



# Leitfaden zur Phosphorelimination in Abwasserteichanlagen



Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

# **Leitfaden zur Phosphorelimination in Abwasserteichanlagen**

Wiesbaden, 2018

## Impressum

### **Herausgeber:**

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Rheingastr. 186  
65203 Wiesbaden  
Tel.: 0611 / 6939-0  
vertrieb@hlnug.hessen.de

### **Beauftragung:**

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Mainzer Str. 80  
65189 Wiesbaden  
Tel.: 0611 / 815-1301  
WasserundBoden@umwelt.hessen.de

### **Grundlage des Leitfadens:**

Merkel, S. (April 2017):  
Phosphorelimination in hessischen Abwasserteichkläranlagen:  
Phosphorus removal in hessian lagoon treatment systems.  
Masterarbeit, TU Darmstadt

### **Erarbeitung durch M. Sc. Simone Merkel in Zusammenarbeit mit:**

Karl-Wilhelm Frese, Untere Wasserbehörde, Landkreis Waldeck-Frankenberg  
Michael Kühn, Untere Wasserbehörde, Landkreis Limburg-Weilburg  
Jürgen Steuber, Untere Wasserbehörde, Landkreis Vogelsberg  
Hubertus Pfaff, Regierungspräsidium Gießen, Abteilung Umwelt  
Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen, Technische Hochschule Mittelhessen  
Dr. Björn Michaelis, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Imke Brehmer, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,  
Abteilung Wasser und Boden.  
Beate Zedler, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz,  
Abteilung Wasser und Boden

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche Grundlagen</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Abwasserteichanlagen in Hessen</b> .....	<b>8</b>
3.1	Verfahrenstechnische Abwasserteichanlagentypen .....	8
3.1.1	Belüftete Abwasserteichanlage .....	9
3.1.2	Abwasserteichanlage mit zwischengeschalteter technischer Stufe .....	10
3.2	Identifizierte Abwasserteichanlagen nach dem hessischen Maßnahmenprogramm 2015–2021 .....	10
<b>4</b>	<b>Maßnahmen zur Umsetzung der Phosphorelimination</b> .....	<b>11</b>
4.1	Technische Maßnahmen .....	11
4.1.1	Installation des Fällmittellagers und der Dosierstation .....	11
4.1.2	Wahl der Dosierstelle und Steuerung der Dosierung .....	13
4.1.3	Einmischung des Fällmittels .....	15
4.1.4	Verbesserung der Feststoffabscheidung .....	17
4.2	Betriebliche Maßnahmen .....	17
4.2.1	Analyse der Säurekapazität .....	17
4.2.2	Wahl des Fällmittels .....	18
4.2.3	Erweiterung der Analytik im Ablauf um den Parameter Ortho-Phosphat-Phosphor (PO <sub>4</sub> -P) .....	19
4.2.4	Weitere Optimierung einer bestehenden Anlage zur Phosphorelimination .....	20
4.3	Kostenbetrachtungen .....	20
4.3.1	Varianten für die Kostenbetrachtungen .....	21
4.3.2	Investitionskosten .....	24
4.3.3	Kapitalkosten .....	26
4.3.4	Betriebskosten .....	27
4.3.5	Bewertung der Varianten .....	28

<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>35</b>
6.1	Liste der von den Maßnahmen betroffenen Abwasserteichanlagen in Hessen.....	35
6.2	Hinweise zum Betrieb, zur Wartung und zur Eigenkontrolle der hessischen Abwasserteichanlagen in GK 2.....	37
6.3	Schlammräumung .....	38
6.4	Schlamm Entsorgung .....	38
6.5	Probenahme und -konservierung .....	39
6.5.1	Qualifizierte Stichprobe .....	39
6.5.2	2-h- und 24-h-Mischproben .....	39
6.5.3	Probenkonservierung.....	39
6.5.4	Probenahme-Protokoll .....	40
6.6	Tabellen zu den Kostenbetrachtungen.....	42

