369 €/a   | 0,116 €/m <sup>3</sup> | 5,09 €/(EW*a)  |
| 2.3      | Belebung, 4.000 EW  | Dosierung frachtabhängig FeCl <sub>3</sub> ,<br>Simultan-Fällung                               | 2,0 mg/l<br>Pges<br>in 2h-MP                  | 1,5 mg/l                 | 1,5             | 18,0 t/a                                 | 30,1 t/a                        | 394 kg/a             | 19.744 €/a   | 0,113 €/m <sup>3</sup> | 4,94 €/(EW*a)  |
| <b>3</b> | <b>Varianten für mittlere Anlagen der GK 4 (ca. 10.000 bis 40.000 EW), simultane aerobe Schlammstab., vorh. Fällung, Beispiel 20.000 EW</b> |  |   |                          |                 |  |                                 |                      |              |                        |                |
| 3.1      | Belebung, 20.000 EW   | <b>Bestand:</b> frachtabhängige<br>Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> ,<br>Simultan-Fällung | 2,0 mg/l<br>Pges<br>in 2h-MP                  | 1,5 mg/l                 | 1,5             | 83,6 t/a                                 | 141,6 t/a                       | 2300 kg/a            | 47.994 €/a   | 0,047 €/m <sup>3</sup> | 2,40 €/(EW*a)  |
| 3.2      | Belebung, 20.000 EW   | frachtabhängige<br>Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> ,<br>Simultan-Fällung                 | 0,5 mg/l<br>Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP | 0,4 mg/l                 | 2,2             | 170,9 t/a                                | 262,2 t/a                       | 613 kg/a             | 62.740 €/a   | 0,061 €/m <sup>3</sup> | 3,14 €/(EW*a)  |
| 3.3      | Belebung, 20.000 EW   | Bio-P, frachtabhängige<br>Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> ,<br>Simultan-Fällung          | 0,5 mg/l<br>Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP | 0,4 mg/l                 | 2,2             | 45,2 t/a                                 | 141,3 t/a                       | 613 kg/a             | 37.810 €/a   | 0,037 €/m <sup>3</sup> | 1,89 €/(EW*a)  |

Tabelle 5.6-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellrechnungen (Teil 2)

| Nr.      | Anlagentyp, Größe   | Eingesetzte Technologie zur P-Elimination   | Überwachungswert oder erklärt           | Betriebs-Mittelwert Pges        | β-Wert (angen.)            | Fällmittelmenge (FeCl <sub>3</sub> -40%) | Schlamm-menge aus P-Elimination | P-Fracht in Gewässer | Jahreskosten  | Spez. Kosten           |               |
|----------|---|---|---|---------------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|----------------------|---------------|------------------------|---------------|
| <b>4</b> | <b>Varianten für größere Anlagen der GK 4 (bis ca. 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorhandene Fällung, Beispiel 50.000 EW</b>      |   |   |                                 |                            |  |                                 |                      |               |                        |               |
| 4.1      | Belebung, 50.000 EW   | <b>Bestand:</b> frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> , Simultan-Fällung  | 2,0 mg/l Pges in 2h-MP                  | 1,5 mg/l                        | 1,5                        | 193,7 t/a                                | 316,6 t/a                       | 6981 kg/a            | 120.701 €/a   | 0,039 €/m <sup>3</sup> | 2,41 €/(EW*a) |
| 4.2      | Belebung, 50.000 EW   | frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> , Simultan-Fällung  | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l                        | 2,2                        | 431,0 t/a                                | 644,1 t/a                       | 1862 kg/a            | 148.566 €/a   | 0,048 €/m <sup>3</sup> | 2,97 €/(EW*a) |
| 4.3      | Belebung, 50.000 EW   | Bio-P, frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> , Simultan-Fällung   | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l                        | 2,2                        | 195,3 t/a                                | 417,4 t/a                       | 1862 kg/a            | 102.207 €/a   | 0,033 €/m <sup>3</sup> | 2,04 €/(EW*a) |
| 4.4      | Belebung, 50.000 EW   | frachtabhängige Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung  | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 4,0 mg/l (VK)<br>0,4 mg/l (NK)  | 1,0 (Vorf.)<br>2,2 (SimF.) | 265,3 t/a                                | 415,4 t/a                       | 1862 kg/a            | 105.638 €/a   | 0,034 €/m <sup>3</sup> | 2,11 €/(EW*a) |
| 4.5a     | Belebung, 50.000 EW, besondere Anforderung  | Bio-P vorhanden, frachtabhängige Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + Tuchfiltration)       | 0,2 mg/l Pges in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (VK)<br>0,15 mg/l (FF) | 1,2 (SimF.)<br>3,0 (FF)    | 272,3 t/a                                | 523,5 t/a                       | 698 kg/a             | 278.152 €/a   | 0,090 €/m <sup>3</sup> | 5,56 €/(EW*a) |
| 4.5b     | Belebung, 50.000 EW, besondere Anforderung  | Bio-P vorhanden, frachtabhängige Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + kont. Sandfiltration) | 0,2 mg/l Pges in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (VK)<br>0,15 mg/l (FF) | 1,2 (SimF.)<br>3,0 (FF)    | 272,3 t/a                                | 523,5 t/a                       | 698 kg/a             | 423.906 €/a   | 0,137 €/m <sup>3</sup> | 8,48 €/(EW*a) |
| <b>5</b> | <b>Varianten für sehr große Anlagen der GK 5 (größer 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorh. Fällung, Bio-P, Beispiel 200.000 EW</b> |   |   |                                 |                            |  |                                 |                      |               |                        |               |
| 5.1      | Belebung, 200.000 EW  | <b>Bestand:</b> Bio-P vorhanden, frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>  | 1,0 mg/l Pges in 2h-MP                  | 0,5 mg/l                        | 2,0                        | 618,9 t/a                                | 1445,4 t/a                      | 10950 kg/a           | 367.061 €/a   | 0,025 €/m <sup>3</sup> | 1,84 €/(EW*a) |
| 5.2a     | Belebung, 200.000 EW  | Bio-P vorhanden, frachtabhängige Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + Tuchfiltration)       | 0,2 mg/l Pges in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (VK)<br>0,15 mg/l (FF) | 1,2 (SimF.)<br>3,0 (FF)    | 928,4 t/a                                | 1872,5 t/a                      | 3285 kg/a            | 736.410 €/a   | 0,050 €/m <sup>3</sup> | 3,68 €/(EW*a) |
| 5.2b     | Belebung, 200.000 EW  | Bio-P vorhanden, frachtabhängige Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung (Simultan-Fällung + Tuchfiltration)       | 0,2 mg/l Pges in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (VK)<br>0,15 mg/l (FF) | 1,2 (SimF.)<br>3,0 (FF)    | 928,4 t/a                                | 1872,5 t/a                      | 3285 kg/a            | 1.404.066 €/a | 0,096 €/m <sup>3</sup> | 7,02 €/(EW*a) |

In der folgenden Tabelle 5.6-2 sind die Jahres-Mehrkosten sowie die spezifischen Mehrkosten für den Betreiber im Vergleich einzelner ausgewählter Ausbauvarianten mit der Bestandsvariante zusammengefasst dargestellt. Die Verrechnungsmöglichkeiten der Abwasserabgabe sind dabei berücksichtigt.

Tabelle 5.6-2: Mehr- oder Minderkosten ausgewählter Varianten im Vergleich zur Bestandsvariante

| Größe      | Bestand  |                                    |                          |              | Zukünftig |   |                                 |              | Vergleich Mehr- oder Minderkosten |                               |                |
|------------|----------|------------------------------------|--------------------------|--------------|-----------|---|---------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
|            | Variante | Überwachungswert oder erklärt Pges | Betriebs-Mittelwert Pges | Jahreskosten | Variante  | Überwachungswert Pges                   | Betriebs-Mittelwert Pges        | Jahreskosten | Jahres-Mehr- oder Minderkosten    | Spez. Mehr- oder Minderkosten |                |
| 4.000 EW   | 2.1      | 10,0 mg/l                          | 7,0 mg/l                 | 15.991 €/a   | 2.2       | 2,0 mg/l Pges in 2h-MP                  | 1,0 mg/l                        | 20.369 €/a   | 4.378 €/a                         | 0,025 €/m <sup>3</sup>        | 1,09 €/(EW*a)  |
| 20.000 EW  | 3.1      | 2,0 mg/l Pges in 2h-MP             | 1,5 mg/l                 | 47.994 €/a   | 3.3       | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l                        | 37.810 €/a   | -10.183 €/a                       | -0,010 €/m <sup>3</sup>       | -0,51 €/(EW*a) |
| 50.000 EW  | 4.1      | 2,0 mg/l Pges in 2h-MP             | 1,5 mg/l                 | 120.701 €/a  | 4.3       | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P in 24h-MP | 0,4 mg/l                        | 102.207 €/a  | -18.494 €/a                       | -0,006 €/m <sup>3</sup>       | -0,37 €/(EW*a) |
| 200.000 EW | 5.1      | 1,0 mg/l Pges in 2h-MP             | 0,5 mg/l                 | 367.061 €/a  | 5.2a      | 0,2 mg/l Pges in 24h-MP                 | 1,5 mg/l (VK)<br>0,15 mg/l (FF) | 736.410 €/a  | 369.349 €/a                       | 0,025 €/m <sup>3</sup>        | 1,85 €/(EW*a)  |

Es ist festzustellen, dass trotz deutlich erhöhter Ablauf-Anforderungen bei allen betrachteten Varianten die Auswirkungen auf die einwohnerspezifischen bzw. die mengenspezifischen Kosten eher gering sind. Bei den Varianten 2 (4.000 EW) und 5 (200.000 EW) werden die Mehrkosten im Bereich weniger ct/m<sup>3</sup> oder weniger €/(EW\*a) liegen. Bei den Varianten 3 (20.000 EW) und 4 (50.000 EW) ergeben sich insbesondere aufgrund der geringeren Abwasserabgabe und auch bedingt durch die Verrechnungsmöglichkeiten der Abwasserabgabe sogar geringfügig geringere Kosten als im Bestand.

## 5.7 Wertungen, Ergebnisse

Nachfolgend werden die in der Tabelle 5.6-1 zusammengefassten Berechnungsergebnisse nach folgenden Kriterien gewertet:

- Machbarkeit, technische Umsetzbarkeit
- Wirtschaftlichkeit, Kostenbetrachtungen
- spezifische Kosten (in € / kg P<sub>el</sub>), hier errechnet als Verhältnis von erforderlichen Kosten (in € / a) zu reduzierter P-Emission (in kg P<sub>el</sub> / a) in die Gewässer;

Eine weitergehende Kosten-Nutzen-Betrachtung in Hinblick auf den ökologischen Nutzen einer Reduzierung der P-Emissionen in die Gewässer erfolgt hier nicht.

### 5.7.1 Anlagentyp 1: Teichanlagen, ggf. kombiniert mit Tauchtröpfkörperanlagen, Beispiel 500 EW

Die Reinigungsprozesse in Abwasserteichen beruhen grundsätzlich auf den gleichen physikalischen Prozessen (Sedimentation von Abwasserinhaltsstoffen sowie v.a. abgestorbenen Organismen) und biologischen Umwandlungsprozessen wie in Belebungsanlagen und Tauchkörperanlagen. Beim Wachstum neuer Biomasse z.B. beim aeroben Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe wird also ebenfalls Phosphor (Phosphate) inkorporiert und damit zunächst aus dem Abwasser entfernt.

Für die Phosphor-Parameter spielt aber vor allem der Sauerstoffgehalt im Sedimentbereich eine wesentliche Rolle. Bei anaeroben Verhältnissen, die im Bodenschlamm häufig auftreten, kommt es zu Rücklösungen des inkorporierten sowie auch des sedimentierten Phosphors. Die wichtigste Voraussetzung für eine dauerhafte P-Festlegung im Schlamm ist, dass der Abwasserteich bis in den Bodenschlamm aerob ist. In Teichen mit teilweise anaeroben Verhältnissen im Bodenschlamm kann es damit zu P-Rücklösungen bis hin zu leichten Konzentrationserhöhungen im Ablauf der Anlage kommen.

Beim Einsatz von Fällungschemikalien ist zu beachten, dass der sich bildende anorganische Fällschlamm sich auf den biologisch aktiven Bodenschlamm legen kann und damit sowohl den Sauerstoffaustausch mit den aeroben Mikroorganismen im Bodenschlamm und zudem die Transportprozesse der Abwasserinhaltsstoffe mit den Mikroorganismen stören kann.