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Anzahl der nach dem Verfahrenstyp differenzierten Abwasserteichanlagen (Stand HAA: 30.11.2018).....	9
Tab. 2	Vor- und Nachteile eines festinstallierten Tanks und eines doppelwandigen 1-m <sup>3</sup> -Wechselbehälters (IBC) .....	13
Tab. 3	Varianten für die Kostenbetrachtungen für eine Abwasserteichanlage mit 2500 EW mit einem Fremdwasseranteil von 90 % $Q_{T,d}$ .....	22
Tab. 4	Varianten für die Kostenbetrachtungen für eine Abwasserteichanlage mit 2500 EW mit einem Fremdwasseranteil von 50 % $Q_{T,d}$ .....	22
Tab. 5	Vom hessischen Maßnahmenprogramm 2015–2021 betroffene Abwasserteichanlagen der Größenklasse 2 und 3 (Stand 30.11. 2018).....	35
Tab. 6	Techniken zur Probenkonservierung (DIN EN ISO 5667-3, 2013) .....	40
Tab. 7	Probenahmeprotokoll.....	41
Tab. 8	Kostenbetrachtungen.....	42

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Verfahrensschema einer belüfteten Abwasserteichanlage (nach Großmann [1999]) .....	9
Abb. 2	Verfahrensschema einer Abwasserteichanlage mit zwischengeschalteter technischer Stufe (hier Tauchkörper) (nach Großmann [1999]) .....	10
Abb. 3	Aufteilung der im hessischen MP 2015–2021 aufgeführten Abwasserteichanlagen in die verfahrenstechnischen Anlagentypen (Stand 30.11. 2018).....	11
Abb. 4	Einstieg in die Maßnahmen für Abwasserteichanlagen mit installierter Phosphorelimination .....	12
Abb. 5	Einstieg in die Maßnahmen für Abwasserteichanlagen ohne Phosphorelimination I .....	12
Abb. 6	Wahl der Dosierstelle in belüfteten Abwasserteichanlagen (nach Großmann [1999]) .....	14
Abb. 7	Prozentualer Verlauf der Trinkwasserabgabe eines Tages in einer Landgemeinde (Beispiel) (Mutschmann und Stimmelmayer, 2007) .....	14
Abb. 8	Wahl der Dosierstelle in Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteter technischer Stufe (nach Großmann [1999]) .....	15
Abb. 9	Optionen zur Einmischung des Fällmittels (nach Gleisberg [1988]) .....	15
Abb. 10	Schnitt durch einen statischen Mischer in einer Rohrleitungsstrecke (links) Rührwerk zur Einmischung des Fällmittels (rechts) (Stadtwerke Schlitz).....	16
Abb. 11	Varianten zur Installation einer Tauchwand vor dem Ablauf (Ablaufbauwerk aus Beton mit Tauchwand aus Metall (links), selbstgebaute Tauchwand aus Holz (rechts).....	16
Abb. 12	Im Schönungsteich installierter Oberflächenbelüfter mit Tauchmotor und pilzförmigem Wasserauswurf .....	17
Abb. 13	Jahreskosten und einwohnerspezifische jährliche Kosten für die betrachteten Varianten mit Fremdwasseranteil von 90 % $Q_{T,d}$ .....	29
Abb. 14	Jahreskosten und einwohnerspezifische jährliche Kosten für die betrachteten Varianten mit Fremdwasseranteil von 50 % $Q_{T,d}$ .....	29

## Abkürzungsverzeichnis

<b><math>\beta_{\text{Fäll}}</math></b>	erforderliche, zu dosierende relative Fällmittelmenge bezogen auf den zu fällenden Phosphor [(mol/l)/(mol/l)]
<b>ATA</b>	Abwasserteichanlage
<b><math>B_{\text{d,FM}}</math></b>	im Mittel dosierte absolute Fällmittelmenge pro Tag [g/d]
<b><math>B_{\text{h,FM}}</math></b>	im Mittel dosierte absolute Fällmittelmenge pro Stunde [g/h]
<b>BSB<sub>5</sub></b>	biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
<b>CSB</b>	chemischer Sauerstoffbedarf
<b>EW</b>	Einwohnerwerte
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	Eisen (III)-chlorid
<b>GK</b>	Größenklasse
<b>HD-PE</b>	Hart-Polyethylen (high-density polyethylene)
<b>IBC</b>	Intermediate Bulk Container
<b>MwSt</b>	Mehrwertsteuer
<b>N</b>	Stickstoff
<b>P<sub>ges</sub></b>	Gesamt-Phosphor
<b>PO<sub>4</sub>-P</b>	Ortho-Phosphat-Phosphor
<b>q<sub>F</sub></b>	Fremdwasseranteil am täglichen Trockenwetterabfluss [%]
<b>Q<sub>M</sub></b>	Mischwasserabfluss
<b>Q<sub>T</sub></b>	Trockenwetterabfluss
<b>Q<sub>T,d</sub></b>	täglicher Trockenwetterabfluss [m <sup>3</sup> /d]
<b>SE</b>	Schadeinheit
<b>TR</b>	Trockenrückstand [%]
<b>TS</b>	Trockensubstanz [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>w<sub>S,d</sub></b>	mittlerer täglicher einwohnerspezifischer Abwasseranfall [l/(EW·d)]
<b>WGK</b>	Wassergefährdungsklasse
<b>WSP</b>	Wasserspiegelhöhe