Barjenbruch et. al. (2004) berichten von Betriebsergebnissen aus behördlichen Überwachungen in Mecklenburg-Vorpommern von insgesamt 163 Teichanlagen aus dem Jahr 2003, aus denen hervorgeht, dass die P<sub>ges</sub>-Ablaufmittelwerte der natürlich belüfteten Teich-Anlagen etwas besser ausfallen als die der technisch belüfteten Anlagen (siehe Abbildung 5.7-1). Hinsichtlich der P-Elimination wird von den Abwasserteichen insgesamt nur ein geringer Wirkungsgrad erzielt (ca. 30 % bezogen auf den 85 %-Wert und einer Zulaufkonzentration von 10 bis 13 mg/l).

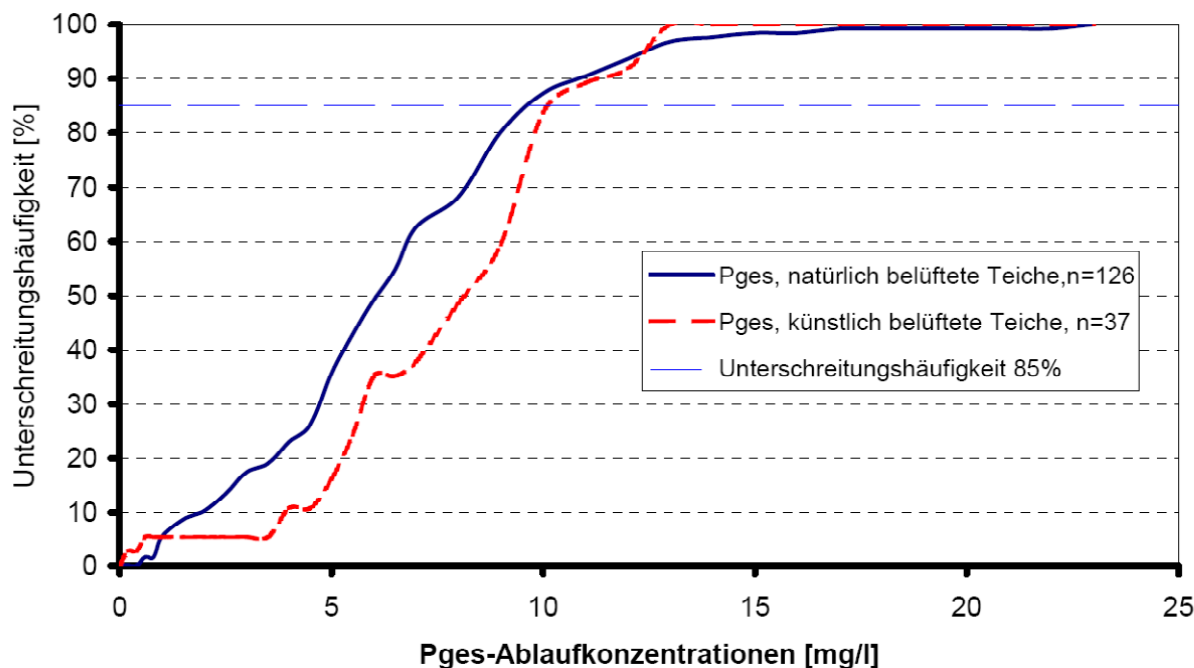


Abbildung 5.7-1: Unterschreitungshäufigkeit von  $P_{ges}$  der natürlich und technisch belüfteten Abwasserteichanlagen Mecklenburg-Vorpommern aus den Mittelwerten der behördlichen Überwachung, Stand 2003 (Barjenbruch et al., 2004)

### Einzusetzende Verfahrenstechnik:

Bei Abwasserteichen oder Kombinationen aus Teichanlagen und Tauchkörperanlagen ist die Dosierung von Fällmitteln die einzig Erfolg versprechende Möglichkeit, die P-Konzentration im Ablauf zu verringern. Folgende Aspekte sollten dabei beachtet werden:

- Als Fällmittel können ausschließlich 3-wertige Eisen- oder Aluminium-Salze eingesetzt werden, die nicht mehr oxidiert werden müssen; für die Oxidation von 2-wertigen Eisenverbindungen ist in Abwasserteichen häufig nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden.
- Aufgrund der geringen erforderlichen Fällmittelmengen ist der Einsatz von zugelassenen 1-m<sup>3</sup>-Wechselbehältern (mit Prüfzeichen) mit darunter installierter Auffangwanne angezeigt. Der spezifische Fällmittelpreis ist zwar deutlich höher als bei Abnahme einer ganzen Tankwagenladung (z.B. bei 40-%-iger FeCl<sub>3</sub>-Lösung ca. 475 €/t für einen 1 m<sup>3</sup> Wechselbehälter (IBC) gegenüber ca. 210 €/t bei einer Tankwagenladung von 25 m<sup>3</sup>), allerdings sind die erforderlichen Investitionen deutlich geringer. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass eine Lagerung des Fällmittels über einen Zeitraum von ca. 1 Jahr vermieden werden sollte und daher eine große zu lagernde Fällmittelmenge vermieden werden sollte.

- Die Dosierung muss in einem möglichst turbulenten Bereich erfolgen. Hier bieten sich die Zulaufbereiche der Anlagen, z.B. Pumpwerke, Gerinne hinter Rechenanlagen oder Überfälle an.
- Die Fällmitteldosierung kann entweder als Vorfällung erfolgen oder – wenn eine ausreichende Turbulenz gegeben ist – als Nachfällung im Überlauf eines belüfteten Abwasserteichs zu einem nachgeschalteten Absetzteich. Beim Einsatz der Vorfällung erfolgt neben der P-Reduzierung auch eine Reduzierung der organischen Abwasserinhaltsstoffe; damit ergibt sich ein schlechteres BSB<sub>5</sub>/N-Verhältnis, was negative Auswirkungen auf die Denitrifikation haben kann.
- Um die Fällmittelmenge und damit die Betriebskosten möglichst gering zu halten, sollte die Dosierung zuflussmengenproportional erfolgen. Dies erfordert einen entsprechenden Eingriff in die E-MSR-Technik, der unterschiedlich aufwendig sein kann.

Allgemein als Nachteile des Einsatzes einer P-Fällung im Vergleich zur Anlage ohne Fällung sind zu nennen:

- ein erhöhter Schlammanfall,
- der Fällmittelbedarf und damit die sich ergebenden Betriebskosten,
- ein höherer Wartungsaufwand,
- die Wirksamkeit des Einsatzes einer Fällung bei Teichanlagen hängt aber von sehr vielen Randbedingungen der betreffenden Anlage ab und muss daher im Einzelfall betrachtet werden.

### **Wirtschaftlichkeit:**

Die Investitionskosten für eine einfache Fällmitteldosieranlage können zum Teil durch die zu verrechnende Abwasserabgabe von 3 Jahren finanziert werden. Die Kosten für den personellen Aufwand für Wartung und Instandhaltung der Dosieranlage sowie auch die Fällmittelkosten sind höher als die durch die geringeren P-Ablaufwerte eingesparte Abwasserabgabe.

Die Mehraufwendungen sind mit  $(10,05 - 3,34) = 6,71 \text{ €}/(\text{EW} \cdot \text{a})$  oder  $0,184 \text{ €}/\text{m}^3$  Abwasser gering.

### **Spezifische Kosten**

Mehrkosten von ca.  $(5.025 - 1.672) = 3.353 \text{ €/a}$  stehen einer reduzierten P-Emission in die Gewässer von  $(192 - 55) = 137 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a}$  gegenüber. Die sich daraus ergebenden spezifischen Kosten errechnen sich somit zu:

$$3.353 \text{ €/a} / 137 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = 24,50 \text{ €} / \text{kg P}_{\text{el}}$$



## 5.7.2 Anlagentyp 2: kleine Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, Beispiel 4.000 EW

Für kleine Belebungsanlagen in der Größenordnung von ca. 1.000 EW bis ca. 5.000 EW werden bisher nur in einigen Fällen im Erlaubnisbescheid Überwachungswerte für  $P_{\text{ges}}$  gefordert. Eine der Hauptfragen für derartige Anlagen ist daher:

*Lohnt sich die nachträgliche Installation einer Fällmitteldosieranlage für kleine Anlagen?*

### **Wirtschaftlichkeit:**

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Tabelle 5.6-1 zeigt sich, dass Anlagen ohne eine P-Elimination (Variante 2.1) eine spezifisch hohe Abwasserabgabe zahlen müssen, die dann bei der 4.000 EW-Anlage zu folgenden Kosten führt:

- ca. 15.991 €/a entspr. bzw. ca. 4,00 €/EW.

Die zu erwartenden Jahreskosten bei Anlagen mit Fällung liegen etwas höher:

- bei Anlage mit einfacher kontinuierlicher Fällmitteldosierung:  
ca. 20.369 €/a entspr. ca. 5,09 €/(EW\*a)
- bei Anlagen mit frachtenabhängiger Fällmitteldosierung:  
ca. 19.744 €/a entspr. ca. 4,94 €/(EW\*a)

Die Investitionen der Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik (auch einer etwas aufwendigeren frachtabhängigen Dosierung) lassen sich über eine Verrechnung der Abwasserabgabe zum großen Teil finanzieren; Kapitalkosten fallen daher zunächst nur gering an.

Wird eine Fällmitteldosierung installiert, fallen zwar Betriebskosten für Fällmittel, Personalaufwand, Wartung und Unterhalt sowie erhöhte Schlamm Entsorgung an, andererseits wird sich aber die Abwasserabgabe deutlich reduzieren, sofern ein entsprechender Bescheid ergeht. Unter Betrachtung aller Kapital- und Betriebskosten lassen sich die Gesamtkosten zwar nicht senken, aber insgesamt wird die in die Gewässer emittierte P-Fracht von ca. 1.840 kg/a auf ca. 263 kg/a, also um ca. 1.577 kg P / a deutlich reduziert.

Durch eine frachtabhängige Fällmitteldosierung mit entsprechend aufwendigerer Mess- und Regelungstechnik kann die Dosierung an die Anforderungen angepasst werden, so dass im Jahresmittel voraussichtlich etwas höhere Phosphor-Frachten emittiert werden also bei einer unregelmäßigen kontinuierlichen Dosierung. Damit lassen sich Betriebskosten (Fällmittelmengen und Schlamm Entsorgungskosten) reduzieren; stattdessen fallen aber höhere Kosten für die Wartung und den Betrieb der Mess- und Regelungstechnik an. Die Erst-Investitionen können beim Vorliegen der Voraussetzungen über die Abwasserabgabe zum Teil verrechnet werden.

Wesentliche Unterschiede zwischen herkömmlichen Belebungsanlagen und SBR-Anlagen sind bzgl. der Kosten sowie des möglichen Nutzens (Reduzierung der P-Emissionen) nicht zu erwarten.

## Spezifische Kosten

Diese Reduzierung der Emissionen stehen Mehrkosten von ca. 3.752 – 4.378 €/a gegenüber. Es ergeben sich daraus spezifische Kosten:

- bei einfacher Dosiertechnik: ca. 4.378 €/a / 1.577 kg P<sub>el</sub> / a = 2,78 € / kg P<sub>el</sub>
- bei frachtabhängiger Dosierung ca. 3.752 €/a / 1.445 kg P<sub>el</sub> / a = 2,60 € / kg P<sub>el</sub>

### 5.7.3 Anlagentyp 3: Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und Größenordnungen zwischen ca. 10.000 und 40.000 EW, Beispiel: 20.000 EW

Belebungsanlagen in der Größenordnung von ca. 10.000 EW bis ca. 40.000 EW werden zum Teil als aerob stabilisierende Anlagen ohne Schlammfäulung betrieben. Als Mindestanforderung für P<sub>ges</sub> muss gemäß Anhang 1 der AbwV ein Wert von 2 mg/l eingehalten werden; dieser Wert ist auch in den meisten Erlaubnisbescheiden als Überwachungswert festgelegt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der im Betrieb realisierte P-Ablaufwert dieser Anlagen im Mittel in der Größenordnung 1,5 mg/l liegt.

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird eine Ablaufkonzentration von P<sub>ges</sub> = 0,5 mg/l (Betriebswert ca. 0,4 mg/l) angestrebt.