## 1 Zusammenfassung

Mit der Verabschiedung des hessischen Maßnahmenprogramms 2015–2021 zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie sind u.a. Maßnahmen zur Phosphorreduzierung an kommunalen Kläranlagen festgelegt worden. Für Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklasse (GK) 2 und 3 beinhaltet das Maßnahmenprogramm die Reduzierung des Gesamtphosphor-Überwachungswertes auf  $2 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$ . Darüber hinaus soll die Einhaltung eines Jahresmittelwertes von  $1 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$  erreicht werden. Davon sind in der GK 2 auch Abwasserteichanlagen betroffen.

Dieser Leitfaden hat das Ziel, den Betreibern der Abwasserteichanlagen der GK 2 und den zuständigen Wasserbehörden Handlungsempfehlungen zur Implementierung der chemischen Phosphorelimination an Abwasserteichanlagen an die Hand zu geben. Mit diesen Empfehlungen sollen die diesbezüglichen Ziele des Maßnahmenprogrammes erreicht werden.

Aber auch für Betreiber der Abwasserteichanlagen der GK 1 kann dieser Leitfaden einen Anreiz zur Installation der Phosphatfällung bieten, um – neben einer Verminderung des Phosphoreintrages – bspw. auf der Basis eines geringeren, im Bescheid festgelegten Überwachungswertes eine Verminderung der jährlichen Abwasserabgabe für den Parameter  $\text{P}_{\text{ges}}$  zu erzielen.

Bei Abwasserteichanlagen handelt es sich um in Erdbeckenbauweise errichtete Abwasserbehandlungsanlagen mit geringer Technisierung. In Hessen gibt es 152 Abwasserteichanlagen in den GK 1–3, von denen 30 Abwasserteichanlagen bereits mit einer Phosphatfällung ausgestattet sind.

## 2 Rechtliche Grundlagen

Ziel der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist das Erreichen eines guten Zustands der Gewässer bis spätestens 2027 (WRRL, 2000). Zu diesem Zweck sind im hessischen Maßnahmenprogramm (MP) in der zweiten Bewirtschaftungsphase 2015–2021 neue

Mit der Implementierung der Phosphatfällung ist es auch bei den Abwasserteichanlagen möglich, einen Jahresmittelwert von  $1 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$  und einen Überwachungswert von  $2 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$  einzuhalten. Darüber hinaus werden organische Stoffe in die Fällmittelflocken eingebunden, wodurch zusätzlich die CSB-Konzentration reduziert werden kann.

Zur Installation der Phosphatfällung an den Abwasserteichanlagen werden zunächst technische Maßnahmen aufgeführt. Bei der Installation des Fällmitteltanks, der Dosierleitungen und der Dosierstelle sind die zum Schutz der Gewässer aufgestellten rechtlichen Vorgaben der AwSV (2017) zu beachten, da Fällmittel der Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 zugeordnet sind. Die Wahl der Dosierstelle ist vom Aufbau der Abwasserteichanlage abhängig. Der Einmischung des Fällmittels an einer turbulenten Stelle wird der höchste Stellenwert für eine effiziente Fällung zugeschrieben. Um partikulären Phosphor in der Abwasserteichanlage zurückzuhalten, ist die Verbesserung der Feststoffabscheidung durch eine Tauchwand vor dem Ablauf notwendig.

Die anschließenden betrieblichen Maßnahmen umfassen die Analyse der Säurekapazität zur Sicherstellung des Säurepuffers im Gewässer und die Wahl des Fällmittels. Die Erweiterung der Analytik im Ablauf um den Parameter Ortho-Phosphat-Phosphor wird rechtlich zwar nicht gefordert, ist allerdings zu empfehlen, da hierdurch eine wirtschaftliche Dosierung des Fällmittels unterstützt wird. Eine weitere Maßnahme beinhaltet die weitergehende Optimierung einer bestehenden Anlage zur Phosphorelimination.