Eine derartige Reduktion (von ca. 1,5 mg/l auf 0,4 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 20.000 EW in etwa einer P-Fracht von ca. (2.300 – 613) = 1.686 kg P / a, die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Daraus ergibt sich für Anlagen dieser Größenordnung die Frage:

*Lohnt sich eine Optimierung der P-Elimination durch optimierte Fällmitteldosierung, frachtabhängige Mess- und Regelungstechnik, erhöhte Fällmitteldosierung bzw. durch Einrichtung einer biologisch intensivierten P-Elimination zum Erreichen eines P-Ablaufwertes von ca. 0,5 mg/l?*

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Ablaufkonzentrationen und der damit einhergehenden Reduzierungen im Überwachungswert könnten in diesem Fall aus der Abwasserabgabe bis zu ca. 175.000 € mit Investitionen verrechnet werden. Die Investitionen einer frachtabhängigen Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik sowie auch Kosten für die Umprogrammierung der Steuerung und ggf. der Installation zusätzlicher Messwertaufnehmer sind deutlich geringer und lassen sich über eine Verrechnung der Abwasserabgabe finanzieren; Kapitalkosten fallen daher zunächst nicht an.

**Wirtschaftlichkeit einer biologisch intensivierten P-Elimination in Kombination mit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 0,5 mg/l P<sub>ges</sub>**

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Tabelle 5.6-1 zeigt sich, dass insbesondere in den Fällen, in denen eine biologisch intensivierete P-Elimination ohne Bau eines Anaerobbeckens lediglich durch Änderung der Steuerung der Belebungsanlage (Realisierung einer Anaerob-Phase) möglich ist (Variante 3.3), eine deutliche Reduzierung der Fällmittelkosten sowie eine Reduzierung der zu entsorgenden Schlammengen eintritt, obwohl die P-Ablauf-Konzentration von 1,0 mg/l auf 0,5 mg/l abgesenkt wird. Da die Umprogrammierung der Belebungsanlagensteuerung nur relativ geringe Kosten erfordert, reduzieren sich die Jahreskosten und auch die spezifischen Kosten erheblich:

- Var. 3.1: Bestand 20.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 1,5 \text{ mg/l}$  ca. 47.994 €/a, 0,047 €/m<sup>3</sup>, 2,40 €/EW\*a)
- Var. 3.3: 20.000 EW, Bio-P über Steuerung + frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$  ca. 37.810 €/a, 0,037 €/m<sup>3</sup>, 1,89 €/EW\*a)

Eine Umprogrammierung und Einstellung einer Anaerob-Phase zur biologischen P-Elimination ist also in jedem Fall zu empfehlen, sofern sie bemessungstechnisch und anlagentechnisch (Belüftung, zur Verfügung stehendes Volumen) machbar ist. Die Wirtschaftlichkeit ist sofort gegeben. Es ist natürlich zu prüfen, ob diese zusätzliche Anaerob-Phase in Bezug auf die Belastung der Kläranlage möglich ist.

Derartige MSR-Konzepte legen ihren Schwerpunkt zunächst auf die erforderliche Stickstoffelimination mit Nitrifikation und Denitrifikation über aerobe und anoxische Phasen. Insbesondere in den Monaten, in denen das Abwasser höhere Temperaturen aufweist und damit aufgrund der Wachstums- und Umsatzraten der Mikroorganismen Kapazitäten in der Belebungsanlage vorhanden sind, lassen diese MSR-Konzepte nach der anoxischen Phase eine Anaerob-Phase zu, mit deren Hilfe die vermehrte biologische P-Elimination dann möglich wird.

In Abhängigkeit der vorhandenen Reserven kann sich so in Anlagen, die im Winter ausgelastet sind, im Sommer eine biologische P-Elimination etablieren. Dieses würde zwar dann zu keiner dauerhafte Reduzierung der P-Emission durch Bio-P führen, hätte aber über das Jahr gesehen einen positiven Effekt auf die Fällmittelkosten, da im Sommer deutlich weniger Fällmittel benötigt würde.

Es sollte also darauf geachtet werden, dass diese MSR-Konzepte flexibel gestaltet werden.

In jedem Fall sollte geprüft werden, ob ein zusätzliches Anaerobbecken für eine biologische P-Elimination in den Prozess der Kläranlage eingebunden werden kann. Damit kann eine stabile Bio-P-Elimination sowohl im Sommer als auch überwiegend im Winter gewährleistet werden. Die Investitionen für das Anaerobbeckens können aus der Abwasserabgabe mit ca. 150.000 € verrechnet werden. Durch eine stabile biologische P-Elimination lassen sich Fällmittelkosten und Schlamm Entsorgungskosten deutlich reduzieren.

## **Wirtschaftlichkeit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 0,5 mg/l $P_{ges}$ in der 24h-MP**

Anlagen, bei denen eine biologische P-Elimination nicht möglich ist – weil sie z.B. bereits stark ausgelastet sind und keine Kapazitäten für eine Anaerob-Phase vorhanden sind oder weil andere Gründe dagegen sprechen – lassen sich durch eine optimierte Fällmitteldosierung, ggf. Ergänzung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (frachtabhängige Steuerung) auf einen Ablaufwert  $P_{ges} = 0,5$  mg/l (in der 24h-MP) bringen (Variante 3.2). In diesem Fall fallen Kosten für die aufwendigere Mess- und Regelungstechnik, für erhöhte Fällmittelmengen und höhere Schlammentsorgungskosten an.

- Var. 3.1: Bestand 20.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{ges} = 1,5$  mg/l                      ca. 47.994 €/a, 0,047 €/m<sup>3</sup>, 2,40 €/EW\*a)
- Var. 3.2: 20.000 EW, frachtproportionale Dosierung,,  
 $P_{ges} = 0,4$  mg/l                      ca. 62.740 €/a, 0,061 €/m<sup>3</sup>, 3,14 €/EW\*a)

Die sich ergebenden Gesamtkosten bzw. spezifischen Kosten sind in der Variante 3.2 geringfügig höher als in der Referenzvariante 3.1.

### **Spezifische Kosten**

#### Variante 3.2 (Fällung):

Die sich bei der Installation einer frachtabhängigen Fällmitteldosierung ergebenden Mehrkosten zum Einhalten eines Ablaufwertes von 0,5 mg  $P_{ges}$ /l in der 24h-MP sind höher als die geringere Abwasserabgabe, so dass in der Summe ca. 14.746 €/a bzw. ca. 0,75 €/(EW\*a) höhere Aufwendungen zu tragen sind als bei der Variante 3.1 ( $P_{ges} = 1,5$  mg/l).

Diese Mehrkosten stehen dann aber einer Verringerung der P-Ablaufkraft um ca. 1.686 kg P / a (gegenüber dem Bestand der Variante 3.1) entgegen, so dass sich daraus folgende spezifische Kosten in € / kg  $P_{el}$  ergeben:

$$14.746 \text{ €/a} / 1.686 \text{ kg } P_{el} / a = \text{ca. } 8,74 \text{ € / kg } P_{el}.$$

#### Variante 3.3 (Bio-P)

Da sich im Vergleich zum Bestand mit einem Betriebsmittelwert von 1,5 mg/l durch die Einbeziehung einer Anaerob-Phase in den Prozess eine deutliche Reduzierung der Betriebskosten (verringerte Fällmittelkosten, Entsorgungskosten, Abwasserabgabe) ergibt und zudem nur sehr geringe Kapitalkosten anfallen, ergeben sich für die Variante 3.3 mit Einbeziehung einer Bio-P-Phase geringere Kosten als im Bestand (Variante 3.1). Eine Einsparung von ca. 10.183 €/a ist zu erwarten.

Diese Maßnahme ist als „Sofortmaßnahme“ unter den o.g. Randbedingungen zu empfehlen.

### **5.7.4 Anlagentyp 4: Belebungsanlagen der Größenklasse 4 mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung (10.000 bis 100.000 EW), Beispiel: 50.000 EW**

Anlagen dieser Größenordnung sind üblicherweise mit Vorklärung und Faulung ausgerüstet. Als Mindestanforderung für  $P_{ges}$  muss bereits jetzt gemäß Anhang 1 der AbwV ein Wert von 2 mg/l eingehalten werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der im Betrieb realisierte P-Ablaufwert (Betriebsmittelwert) dieser Anlagen in der Größenordnung 1,5 mg/l liegt.

Diese „Referenzanlage“ (Ausgangssituation) ist nachfolgend als Variante 4.1 beschrieben.

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird zukünftig für alle Anlagen der Größenklasse 4 ein Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,5$  mg/l sowie ortho-P = 0,2 mg/l in der 24h-MP (entsprechend einem Betriebsmittelwert  $P_{ges}$  ca. 0,4 mg/l) angestrebt. Eine derartige Reduktion (von ca. 1,5 mg/l auf 0,4 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 50.000 EW in etwa einer P-Fracht von ca.  $(6.981 - 1.862) = 5.119$  kg P / a, die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Für einzelne Anlagen, die in besonders belastete Gewässer einleiten, wird zukünftig ein Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,2$  mg/l in der 24h-MP gefordert, was einem Mittelwert von ca.  $P_{ges} = 0,15$  mg/l entsprechen dürfte.

Daraus ergeben sich für Anlagen dieser Größenordnung die Fragen:

- *Welche Auswirkungen hat eine Optimierung der P-Elimination durch optimierte Fällmitteldosierung, frachtabhängige Mess- und Regelungstechnik, erhöhte Fällmitteldosierung bzw. durch Einrichtung einer biologisch intensivierten P-Elimination?*
- *Lohnt sich der nachträgliche Bau eines Anaerob-Beckens zur biologischen Phosphor-Elimination?*
- *Führt eine 2-Punkt-Fällung zu relevanten geringeren Fällmittelmengen und zu entsorgenden Schlammengen? Ist die Installation einer 2-Punkt-Fällung wirtschaftlich?*
- *Welche Aufwendungen sind erforderlich, um in den genannten Einzelfällen einen Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,2$  mg/l in der 24h-MP einhalten zu können? Es wird davon ausgegangen, dass in diesen Fällen eine Flockungsfiltration nachgeschaltet werden muss.*

Daher werden nachfolgend folgende Varianten beschrieben und beurteilt:

#### **I. Varianten, mit denen ein Überwachungswert von $P_{ges} = 0,5$ mg/l (Betriebsmittelwert von 0,4 mg/l) sowie ortho-P = 0,2 mg/l erreicht werden kann.**

- Variante 4.2: optimierte frachtabhängige Fällmitteldosierung (Simultanfällung)

- Variante 4.3: Bau eines Anaerob-Beckens zur Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Dosierung
- Variante 4.4: 2-Punkt-Fällung mit Vorfällung und Simultanfällung

**II. Variante, mit denen ein Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,2$  mg/l (Betriebsmittelwert von 0,15 mg/l) erreicht werden kann.**

- Variante 4.5: 2-Punkt-Fällung mit Simultanfällung und Nachfällung, Flockungsfiltration

**I. Varianten, mit denen ein Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,5$  mg/l (Betriebsmittelwert von 0,4 mg/l) sowie ortho-P = 0,2 mg/l erreicht werden kann.**

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Überwachungswerte (von 2,0 mg/l auf 0,5 mg/l) können in diesem Fall aus der Abwasserabgabe ca. 485.000 € mit Investitionen verrechnet werden. Die Investitionen einer aufwendigeren frachtabhängigen Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik sowie auch Kosten für die Umprogrammierung der Steuerung und ggf. der Installation zusätzlicher Messwertaufnehmer sind deutlich geringer und können ggf. mit der Abwasserabgabe verrechnet werden. Dies gilt ebenfalls für die Investitionen für eine 2-Punkt-Fällung inkl. einer zweiten Messstelle (Variante 4.4) oder für den Bau eines zusätzlichen Anaerob-Beckens.

**Variante 4.2: optimierte frachtabhängige Fällmitteldosierung (Simultanfällung)**

Sofern der zukünftig geforderte Überwachungswert von  $P_{ges} = 0,5$  mg/l ausschließlich durch eine optimierte Fällung erreicht werden muss (Variante 4.2), werden zukünftig gegenüber dem aktuellen Bestand (Variante 4.1) deutlich erhöhte Fällmittelmengen erforderlich sein mit entsprechend hohen zu entsorgenden Schlammengen. Dies wird zu Mehrkosten von ca. 27.864 €/a führen:

- Var. 4.1: Bestand 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{ges} = 1,5$  mg/l: ca. 120.700 €/a, 0,039 €/m<sup>3</sup>, 2,41 € /EW\*a)
- Var. 4.2: 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{ges} = 0,4$  mg/l: ca. 148.566 €/a, 0,048 €/m<sup>3</sup>, 2,97 €/(EW\*a)

**Variante 4.3: Bau eines Anaerob-Beckens zur Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Dosierung**

In dem Fall, in dem durch den Bau eines Anaerob-Beckens die biologisch intensivierete P-Elimination möglich wird (Variante 4.3), werden sich die erforderlichen Fällmittelmengen sich nicht wesentlich verändern, obwohl die P-Ablauf-Konzentration im Betriebsmittel von 1,5 mg/l auf 0,4 mg/l abgesenkt wird.

Aufgrund zukünftig deutlich reduzierter Abwasserabgabe reduzieren sich die Jahreskosten und auch die spezifischen Kosten bei der Bio-P-Variante 4.3 im Vergleich zur Ausgangssituation (Variante 4.1 Ablaufkonzentration 1,5 mg/l) erheblich:

- Var. 4.1: Bestand 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 1,5 \text{ mg/l}$ : ca. 120.700 €/a, 0,039 €/m<sup>3</sup>, 2,41 €/EW\*a)
- Var. 4.3: 50.000 EW, Bio-P (Anaerob-Becken), frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$ : ca. 108.820 €/a, 0,035 €/m<sup>3</sup>, 2,18 €/EW\*a)

Bei Anlagen dieser Größenordnung ist also der Bau eines Anaerob-Beckens und damit die Einstellung einer biologischen P-Elimination in jedem Fall zu empfehlen. Auf Anlagen, bei denen aus bautechnischen Gründen oder Platzgründen der Bau eines Anaerob-Beckens nicht möglich ist, sollte in jedem Fall geprüft werden, ob durch eine Änderung der Steuerung der Belebungsanlage eine Anaerob-Phase in den Prozessablauf integriert werden kann (siehe Ausführungen zu Variante 3.3, siehe oben).

#### **Variante 4.4: 2-Punkt-Fällung (Vorfällung + Simultanfällung) frachtabhängige Dosierung**

Sollte der Bau eines Bio-P-Beckens nicht möglich sein, lässt sich durch eine optimierte Fällmitteldosierung mit 2 Dosierstellen (2-Punkt-Fällung) eine Reduzierung der Fällmittelmengen und damit auch der Kosten erreichen.

Untersucht wurde die 2-Punkt-Fällung mit den Dosierstellen „Zulauf zur Vorklärung“ (Vorfällung) sowie „Ablauf Belebungsbecken“ (Simultanfällung). Nach den Modellrechnungen für diesen Fall wird die 2-Punkt-Fällung tendenziell folgende Auswirkungen haben:

- Reduzierung der erforderlichen Fällmittelmenge um ca. 15 – 20 %
- Reduzierung des zu entsorgenden Schlammes um ca. 15 – 20 %
- geringfügig höherer Personalaufwand
- höherer Aufwand für Wartung und Instandhaltung der Dosierstelle sowie der Mess- und Regelungseinrichtungen

Auch aufgrund der zukünftig geringeren Abwasserabgabe erscheint die 2-Punktfällung bei Anlagen mit Vorklärung und Faulung unter Betrachtung dieser einzelnen Aspekte wirtschaftlich zu sein. Nachfolgend wird die Variante 4.1 (Referenzbetrachtung  $P_{\text{ges}} = 1,0 \text{ mg/l}$ ) mit den beiden Varianten der Fällung (Variante 4.2: Simultanfällung und Variante 4.4: 2-Punkt-Fällung) für die betrachtete 50.000-EW-Anlage verglichen:

- Var. 4.1: Bestand 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 1,5 \text{ mg/l}$ : ca. 120.700 €/a, 0,039 €/m<sup>3</sup>, 2,41 €/EW\*a)
- Var. 4.2: 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$ : ca. 148.566 €/a, 0,048 €/m<sup>3</sup>, 2,97 €/EW\*a)

- Var. 4.4: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$ : ca. 105.638 €/a, 0,034 €/m<sup>3</sup>, 2,11 €/(EW\*a)

Damit zeigt sich, dass die Wirtschaftlichkeit der 2-Punkt-Fällung aufgrund niedriger Fällmittelkosten und Schlammentsorgungskosten sowie aufgrund der zukünftig geringeren Abwasserabgabe auch im Vergleich zu einer optimierten Simultanfällung gegeben ist und ähnliche Jahreskosten ergibt, wie die Einrichtung einer biologisch intensivierten P-Elimination (Variante 4.3)

Es ergeben sich also deutlich geringere spezifische Kosten (in €/kg  $P_{\text{elim.}}$ ) bei gleichzeitig geringeren Jahreskosten.

## II. Variante, mit denen ein Überwachungswert von $P_{\text{ges}} = 0,2 \text{ mg/l}$ (Betriebsmittelwert von 0,15 mg/l) erreicht werden kann.

In einzelnen Fällen werden zukünftig auch für Anlagen der Größenklasse 4 Anforderungen gestellt, die denen der Größenklasse 5 entsprechen. In diesen Fällen müssen zukünftig  $P_{\text{ges}} = 0,2 \text{ mg/l}$  in der 24h-MP eingehalten werden, was einem Betriebsmittelwert von ca. 0,15 mg/l entsprechen wird.

Diese Ablaufkonzentrationen werden nur mit einer 2-Punkt-Fällung mit Simultanfällung und Nachfällung und Flockungsfiltrationsanlagen eingehalten werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die zukünftigen Überwachungswerte sowohl durch Tuchfilteranlagen (Scheibenfilter) als auch durch kontinuierliche Sandfilter in Kombination mit der Simultanfällung in der Belebungsanlage einhalten können.

In den Kostenermittlungen wurden daher beide Verfahrenstechniken parallel betrachtet und gegenübergestellt. Nachfolgend ist ein Vergleich des Bestandes (Variante 4.1) mit der Variante 4.4 (Überwachungswert  $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$ ) sowie den beiden Varianten mit Flockungsfiltration (Variante 4.5a mit Tuchfiltration sowie Variante 4.5b mit kontinuierlicher Sandfiltration) zusammengestellt:

- Var. 4.1: Bestand 50.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 1,5 \text{ mg/l}$ : ca. 120.700 €/a, 0,039 €/m<sup>3</sup>, 2,41 € /EW\*a)
- Var. 4.4: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,4 \text{ mg/l}$ : ca. 105.638 €/a, 0,034 €/m<sup>3</sup>, 2,11 €/(EW\*a)
- Var. 4.5a: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
**Tuchfiltration**  
 $P_{\text{ges}} = 0,15 \text{ mg/l}$ : ca. 278.152 €/a, 0,090 €/m<sup>3</sup>, 5,56 €/(EW\*a)
- Var. 4.5b: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
**kontinuierliche Sandfiltration**  
 $P_{\text{ges}} = 0,15 \text{ mg/l}$ : ca. 423.905 €/a, 0,137 €/m<sup>3</sup>, 8,48 €/(EW\*a)



Insgesamt verursacht die Filtration mit einer deutlich geringeren P-Ablaufkonzentration sowie entsprechend geringeren Ablauffrachten zu weitaus höheren Jahreskosten. Dies muss aber bei Betrachtung der spezifischen Kosten ( $\text{€/m}^3$  bzw.  $\text{€}/(\text{EW} \cdot \text{a})$ ) wieder relativiert werden, handelt es sich doch im Vergleich zur Variante 4.4 lediglich um eine Erhöhung um 0,05 bzw. 0,10  $\text{€/m}^3$  bzw. 3,45 bzw. 6,37  $\text{€}/(\text{EW} \cdot \text{a})$ . Aufgrund der deutlich höheren Investitionen aber auch aufgrund der höheren erforderlichen Energiekosten führt die kontinuierliche Sandfiltration zu deutlich höheren Kosten als die Tuchfiltration.

Diese Mehrkosten bewirken aber gegenüber dem Bestand (Variante 4.1) eine deutliche Verringerung der P-Ablauffracht um ca.  $(6.981 - 686) = 6.283 \text{ kg P / a}$ .

Aufgrund der hohen Kapitalkosten errechnen sich gegenüber der Variant 4.1 spezifisch hohe Mehrkosten in  $\text{€ / kg P}_{\text{el}}$  ergeben:

Tuchfiltration:  $157.450 \text{ €/a} / 6.283 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 25,06 \text{ € / kg P}_{\text{el}}$ .

kont. Sandfiltration  $318.268 \text{ €/a} / 6.283 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 48,26 \text{ € / kg P}_{\text{el}}$ .

### **5.7.5 Anlagentyp 5: Belebungsanlagen mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung für Anlagen größer 100.000 EW, Beispiel: 200.000 EW**

Anlagen dieser Größenordnung sind üblicherweise mit Vorklärung und Faulung sowie einer Anaerob-Stufe zur biologisch intensivierten P-Elimination ausgerüstet. Als Mindestanforderung für  $\text{P}_{\text{ges}}$  muss gemäß Anhang 1 der AbwV bereits jetzt ein Wert von 1 mg/l eingehalten werden; dieser Wert ist auch in den meisten Erlaubnisbescheiden als Überwachungswert festgelegt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der im Betrieb realisierte P-Ablaufwert dieser Anlagen in der Größenordnung  $\text{P}_{\text{ges}} = 0,5 - 0,7 \text{ mg/l}$ . Diese „Referenzanlage“ (Ausgangssituation) ist nachfolgend als Variante 5.1 beschrieben.

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird ein Überwachungswert von  $\text{P}_{\text{ges}} = 0,2 \text{ mg/l}$  in der 2h-MP (Betriebsmittelwert ca. 0,15 mg/l) angestrebt. Eine derartige Reduktion (von ca. 0,5 mg/l auf 0,15 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 200.000 EW in etwa einer Reduzierung der P-Fracht um ca.  $(10.950 - 3.298) = 7.665 \text{ kg P / a}$ , die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Diese Ablaufkonzentration  $\text{P}_{\text{ges}} < 0,2 \text{ mg/l}$  wird nur mit einer 2-Punkt-Fällung mit Simultanfällung und Nachfällung und Flockungsfiltrationsanlagen eingehalten werden können. Es wird davon ausgegangen, dass der zukünftige Überwachungswert sowohl durch Tuchfilteranlagen (Scheibenfilter) als auch durch kontinuierliche Sandfilter in Kombination mit der Simultanfällung in der Belebungsanlage einhalten kann.

In den Kostenermittlungen werden daher beide Verfahrenstechniken parallel betrachtet und dem Bestand (Variante 5.1) gegenübergestellt.

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Ablaufkonzentrationen (von einem Überwachungswert von  $P_{\text{ges}} = 1,0 \text{ mg/l}$  (Betriebsmittel  $0,5 \text{ mg/l}$ ) auf  $P_{\text{ges}} = 0,2 \text{ mg/l}$  (Betriebsmittel  $0,15 \text{ mg/l}$ )) können in diesem Fall aus der Abwasserabgabe ca. 1.803.000 € mit Investitionen verrechnet.

Die im Rahmen dieses Vorhabens ermittelten Kosten für eine nachgeschaltete Filtration sind allerdings deutlich höher (siehe Kap. 5.2.3), so dass in diesem Fall eine Summe von ca. 3,62 Mio. € (bei Tuchfiltration) bzw. 9,35 Mio. € (bei kontinuierlicher Sandfiltration) durch den Betreiber zu finanzieren ist.

Nachfolgend ist ein Vergleich des Bestandes mit der Variante 5.1 den beiden Varianten mit Flockungsfiltration (Variante 5.2a mit Tuchfiltration sowie Variante 5.2b mit kontinuierlicher Sandfiltration) zusammengestellt.