Anforderungen zur Reduzierung der Phosphoremis-sionen aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen der GK 2–5 festgelegt (HMUKLV, 2015). Für die im Anhang 6 des hessischen MP 2015–2021 aufgeführten Abwasserbehandlungsanlagen der GK

2 und 3 ist künftig mindestens ein Überwachungswert von  $2,0 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$  (bezogen auf die 2-Stunden Mischprobe bzw. qualifizierte Stichprobe) im wasserrechtlichen Erlaubnisbescheid festzulegen. Zudem soll ein Zielwert von  $1,0 \text{ mg P}_{\text{ges}}/\text{l}$  im Jahresmittel (Betriebsmittelwert) in der Eigenkontrolle erreicht werden (HMUKLV, 2015). In der GK 2 sind von dieser Regelung auch viele Abwasserteichanlagen betroffen. Abwasserbehandlungsanlagen der GK 1 haben nach dem MP 2015–2021 hinsichtlich der Phosphorelimination bisher keine weitergehenden Anforderungen zu erfüllen. Bei der Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis ist allerdings § 57 Abs. 1 Nr. 2 Wasserhaushaltsgesetz zu beachten. Hiernach müssen die Abwassereinleitungen u. a. mit den Ge-

wässereigenschaften vereinbar sein. Hieraus können im konkreten Einzelfall auch Anforderungen an den Parameter  $\text{P}_{\text{ges}}$  für Abwasserbehandlungsanlagen der GK 1 resultieren.

In der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV, 2017) sind Regelungen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Anlagen festgelegt. Die Anforderungen dienen dem vorsorgenden Gewässerschutz. Die zur Phosphatfällung eingesetzten Fällmittel werden der Wassergefährdungsklasse 1 zugeordnet (Umweltbundesamt, 2017). Die Anforderungen der AwSV auf die Ausgestaltung der Phosphatfällung an den Abwasserteichanlagen werden in Kap. 4.1.1 genauer erläutert.

## 3 Abwasserteichanlagen in Hessen

### 3.1 Verfahrenstechnische Abwasserteichanlagentypen

Eine Abwasserbehandlungsanlage wird als Abwasserteichanlage definiert, wenn sie, abgesehen von einer Befestigung der Sohle und der Böschungen, in Erdbeckenbauweise errichtet und verfahrenstechnisch als Durchlaufreaktor ausgeführt ist. Die biologische Behandlung des Abwassers findet durch die suspendierte Algen- und Bakterienbiomasse statt. Darüber hinaus können Fische und Wasserpflanzen am biologischen Prozess beteiligt sein (FUHRMANN, 2014; RUDOLPH et al., 2009).

Insgesamt gibt es in Hessen 152 Abwasserteichanlagen, von denen 89 unter die GK 1 und 62 unter die GK 2 fallen sowie eine der GK 3 zuzuordnen ist. Die Auswertung basiert auf der Zuordnung der GK nach Anhang 6 MP 2015–2021. Hierbei sind aus verfahrenstechnischer Sicht sowie unter Berücksichtigung des wasserrechtlichen Vollzuges Kläranlagen, die dem DWA Arbeitsblatt 201 zugeordnet werden können und/oder in deren Einleiteerlaubnis Überwachungswerte für die algenfreie Probe (Abwasserverordnung Anhang 1 Abs. C [3]) eingetragen sind, herangezogen worden.

Verfahrenstechnisch können Abwasserteichanlagen zum einen in unbelüftete und belüftete Abwasserteichanlagen differenziert werden, und zum anderen lassen sich Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteter technischer Stufe gesondert betrachten (Tab. 1). In unbelüfteten Abwasserteichanlagen erfolgt der Sauerstoffeintrag auf natürliche Weise über die Wasseroberfläche und durch die Photosynthese der vorhandenen Algen. Deshalb ist sie von Klima und Witterung und somit auch von der Tages- und Jahreszeit abhängig (BARJENBRUCH und ERLER, 2005). Unbelüftete Abwasserteichanlagen sind daher zum Teil anaerob, haben einen hohen spezifischen Flächenbedarf und werden nur bis zu einer Ausbaugröße von 1 000 EW empfohlen (ARCEIVALA und ASOLEKAR, 2007; DWA, 2005; GROßMANN, 1999). Nachfolgend werden die unbelüfteten Abwasserteichanlagen deshalb nicht weiter betrachtet.