- Var. 5.1: Bestand 200.000 EW, frachtproportionale Dosierung,  
 $P_{\text{ges}} = 0,5 \text{ mg/l}$ : ca. 367.061 €/a,  $0,025 \text{ €/m}^3$ ,  $1,84 \text{ €/EW*a}$
- Var. 5.2a: 200.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
**Tuchfiltration**  
 $P_{\text{ges}} = 0,15 \text{ mg/l}$ : ca. 736.410 €/a,  $0,050 \text{ €/m}^3$ ,  $3,68 \text{ €/EW*a}$
- Var. 5.2b: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung, frachtproportionale Dosierung,  
**kontinuierliche Sandfiltration**  
 $P_{\text{ges}} = 0,15 \text{ mg/l}$ : ca. 1.404.065 €/a,  $0,10 \text{ €/m}^3$ ,  $7,02 \text{ €/EW*a}$

Insgesamt ergeben sich für die Variante 5.2a „Tuchfiltration“ Mehrkosten von ca. 369.350 €/a gegenüber dem Bestand (Variante 5.1). Daraus errechnen sich bei einer reduzierten P-Fracht in die Gewässer von  $(10.950 - 3.285) = \text{ca. } 7.665 \text{ kg P/a}$  spezifische Kosten von

$$369.350 \text{ €/a} / 7.665 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 48,20 \text{ € / kg P}_{\text{el}}.$$

## Literaturverzeichnis

- AbwAG                      Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz – AbwAG) vom 18. Januar 2005, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. August 2010, BGBl. I S. 1163
- ATV-DVWK A 131        ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 - Bemessung von Belebungsanlagen, GFA, Hennef, 2000
- ATV-DVWK A 202        ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 202 - Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser, GFA, Hennef, 2004  
(ersetzt durch DWA A 202, 2011)
- ATV-DVWK M 206        ATV-DVWK-Merkblatt M 206 - Automatisierung der chemischen Phosphatelimination, GFA, Hennef, 2001
- BARJENBRUCH, M.      Maßnahmen zur Verringerung von Problemen bei Blähschlamm – Schwimmschlamm – Schaum, Magdeburger Abwassertage 10./11.10.2002
- Barjenbruch, M.;  
ERLER, C.  
STEINKE, M.            und Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Optimierung von Abwasserteichanlagen“. Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft, April 2004 (zitiert in TMLNU, 2009)
- BOLL, R.                Zur erhöhten biologischen Phosphorelimination mit dem Belebungsverfahren, Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig, Heft 46, 1988
- DWA A 202                DWA-Arbeitsblatt A 202 - Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser, DWA, Hennef, 2011
- GNIRSS, R.              Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung in Berlin, DWA Landesverbandstagung 2007 – Wasserwirtschaft, ein gesellschaftliches und umweltpolitisches Räderwerk. Berlin, 31. Mai bis 1. Juni 2007, zitiert in TMLNU, 2009
- HELMER, S.  
KUNST, S.                Grundlagen der vermehrten biologischen Phosphorelimination, ATV Schriftenreihe, Hennef, 1996

- HENZE, M., Wastewater treatment – biological and chemical processes, 3rd Ed. HARREMOES, P., Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 2000  
LA COUR JANSEN, J.,  
ARVIN, E.
- HMUELV Maßnahmenprogramm 2009 – 2015 zur Umsetzung der Wasser-  
rahmenrichtlinie in Hessen, Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 1. Aufl. 2009,  
siehe auch: Feststellung und Veröffentlichung des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenprogramms nach § 4 Abs. 2 des Hessischen Wassergesetzes im Rahmen der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), StAnz. 2009 S. 3112, (www.flussgebiete.hessen.de )
- HWG Hessisches Wassergesetz (HWG) vom 14. Dezember 2010 (GVBl. I 2010, 548), zuletzt geändert durch Artikel 62 des Gesetzes vom 13. Dezember 2012 (GVBl. S. 622)
- ROSENWINKEL, K. Handbuch des Softwarepaketes DENIKApus,  
WICHERN, M., Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik ISAH  
LIPPELT, C., der Universität Hannover, Hannover, 2002  
ARNOLD, B.  
FENGLER, T.
- SCHEER, H. Bemessung von Kläranlagen auf Stickstoff- und Phosphorelimi-  
nation im internationalen Vergleich, Veröffentlichungen des Insti-  
tutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Uni-  
versität Hannover ISAH, Heft 102, Hannover 1998
- SCHÖNBERGER, R. Optimierung der biologischen Phosphorelimination bei der kom-  
munalen Abwasserreinigung, Berichte aus Wassergütwirtschaft  
und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Nr. 93, 1990
- SIEGRIST, H., Auswirkungen des Phosphatverbots in den Waschmitteln auf die  
BOLLER, M. Abwasserreinigung in der Schweiz, Korrespondenz Abwasser,  
46 (1), S. 57-65, 1999
- TEICHFISCHER, T. Der Einfluss schwankender Abwasserzusammensetzung auf die  
vermehrte biologische Phosphatelimination und Möglichkeiten  
zur Prozessstabilisierung, Institut für Siedlungswasserwirtschaft  
Technische Universität Braunschweig, Heft 57, Braunschweig  
1994
- TMLNU Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranla-  
gen Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und



## **Anlage 1:**

### **Kostenermittlung zu den im Kap. 5 erläuterten Beispielvarianten**

|   |   | Variante 1.1<br>Anlage 500 EW<br>ohne Fällung |                     | Variante 1.2<br>Anlage 500 EW<br>Fällung, 1 m³ Wechselbehälter<br>kontinuierliche Steuerung |                     |
|---|---|---|---------------------|---|---------------------|
| <b>Größe der Kläranlage</b>   |   | 500 EW  |                     | 500 EW  |                     |
| spezifische Schmutzwassermenge                                      |   | 100 l/(EW*d)                                  |                     | 100 l/(EW*d)  |                     |
| spezifische Fremdwassermenge  |   | 50%   |                     | 50%   |                     |
| Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>                                   |   | 75 m³/d                                       |                     | 75 m³/d   |                     |
| Biologische P-Elimination   |   | beta = 0,00                                   |                     | beta = 1,80   |                     |
| β-Wert Fällung  |   | 7,0 mg/l                                      |                     | 2,0 mg/l  |                     |
| <b>P-Ablaufkonzentration</b>  | Betriebsmittelwert<br>ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert | 10,0 mg/l                                     |                     | 4,0 mg/l  |                     |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                     |   | 191,6 kg/a                                    |                     | 54,8 kg/a   |                     |
| P-Fracht für Abwasserabgabe   |   | 273,8 kg/a                                    |                     | 109,5 kg/a  |                     |
| Schadeinheiten  | 3,00 kg P/SE  | 91,3 SE/a                                     |                     | 36,5 SE/a   |                     |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                               | zur Verfügung   |   | 0,00 €              |   | 7.252,19 €          |
| <b>INVESTITIONEN</b>  |   |   |                     |   |                     |
| <b>Planung</b>  | 10%   |   | 0,00 €              |   | 1.900,00 €          |
| <b>Bautechnik</b>   |   |   |                     |   |                     |
| Bautechnik Fällung  |   |   | 0,00 €              |   | 10.950,00 €         |
| Bautechnik Filtration   |   |   | 0,00 €              |   | 0,00 €              |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                            |   |   |                     |   | 0,00 €              |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                              |   |   | <b>0,00 €</b>       |   | <b>10.950,00 €</b>  |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>   |   |   |                     |   |                     |
| M- und E-MSR-Technik Fällung  |   |   | 0,00 €              |   | 8.050,00 €          |
| M- und E-MSR-Technik Filtration                                     |   |   | 0,00 €              |   | 0,00 €              |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                            |   |   | 0,00 €              |   | -7.252,19 €         |
| <b>Summe M- und E-MSR-Technik zu finanzieren</b>                    |   |   | <b>0,00 €</b>       |   | <b>797,82 €</b>     |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>  |   |   | <b>0,00 €</b>       |   | <b>20.900,00 €</b>  |
| <b>davon nach Verrechnung mit<br/>Abwasserabgabe zu finanzieren</b> |   |   | <b>0,00 €</b>       |   | <b>13.647,82 €</b>  |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>  | Zinssatz 3,0%   |   |                     |   |                     |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                     |   |   |                     |   |                     |
| Abschreibungszeit 30 Jahre  | volle Laufzeit  |   |                     |   |                     |
| Zinssatz 3,0%   | halber Zinssatz   |   |                     |   |                     |
| Annuitätsfaktor a= 0,05102  |   |   | 0,00 €/a            |   | 655,60 €/a          |
| <b>Maschinentechnik</b>   |   |   |                     |   |                     |
| Abschreibungszeit 15 Jahre  | volle Laufzeit  |   |                     |   |                     |
| Zinssatz 3,0%   | halber Zinssatz   |   |                     |   |                     |
| Annuitätsfaktor a= 0,08377  |   |   | 0,00 €/a            |   | 66,83 €/a           |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>  |   |   | <b>0,00 €/a</b>     |   | <b>722,43 €/a</b>   |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>   | <b>Spez. Grundansätze</b>   |   |                     |   |                     |
| <b>Wartung/Reparatur</b>  |   |   |                     |   |                     |
| Bautechnik  | 1,00 %/a der Investition  |   | 0,00 €/a            |   | 109,50 €/a          |
| Maschinen- und E-MSR-Technik  | 3,00 %/a der Investition  |   | 0,00 €/a            |   | 241,50 €/a          |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                    |   |   | <b>0,00 €/a</b>     |   | <b>351,00 €/a</b>   |
| <b>Personal</b>   | 35,00 €/h   | 0 h/a   | 0,00 €/a            | 52 h/a  | 1.820,00 €/a        |
| <b>SUMME FESTE<br/>BETRIEBSKOSTEN</b>                               |   |   | <b>0,00 €/a</b>     |   | <b>2.171,00 €/a</b> |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>   |   |   | <b>0,00 €/a</b>     |   | <b>2.893,43 €/a</b> |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                      |   |   |                     |   | aus P-Elimination   |
| Abwasserabgabe P-Anteil<br>(halbierter Satz)                        | 17,90 €/SE  | 91,3 SE/a                                     | 1.632,92 €/a        | 36,5 SE/a   | 653,17 €/a          |
| Strombedarf für P-Elimination                                       | 0,240 €/kWh   | 0 kWh/a                                       | 0,00 €/a            | 20 kWh/a  | 4,80 €/a            |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                   | 475,00 €/t  | 0,00 t/a                                      | 0,00 €/a            | 2,57 t/a  | 1.221,16 €/a        |
| Klärschlammensorgung<br>(aus P-Elimination inkl. P in<br>Biomasse)  | 60,00 €/t   | 0,66 t/a                                      | 39,42 €/a           | 4,20 t/a  | 252,29 €/a          |
| <b>SUMME<br/>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                            |   |   | <b>1.672,34 €/a</b> |   | <b>2.131,42 €/a</b> |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>   |   |   | <b>1.672,34 €/a</b> |   | <b>5.024,85 €/a</b> |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                      |   | <b>500 EW</b>                                 | <b>3,34 €/EW</b>    | <b>500 EW</b>   | <b>10,05 €/EW</b>   |
| <b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>                        |   |   | <b>0,0916 €/m³</b>  |   | <b>0,2753 €/m³</b>  |

|  |   | Variante 2.1<br>Anlage 4.000 EW<br>keine Fällung |                      | Variante 2.2<br>Anlage 4.000 EW<br>Fällung<br>kontinuierliche Dosierung |                      | Variante 2.2<br>Anlage 4.000 EW<br>Fällung,<br>frachtabhängige Steuerung |                      |
|--|---|--|----------------------|---|----------------------|--|----------------------|
| <b>Größe der Kläranlage</b>  |   | 4.000 EW   |                      | 4.000 EW  |                      | 4.000 EW   |                      |
| spezifische Schmutzwassermenge                                       |   | 120 l/(EW*d)                                     |                      | 120 l/(EW*d)  |                      | 120 l/(EW*d)   |                      |
| spezifische Fremdwassermenge   |   | 50%  |                      | 50%   |                      | 50%  |                      |
| Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>                                    |   | 720 m³/d   |                      | 720 m³/d  |                      | 720 m³/d   |                      |
| Biologische P-Elimination  |   | beta = 0,00                                      |                      | beta = 2,20   |                      | beta = 1,50  |                      |
| β-Wert Fällung   |   | 7,0 mg/l   |                      | 1,0 mg/l  |                      | 1,5 mg/l   |                      |
| P-Ablaufkonzentration  | Betriebsmittelwert<br>ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert | 10,0 mg/l  |                      | 2,0 mg/l  |                      | 2,0 mg/l   |                      |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                      |   | 1.839,6 kg/a                                     |                      | 262,8 kg/a  |                      | 394,2 kg/a   |                      |
| P-Fracht für Abwasserabgabe  |   | 2.628,0 kg/a                                     |                      | 525,6 kg/a  |                      | 525,6 kg/a   |                      |
| Schadeneinheiten   | 3,00 kg P/SE  | 876,0 SE/a                                       |                      | 175,2 SE/a  |                      | 175,2 SE/a   |                      |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                                |   |  | 0,00 €               |   | 51.745,32 €          |  | 51.745,32 €          |
| <b>INVESTITIONEN</b>   |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Planung</b>   | 10%   |  | 0,00 €               |   | 5.850,00 €           |  | 8.350,00 €           |
| <b>Bautechnik</b>  |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Bautechnik Fällung   |   |  | 0,00 €               |   | 37.000,00 €          |  | 37.000,00 €          |
| Bautechnik Filtration  |   |  | 0,00 €               |   | 0,00 €               |  | 0,00 €               |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   |  | 0,00 €               |   | -30.245,32 €         |  | -5.245,32 €          |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                               |   |  | <b>0,00 €</b>        |   | <b>6.754,68 €</b>    |  | <b>31.754,68 €</b>   |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>  |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| M- und E-MSR-Technik Fällung   |   |  | 0,00 €               |   | 21.500,00 €          |  | 26.500,00 €          |
| M- und E-MSR-Technik Filtration                                      |   |  | 0,00 €               |   |                      |  | 20.000,00 €          |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   |  | 0,00 €               |   | -21.500,00 €         |  | -46.500,00 €         |
| Summe M- und E-MSR-Technik zu<br>finanzieren                         |   |  | 0,00 €               |   | 0,00 €               |  | 0,00 €               |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>   |   |  | <b>0,00 €</b>        |   | <b>64.350,00 €</b>   |  | <b>91.850,00 €</b>   |
| <b>davon nach Verrechnung mit<br/>Abwasserabgabe zu finanzieren</b>  |   |  | <b>0,00 €</b>        |   | <b>12.604,68 €</b>   |  | <b>40.104,68 €</b>   |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   | Zinssatz 3,0%   |  |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                      |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Abschreibungszeit 30 Jahre   | volle Laufzeit  |  |                      |   |                      |  |                      |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Annuitätsfaktor a = 0,05102  |   |  | 0,00 €/a             |   | 643,08 €/a           |  | 2.046,11 €/a         |
| <b>Maschinenteknik</b>   |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Abschreibungszeit 15 Jahre   | volle Laufzeit  |  |                      |   |                      |  |                      |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Annuitätsfaktor a = 0,08377  |   |  | 0,00 €/a             |   | 0,00 €/a             |  | 0,00 €/a             |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   |   |  | <b>0,00 €/a</b>      |   | <b>643,08 €/a</b>    |  | <b>2.046,11 €/a</b>  |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>  | Spez. Grundansätze  |  |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Wartung/Reparatur</b>   |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Bautechnik   | 1,00 %/a der Investition  |  | 0,00 €/a             |   | 370,00 €/a           |  | 370,00 €/a           |
| Maschinen- und E-MSR-Technik   | 3,00 %/a der Investition  |  | 0,00 €/a             |   | 645,00 €/a           |  | 1.395,00 €/a         |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                     |   |  | 0,00 €/a             |   | 1.015,00 €/a         |  | 1.765,00 €/a         |
| <b>Personal</b>  | 35,00 €/h   | 0 h/a  | 0,00 €/a             | 104 h/a   | 3.640,00 €/a         | 156 h/a  | 5.460,00 €/a         |
| <b>SUMME FESTE<br/>BETRIEBSKOSTEN</b>                                |   |  | <b>0,00 €/a</b>      |   | <b>4.723,90 €/a</b>  |  | <b>7.343,90 €/a</b>  |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>  |   |  | <b>0,00 €/a</b>      |   | <b>5.366,98 €/a</b>  |  | <b>9.390,01 €/a</b>  |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                       |   |  |                      |   |                      |  |                      |
| Abwasserabgabe (halbierter Satz)                                     | 17,90 €/SE  | 876 SE/a   | 15.676,02 €/a        | 175 SE/a  | 3.135,20 €/a         | 175 SE/a   | 3.135,20 €/a         |
| Strombedarf für P-Elimination  | 0,240 €/kWh   | 0 kWh/a  | 0,00 €/a             | 20 kWh/a  | 4,80 €/a             | 60 kWh/a   | 14,40 €/a            |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                    | 300,00 €/t  | 0,00 t/a   | 0,00 €/a             | 30,16 t/a   | 9.049,46 €/a         | 18,00 t/a  | 5.398,83 €/a         |
| Klärschlamm Entsorgung<br>(aus P-Elimination inkl. P in<br>Biomasse) | 60,00 €/t   | 5,26 t/a   | 315,36 €/a           | 46,88 t/a   | 2.813,01 €/a         | 30,09 t/a  | 1.805,44 €/a         |
| <b>SUMME<br/>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                             |   |  | <b>15.991,38 €/a</b> |   | <b>15.002,48 €/a</b> |  | <b>10.353,87 €/a</b> |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>  |   |  | <b>15.991,38 €/a</b> |   | <b>20.369,46 €/a</b> |  | <b>19.743,88 €/a</b> |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                       |   | <b>4.000 EW</b>                                  | <b>4,00 €/EW</b>     | <b>4.000 EW</b>   | <b>5,09 €/EW</b>     | <b>4.000 EW</b>  | <b>4,94 €/EW</b>     |
| <b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>                         |   |  | <b>0,0913 €/m³</b>   |   | <b>0,1163 €/m³</b>   |  | <b>0,1127 €/m³</b>   |



|  |   | Variante 3.1<br>Anlage 20.000 EW<br>Fällung, zulaufproportionale<br>Dosierung |                      | Variante 3.2<br>Anlage 20.000 EW<br>Fällung, frachtabhängige<br>Dosierung |                      | Variante 3.3<br>Anlage 20.000 EW<br>Fällung, frachtabhängige Dosi-<br>erung, Bio-P-Steuerung (Redox) |                      |
|--|---|---|----------------------|---|----------------------|--|----------------------|
| <b>Größe der Kläranlage</b>  |   | 20.000 EW   |                      | 20.000 EW   |                      | 20.000 EW  |                      |
| spezifische Schmutzwassermenge                                       |   | 140 l/(EW*d)  |                      | 140 l/(EW*d)  |                      | 140 l/(EW*d)   |                      |
| spezifische Fremdwassermenge   |   | 50%   |                      | 50%   |                      | 50%  |                      |
| Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>                                    |   | 4200 m³/d   |                      | 4200 m³/d   |                      | 4200 m³/d  |                      |
| Biologische P-Elimination  |   | beta = 1,50   |                      | beta = 2,20   |                      | beta = 2,20  |                      |
| β-Wert Fällung   |   | 1,5 mg/l  |                      | 0,4 mg/l  |                      | 0,4 mg/l   |                      |
| P-Ablaufkonzentration  | Betriebsmittelwert  |   |                      |   |                      |  |                      |
|  | ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert | 2,0 mg/l  |                      | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP                                |                      | 0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP   |                      |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                      |   | 2.299,5 kg/a  |                      | 613,2 kg/a  |                      | 613,2 kg/a   |                      |
| P-Fracht für Abwasserabgabe  |   | 3.066,0 kg/a  |                      | 766,5 kg/a  |                      | 766,5 kg/a   |                      |
| Schadeinheiten   | 3,00 kg P/SE  | 1.022,0 SE/a  |                      | 255,5 SE/a  |                      | 255,5 SE/a   |                      |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                                |   |   | 0,00 €               |   | 176.718,11 €         |  | 176.718,11 €         |
| <b>INVESTITIONEN</b>   |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Planung</b>   | 10%   |   | 0,00 €               |   | 3.000,00 €           |  | 5.500,00 €           |
| <b>Bautechnik</b>  |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Bautechnik Fällung   |   | Dosierung   | 0,00 €               | Dosierung   | 0,00 €               | Dosierung  | 0,00 €               |
| Bautechnik Filtration  |   | vorhanden   | 0,00 €               | vorhanden   | 0,00 €               | vorhanden  | 0,00 €               |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   |   |                      |   | 0,00 €               |  | 0,00 €               |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                               |   |   | 0,00 €               |   | 0,00 €               |  | 0,00 €               |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>  |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| M- und E-MSR-Technik Fällung   |   |   | 0,00 €               | ergänzte MSR-   | 30.000,00 €          | ergänzte MSR-  | 55.000,00 €          |
| M- und E-MSR-Technik Filtration                                      |   |   | 0,00 €               | Technik   | 0,00 €               | Technik  | 0,00 €               |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   |   |                      |   | -30.000,00 €         |  | -55.000,00 €         |
| <b>Summe M- und E-MSR-Technik</b>                                    |   |   | 0,00 €               |   | 0,00 €               |  | 0,00 €               |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>   |   |   | <b>0,00 €</b>        |   | <b>33.000,00 €</b>   |  | <b>60.500,00 €</b>   |
| <b>davon nach Verrechnung mit<br/>Abwasserabgabe zu finanzieren</b>  |   |   | <b>0,00 €</b>        |   | <b>0,00 €</b>        |  | <b>0,00 €</b>        |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   | Zinssatz 3,0%   |   |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                      |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Abschreibungszeit 30 Jahre   | volle Laufzeit  |   |                      |   |                      |  |                      |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Annuitätsfaktor a= 0,05102   |   |   | 0,00 €/a             |   | 153,06 €/a           |  | 280,61 €/a           |
| <b>Maschinentechnik</b>  |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Abschreibungszeit 15 Jahre   | volle Laufzeit  |   |                      |   |                      |  |                      |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Annuitätsfaktor a= 0,08377   |   |   | 0,00 €/a             |   | 0,00 €/a             |  | 0,00 €/a             |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   |   |   | <b>0,00 €/a</b>      |   | <b>153,06 €/a</b>    |  | <b>280,61 €/a</b>    |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>  | <b>Spez. Grundansätze</b>                                   |   |                      |   |                      |  |                      |
| <b>Wartung/Reparatur</b>   |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Bautechnik   | 1,00 %/a der Investition                                    |   | 0,00 €/a             |   | 0,00 €/a             |  | 0,00 €/a             |
| Maschinen- und E-MSR-Technik   | 3,00 %/a der Investition                                    |   | 0,00 €/a             |   | 900,00 €/a           |  | 1.650,00 €/a         |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                     |   |   | 0,00 €/a             |   | 900,00 €/a           |  | 1.650,00 €/a         |
| <b>Personal</b>  | 35,00 €/h   | 104 h/a   | 3.640,00 €/a         | 156 h/a   | 5.460,00 €/a         | 260 h/a  | 9.100,00 €/a         |
| <b>SUMME FESTE<br/>BETRIEBSKOSTEN</b>                                |   |   | <b>3.640,00 €/a</b>  |   | <b>6.360,00 €/a</b>  |  | <b>10.750,00 €/a</b> |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>  |   |   | <b>3.640,00 €/a</b>  |   | <b>6.513,06 €/a</b>  |  | <b>11.030,61 €/a</b> |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                       |   |   |                      |   |                      |  |                      |
| Abwasserabgabe (halbierter Satz)                                     | 17,90 €/SE  | 1.022 SE/a  | 18.288,69 €/a        | 256 SE/a  | 4.572,17 €/a         | 256 SE/a   | 4.572,17 €/a         |
| Strombedarf für P-Elimination  | 0,240 €/kWh   | 100 kWh/a   | 24,00 €/a            | 120 kWh/a   | 28,80 €/a            | 17.620 kWh/a   | 4.228,80 €/a         |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                    | 210,00 €/t  | 83,55 t/a   | 17.546,18 €/a        | 170,93 t/a  | 35.896,19 €/a        | 45,25 t/a  | 9.501,93 €/a         |
| Klärschlamm Entsorgung<br>(aus P-Elimination inkl. P in<br>Biomasse) | 60,00 €/t   | 141,58 t/a  | 8.495,01 €/a         | 262,17 t/a  | 15.730,16 €/a        | 141,28 t/a   | 8.476,88 €/a         |
| <b>SUMME<br/>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                             |   |   | <b>44.353,88 €/a</b> |   | <b>56.227,32 €/a</b> |  | <b>26.779,78 €/a</b> |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>  |   |   | <b>47.993,88 €/a</b> |   | <b>62.740,38 €/a</b> |  | <b>37.810,39 €/a</b> |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                       |   | <b>20.000 EW</b>  | <b>2,40 €/EW</b>     | <b>20.000 EW</b>  | <b>3,14 €/EW</b>     | <b>20.000 EW</b>   | <b>1,89 €/EW</b>     |
| <b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>                         |   |   | <b>0,0470 €/m³</b>   |   | <b>0,0614 €/m³</b>   |  | <b>0,0370 €/m³</b>   |

|  |   | Variante 4.1<br>Anlage 50.000 EW<br>Bestand: Fällung<br>frachtabhängige Steuerung | Variante 4.2<br>Anlage 50.000 EW<br>Fällung<br>frachtabhängige Steuerung | Variante 4.3<br>Anlage 50.000 EW<br>Fällung (frachtabh. Steuerung),<br>Neubau Bio-P-Becken |
|--|---|---|--|--|
| <b>Größe der Kläranlage</b>  |   | 50.000 EW   | 50.000 EW  | 50.000 EW  |
| spezifische Schmutzwassermenge                                       |   | 170 l/(EW*d)  | 170 l/(EW*d)   | 170 l/(EW*d)   |
| spezifische Fremdwassermenge   |   | 50%   | 50%  | 50%  |
| Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>                                    |   | 12750 m³/d  | 12750 m³/d   | 12750 m³/d   |
| Biologische P-Elimination  |   |   |  | Bio-P  |
| β-Wert Fällung   |   | beta = 1,50   | beta = 2,20  | beta = 2,20  |
| P-Ablaufkonzentration  | Betriebsmittelwert<br>ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert           | 1,5 mg/l<br><br>2,0 mg/l  | 0,4 mg/l<br><br>0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP               | 0,4 mg/l<br><br>0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP                                 |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                      |   | 6.980,6 kg/a  | 1.861,5 kg/a   | 1.861,5 kg/a   |
| P-Fracht für Abwasserabgabe  |   | 9.307,5 kg/a  | 2.326,9 kg/a   | 2.326,9 kg/a   |
| Schadeinheiten   | 3,00 kg P/SE  | 3.102,5 SE/a  | 775,6 SE/a   | 775,6 SE/a   |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                                | zur Verfügung   | 0,00 €  | 486.484,41 €   | 486.484,41 €   |
| <b>INVESTITIONEN</b>   |   |   |  |  |
| <b>Planung</b>   | 10%   | 0,00 €  | 0,00 €   | 46.000,00 €  |
| <b>Bautechnik</b>  |   |   |  |  |
| Bautechnik Fällung   |   | Dosierung<br>0,00 €   | Dosierung<br>0,00 €  | Dosierung vorh<br>0,00 €   |
| Bautechnik Filtration, Pumpwerk                                      |   | vorhanden<br>0,00 €   | vorhanden<br>0,00 €  | Bio-P-Becken<br>400.000,00 €   |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   | 0,00 €  | 0,00 €   | -426.484,41 €  |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                               |   | 0,00 €  | 0,00 €   | -26.484,41 €   |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>  |   |   |  |  |
| M- und E-MSR-Technik Fällung   |   | 0,00 €  | 0,00 €   | Ausrüstung<br>60.000,00 €  |
| M- und E-MSR-Technik Filtration,<br>Pumpwerk                         |   | 0,00 €  | 0,00 €   | 0,00 €   |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   | 0,00 €  | 0,00 €   | -60.000,00 €   |
| <b>Summe M- und E-MSR-Technik</b>                                    |   | 0,00 €  | 0,00 €   | 0,00 €   |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>   |   | <b>0,00 €</b>   | <b>0,00 €</b>  | <b>460.000,00 €</b>  |
| <b>davon nach Verrechnung mit<br/>Abwasserabgabe zu finanzieren</b>  |   | <b>0,00 €</b>   | <b>0,00 €</b>  | <b>0,00 €</b>  |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   | Zinssatz 3,0%   |   |  |  |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                      | volle Laufzeit<br>Abschreibungszeit 30 Jahre<br>Zinssatz 3,0%<br>Annuitätsfaktor a= 0,05102 |   |  |  |
|  | halber Zinssatz   | 0,00 €/a  | 0,00 €/a   | 995,67 €/a   |
| <b>Maschinenteknik</b>   | volle Laufzeit<br>Abschreibungszeit 15 Jahre<br>Zinssatz 3,0%<br>Annuitätsfaktor a= 0,08377 |   |  |  |
|  | halber Zinssatz   | 0,00 €/a  | 0,00 €/a   | 0,00 €/a   |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   |   | <b>0,00 €/a</b>   | <b>0,00 €/a</b>  | <b>995,67 €/a</b>  |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>  | <b>Spez. Grundansätze</b>   |   |  |  |
| <b>Wartung/Reparatur</b>   |   |   |  |  |
| Bautechnik   | 1,00 %/a der Investition  | 0,00 €/a  | 0,00 €/a   | 4.000,00 €/a   |
| Maschinen- und E-MSR-Technik   | 3,00 %/a der Investition  | 0,00 €/a  | 0,00 €/a   | 1.800,00 €/a   |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                     |   | 0,00 €/a  | 0,00 €/a   | 5.800,00 €/a   |
| <b>Personal</b>  | 35,00 €/h   | 156 h/a   | 156 h/a  | 260 h/a  |
|  |   | 5.460,00 €/a  | 5.460,00 €/a   | 9.100,00 €/a   |
| <b>SUMME FESTE<br/>BETRIEBSKOSTEN</b>                                |   | <b>5.460,00 €/a</b>   | <b>5.460,00 €/a</b>  | <b>14.900,00 €/a</b>   |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>  |   | <b>5.460,00 €/a</b>   | <b>5.460,00 €/a</b>  | <b>15.895,67 €/a</b>   |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                       |   |   |  |  |
| Abwasserabgabe aufgrund P<br>(halbierter Satz)                       | 17,90 €/SE  | 3.103 SE/a  | 55.519,24 €/a  | 776 SE/a   |
|  |   |   | 13.879,81 €/a  | 776 SE/a   |
|  |   |   |  | 13.879,81 €/a  |
| Strombedarf für P-Elimination<br>(Fällung, Pumpwerk, Filtration)     | 0,240 €/kWh   | 200 kWh/a   | 48,00 €/a  | 300 kWh/a  |
|  |   |   |  | 72,00 €/a  |
|  |   |   |  | 26.530 kWh/a   |
|  |   |   |  | 6.367,20 €/a   |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                    | 210,00 €/t  | 193,7 t/a   | 40.678,65 €/a  | 431,0 t/a  |
|  |   |   |  | 90.510,32 €/a  |
|  |   |   |  | 195,3 t/a  |
|  |   |   |  | 41.021,08 €/a  |
| Klärschlamm Entsorgung<br>(aus P-Elimination inkl. P in<br>Biomasse) | 60,00 €/t   | 316,6 t/a   | 18.995,51 €/a  | 644,1 t/a  |
|  |   |   |  | 38.643,43 €/a  |
|  |   |   |  | 417,4 t/a  |
|  |   |   |  | 25.043,53 €/a  |
| <b>SUMME<br/>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                             |   |   | <b>115.241,40 €/a</b>  |  |
|  |   |   |  | <b>143.105,55 €/a</b>  |
|  |   |   |  | <b>86.311,62 €/a</b>   |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>  |   |   | <b>120.701,40 €/a</b>  | <b>102.207,29 €/a</b>  |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                       |   | <b>50.000 EW</b>  | <b>2,41 €/EW</b>   | <b>50.000 EW</b>   |
|  |   |   | <b>2,97 €/EW</b>   | <b>50.000 EW</b>   |
|  |   |   |  | <b>2,04 €/EW</b>   |
| <b>Spezifische Kosten €/m³<br/>Schmutzwasser</b>                     | 12.750 m³/d   |   | 0,0389 €/m³  | 0,0479 €/m³  |
|  |   |   |  | 0,0329 €/m³  |
| <b>Spezifische Kosten €/m³<br/>Frischwasser (120 l/(EW*d))</b>       | 6.000 m³/d  |   | 0,0551 €/m³  | 0,0678 €/m³  |
|  |   |   |  | 0,0467 €/m³  |

|  |   | Variante 4.4<br>Anlage 50.000 EW<br>Fällung<br>frachtabh. Steuerung, 2-Punkt | Variante 4.5 a<br>Anlage 50.000 EW<br>Fällung, Tuchfiltration<br>frachtabh. Steuerung, 2-Punkt | Variante 4.5 b<br>Anlage 50.000 EW<br>Fällung, kont. Sandfiltration<br>frachtabh. Steuerung, 2-Punkt |
|--|---|--|--|--|
| Größe der Kläranlage   |   | 50.000 EW  | 50.000 EW  | 50.000 EW  |
| spezifische Schmutzwassermenge                                       |   | 170 l/(EW*d)   | 170 l/(EW*d)   | 170 l/(EW*d)   |
| spezifische Fremdwassermenge   |   | 50%  | 50%  | 50%  |
| Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>                                    |   | 12750 m³/d   | 12750 m³/d   | 12750 m³/d   |
| Biologische P-Elimination  |   |  |  |  |
| β-Wert Fällung   |   | Vorfällung: beta = 1,00<br>Simultanfällung: beta = 2,20                      | Simultanfällung: beta = 1,20<br>Nachfällung (FF): beta = 3,00                                  | Simultanfällung: beta = 1,20<br>Nachfällung (FF): beta = 3,00  |
| P-Ablaufkonzentration  | Betriebsmittelwert<br>ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert | 0,4 mg/l<br>0,5 mg/l Pges<br>0,2 mg/l o-P<br>in 24h-MP                       | 0,15 mg/l<br>0,2 mg/l  | 0,15 mg/l<br>0,2 mg/l  |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                      |   | 1.861,5 kg/a   | 698,1 kg/a   | 698,1 kg/a   |
| P-Fracht für Abwasserabgabe  |   | 2.326,9 kg/a   | 930,8 kg/a   | 930,8 kg/a   |
| Schadeinheiten   | 3,00 kg P/SE  | 775,6 SE/a   | 310,3 SE/a   | 310,3 SE/a   |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                                | zur Verfügung   | 486.484,41 €   | 486.484,41 €   | 486.484,41 €   |
| <b>INVESTITIONEN</b>   |   |  |  |  |
| <b>Planung</b>   | 10%   | 5.500,00 €   | 193.898,42 €   | 296.812,00 €   |
| <b>Bautechnik</b>  |   |  |  |  |
| Bautechnik Fällung   |   | Dosierung vorh. 0,00 €   | Dosierung vorh. 0,00 €   | Dosierung vorh. 0,00 €   |
| Bautechnik Filtration, Pumpwerk                                      |   | 0,00 €   | 555.944,20 €   | 1.028.160,00 €   |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   | 0,00 €   | 0,00 €   | 0,00 €   |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                               |   | 0,00 €   | 555.944,20 €   | 1.028.160,00 €   |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>  |   |  |  |  |
| M- und E-MSR-Technik Fällung   |   | für 2-Punkt-Fällung 55.000,00 €  | für 2-Punkt-Fällung 55.000,00 €  | für 2-Punkt-Fällung 55.000,00 €  |
| M- und E-MSR-Technik Filtration,<br>Pumpwerk                         |   | 0,00 €   | 1.328.040,00 €   | 1.884.960,00 €   |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                             |   | -55.000,00 €   | -486.484,41 €  | -486.484,41 €  |
| Summe M- und E-MSR-Technik   |   | 0,00 €   | 896.555,59 €   | 1.453.475,59 €   |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>   |   | <b>55.000,00 €</b>   | <b>1.938.984,20 €</b>  | <b>2.968.120,00 €</b>  |
| <b>davon nach Verrechnung mit<br/>Abwasserabgabe zu finanzieren</b>  |   | <b>0,00 €</b>  | <b>1.452.499,79 €</b>  | <b>2.481.635,59 €</b>  |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   | Zinssatz 3,0%   |  |  |  |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                      |   |  |  |  |
| Abschreibungszeit 30 Jahre   | volle Laufzeit  |  |  |  |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |  |  |
| Annuitätsfaktor a= 0,05102   |   | 280,61 €/a   | 38.256,42 €/a  | 67.599,09 €/a  |
| <b>Maschinentechnik</b>  |   |  |  |  |
| Abschreibungszeit 15 Jahre   | volle Laufzeit  |  |  |  |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |  |  |
| Annuitätsfaktor a= 0,08377   |   | 0,00 €/a   | 75.101,40 €/a  | 121.752,68 €/a   |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   |   | <b>280,61 €/a</b>  | <b>113.357,81 €/a</b>  | <b>189.351,77 €/a</b>  |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>  | Spez. Grundansätze  |  |  |  |
| <b>Wartung/Reparatur</b>   |   |  |  |  |
| Bautechnik   | 1,00 %/a der Investition  | 0,00 €/a   | 5.559,44 €/a   | 10.281,60 €/a  |
| Maschinen- und E-MSR-Technik   | 3,00 %/a der Investition  | 1.650,00 €/a   | 41.491,20 €/a  | 58.198,80 €/a  |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                     |   | <b>1.650,00 €/a</b>  | <b>47.050,64 €/a</b>   | <b>68.480,40 €/a</b>   |
| <b>Personal</b>  | 35,00 €/h   | 260 h/a 9.100,00 €/a   | 414 h/a 14.504,00 €/a  | 936 h/a 32.760,00 €/a  |
| <b>SUMME FESTE<br/>BETRIEBSKOSTEN</b>                                |   | <b>10.750,00 €/a</b>   | <b>61.554,64 €/a</b>   | <b>101.240,40 €/a</b>  |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>  |   | <b>11.030,61 €/a</b>   | <b>174.912,45 €/a</b>  | <b>290.592,17 €/a</b>  |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                       |   |  |  |  |
| Abwasserabgabe aufgrund P<br>(halbierter Satz)                       | 17,90 €/SE  | 776 SE/a 13.879,81 €/a   | 310 SE/a 5.551,92 €/a  | 310 SE/a 5.551,92 €/a  |
| Strombedarf für P-Elimination<br>(Fällung, Pumpwerk, Filtration)     | 0,240 €/kWh   | 350 kWh/a 84,00 €/a  | 37.914 kWh/a 9.099,29 €/a  | 163.224 kWh/a 39.173,77 €/a  |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                    | 210,00 €/t  | 265,3 t/a 55.717,88 €/a  | 272,3 t/a 57.175,07 €/a  | 272,26 t/a 57.175,07 €/a   |
| Klärschlamm Entsorgung<br>(aus P-Elimination inkl. P in<br>Biomasse) | 60,00 €/t   | 415,4 t/a 24.925,27 €/a  | 523,5 t/a 31.412,81 €/a  | 523,55 t/a 31.412,81 €/a   |
| <b>SUMME<br/>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                             |   | <b>94.606,96 €/a</b>   | <b>103.239,10 €/a</b>  | <b>133.313,58 €/a</b>  |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>  |   | <b>105.637,57 €/a</b>  | <b>278.151,55 €/a</b>  | <b>423.905,75 €/a</b>  |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                       |   | <b>50.000 EW 2,11 €/EW</b>   | <b>50.000 EW 5,56 €/EW</b>   | <b>50.000 EW 8,48 €/EW</b>   |
| <b>Spezifische Kosten €/m³<br/>Schmutzwasser</b>                     | 12.750 m³/d   | <b>0,0340 €/m³</b>   | <b>0,0897 €/m³</b>   | <b>0,1366 €/m³</b>   |
| <b>Spezifische Kosten €/m³<br/>Frischwasser (120 l/(EW*d))</b>       | 6.000 m³/d  | <b>0,0482 €/m³</b>   | <b>0,1270 €/m³</b>   | <b>0,1936 €/m³</b>   |

|  |   | Variante 5.1<br>Anlage 200.000 EW                |                       | Variante 5.2 a<br>Anlage 200.000 EW                              |                       | Variante 5.2 b<br>Anlage 200.000 EW  |                         |
|--|---|--|-----------------------|--|-----------------------|--|-------------------------|
|  |   | Fällung (frachtabh. Steuerung),<br>Bio-P (vorh.) |                       | Fällung (frachtabh. Steuerung),<br>Bio-P (vorh.), Tuchfiltration |                       | Fällung (frachtabh. Steuerung),<br>Bio-P (vorh.), kontinuierl.<br>Sandfiltration |                         |
| Größe der Kläranlage   |   | 200.000 EW                                       |                       | 200.000 EW   |                       | 200.000 EW   |                         |
| spezifische Schmutzwassermenge                                   |   | 200 l/(EW*d)                                     |                       | 200 l/(EW*d)   |                       | 200 l/(EW*d)   |                         |
| spezifische Fremdwassermenge                                     |   | 50%  |                       | 50%  |                       | 50%  |                         |
| Trockenwettermenge Q <sub>r</sub>                                |   | 60000 m³/d                                       |                       | 60000 m³/d   |                       | 60000 m³/d   |                         |
| Biologische P-Elimination  |   | Bio-P  |                       | Bio-P  |                       | Bio-P  |                         |
| β-Wert Fällung   |   | beta = 2,00                                      |                       | Simultanfällung: beta = 1,20<br>Nachfällung (FF): beta = 3,00    |                       | Simultanfällung: beta = 1,20<br>Nachfällung (FF): beta = 3,00                    |                         |
| P-Ablaufkonzentration  | Betriebsmittelwert<br>ggf. zukünftiger<br>Überwachungswert oder<br>erklärter Wert | 0,5 mg/l   |                       | 0,15 mg/l  |                       | 0,15 mg/l  |                         |
|  |   | 1,0 mg/l   |                       | 0,2 mg/l   |                       | 0,2 mg/l   |                         |
| P-Fracht mit Betriebsmittelwert                                  |   | 10.950,0 kg/a                                    |                       | 3.285,0 kg/a   |                       | 3.285,0 kg/a   |                         |
| P-Fracht für Abwasserabgabe                                      |   | 21.900,0 kg/a                                    |                       | 4.380,0 kg/a   |                       | 4.380,0 kg/a   |                         |
| Schadeinheiten   | 3,00 kg P/SE  | 7.300,0 SE/a                                     |                       | 1.460,0 SE/a   |                       | 1.460,0 SE/a   |                         |
| <b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>                            | zur Verfügung   |  | 0,00 €                |  | 1.803.246,00 €        |  | 1.803.246,00 €          |
| <b>INVESTITIONEN</b>   |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| <b>Planung</b>   | 10%   |  | 0,00 €                |  | 495.067,60 €          |  | 1.014.812,00 €          |
| <b>Bautechnik</b>  |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Bautechnik Fällung   |   | Dosierung  | 0,00 €                | Dosierung erwei-<br>tert auf 2-Punkt-<br>E                       | 55.000,00 €           | Dosierung<br>erwei-tert auf 2-<br>Punkte   | 55.000,00 €             |
| Bautechnik Filtration, Pumpwerk                                  |   | vorhanden  |                       | Tuchfiltration   | 1.699.796,00 €        | kont. Sandfiltration   | 3.270.120,00 €          |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                         |   |  | 0,00 €                |  | 0,00 €                |  | 0,00 €                  |
| <b>Summe Bautechnik zu finanzieren</b>                           |   |  | 0,00 €                |  | 1.754.796,00 €        |  | 3.325.120,00 €          |
| <b>M- und E-MSR-Technik</b>                                      |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| M- und E-MSR-Technik Fällung                                     |   |  | 0,00 €                |  | 40.000,00 €           |  | 40.000,00 €             |
| M- und E-MSR-Technik Filtration,<br>Pumpwerk                     |   |  | 0,00 €                |  | 3.155.880,00 €        |  | 6.783.000,00 €          |
| Anteil Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe                         |   |  | 0,00 €                |  | -1.803.246,00 €       |  | -1.803.246,00 €         |
| <b>Summe M- und E-MSR-Technik</b>                                |   |  | 0,00 €                |  | 1.392.634,00 €        |  | 5.019.754,00 €          |
| <b>SUMME INVESTITIONEN</b>                                       |   |  | <b>0,00 €</b>         |  | <b>5.445.743,60 €</b> |  | <b>11.162.932,00 €</b>  |
| davon nach Verrechnung mit<br>Abwasserabgabe zu finanzieren      |   |  | 0,00 €                |  | 3.642.497,60 €        |  | 9.359.686,00 €          |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   | Zinssatz 3,0%   |  |                       |  |                       |  |                         |
| <b>Bautechnik und Umplanung</b>                                  |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Abschreibungszeit 30 Jahre                                       | volle Laufzeit  |  |                       |  |                       |  |                         |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Annuitätsfaktor a= 0,05102                                       |   |  | 0,00 €/a              |  | 114.786,37 €/a        |  | 221.420,12 €/a          |
| <b>Maschinentechnik</b>  |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Abschreibungszeit 15 Jahre                                       | volle Laufzeit  |  |                       |  |                       |  |                         |
| Zinssatz 3,0%  | halber Zinssatz   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Annuitätsfaktor a= 0,08377                                       |   |  | 0,00 €/a              |  | 116.656,19 €/a        |  | 420.487,63 €/a          |
| <b>KAPITALKOSTEN</b>   |   |  | <b>0,00 €/a</b>       |  | <b>231.442,56 €/a</b> |  | <b>641.907,74 €/a</b>   |
| <b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>                                      | Spez. Grundansätze  |  |                       |  |                       |  |                         |
| <b>Wartung/Reparatur</b>   |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Bautechnik   | 1,00 %/a der Investition  |  | 0,00 €/a              |  | 17.547,96 €/a         |  | 33.251,20 €/a           |
| Maschinen- und E-MSR-Technik                                     | 3,00 %/a der Investition  |  | 0,00 €/a              |  | 95.876,40 €/a         |  | 204.690,00 €/a          |
| <b>Summe Wartung / Reparatur</b>                                 |   |  | 0,00 €/a              |  | 113.424,36 €/a        |  | 237.941,20 €/a          |
| <b>Personal</b>  | 35,00 €/h   | 260 h/a  | 9.100,00 €/a          | 646 h/a  | 22.610,00 €/a         | 2.340 h/a  | 81.900,00 €/a           |
| <b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>                                |   |  | <b>9.100,00 €/a</b>   |  | <b>136.034,36 €/a</b> |  | <b>319.841,20 €/a</b>   |
| <b>SUMME FESTE KOSTEN</b>  |   |  | <b>9.100,00 €/a</b>   |  | <b>367.476,92 €/a</b> |  | <b>961.748,94 €/a</b>   |
| <b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                                   |   |  |                       |  |                       |  |                         |
| Abwasserabgabe (halbierter Satz)                                 | 17,90 €/SE  | 7.300 SE/a                                       | 130.633,50 €/a        | 1.460 SE/a   | 26.126,70 €/a         | 1.460 SE/a   | 26.126,70 €/a           |
| Strombedarf für P-Elimination<br>(Fällung, Pumpwerk, Filtration) | 0,240 €/kWh   | 44.300 kWh/a                                     | 10.632,00 €/a         | 147.923 kWh/a  | 35.501,57 €/a         | 453.690 kWh/a  | 108.885,49 €/a          |
| Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)                | 210,00 €/t  | 618,91 t/a                                       | 129.971,74 €/a        | 928,37 t/a   | 194.957,61 €/a        | 928,37 t/a   | 194.957,61 €/a          |
| Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)                              | 60,00 €/t   | 1.445,40 t/a                                     | 86.724,00 €/a         | 1.872,45 t/a   | 112.347,00 €/a        | 1.872,45 t/a   | 112.347,00 €/a          |
| <b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>                             |   |  | <b>357.961,24 €/a</b> |  | <b>368.932,88 €/a</b> |  | <b>442.316,80 €/a</b>   |
| <b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>  |   |  | <b>367.061,24 €/a</b> |  | <b>736.409,80 €/a</b> |  | <b>1.404.065,75 €/a</b> |
| <b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>                                   |   | <b>200.000 EW</b>                                | <b>1,84 €/EW</b>      | <b>200.000 EW</b>  | <b>3,68 €/EW</b>      | <b>200.000 EW</b>  | <b>7,02 €/EW</b>        |
| Spezifische Kosten €/m³<br>Schmutzwasser                         |   |  | 0,0251 €/m³           |  | 0,0504 €/m³           |  | 0,0962 €/m³             |
| Spezifische Kosten €/m³<br>Frischwasser (120 l/(EW*d))           | 24.000 m³/d   |  | 0,0419 €/m³           |  | 0,0841 €/m³           |  | 0,1603 €/m³             |