In der von der Phosphorelimination betroffenen GK 2 werden nur belüftete Abwasserteichanlagen und Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteten technischen Stufen (Tropfkörper, Tauchkörper, getauchtes Festbett) eingesetzt, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird.

**Tab. 1:** Anzahl der nach dem Verfahrenstyp differenzierten Abwasserteichanlagen (Stand HAA: 30.11.2018)

Technischer Verfahrenstyp	GK 1*	GK 2*	GK 3*	Summe
unbelüftete Abwasserteiche	4	0	0	4
belüftete Abwasserteiche	42	29	0	71
unbelüftete Abwasserteiche und belüftete Abwasserteiche	7	9	0	16
unbelüftete Abwasserteiche mit zwischengeschalteter technischer Stufe	15	2	0	17
belüftete Abwasserteiche mit zwischengeschalteter technischer Stufe	16	15	1	32
unbelüftete Abwasserteiche und belüftete Abwasserteiche mit zwischengeschalteter technischer Stufe	5	7	0	12
<b>Summe</b>	<b>89</b>	<b>62</b>	<b>1</b>	<b>152**</b>

\* Zuordnung der Größenklassen aus HAA nach Anhang 6 des hessischen Maßnahmenprogramms 2015–2021.

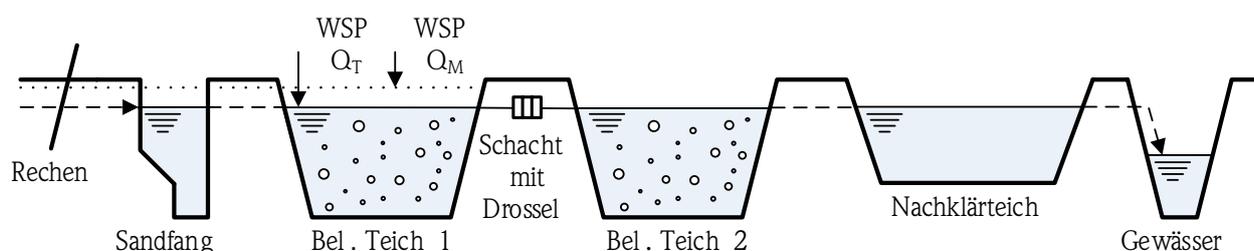
\*\* Davon sind 30 bereits mit einer Phosphatfällung ausgestattet

Im Zulauf aller Abwasserteichanlagen ist ein auf die Anlage bemessener funktionierender Rechen notwendig. Dieser soll Störstoffe wie unästhetische aufschwimmende Kunststoff- und Hygieneartikel in den Teichen vermeiden (DWA, 2005; SCHLEYPEN, 1987) und eine eventuelle landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht zu erschweren. Darüber hinaus ist an einigen Abwasserteichanlagen ein belüfteter Sandfang im Anschluss an den Rechen angeordnet. An Abwasserteichanlagen ohne Sandfang lagert sich der Sand im Zulaufbereich des ersten Teiches ab (Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2015; Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2007; SCHLEYPEN, 1987).

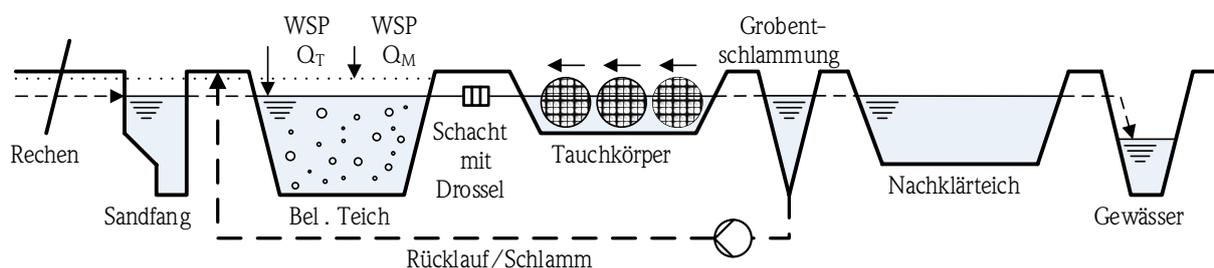
### 3.1.1 Belüftete Abwasserteichanlage

In belüfteten Teichen ist der Sauerstoffeintrag und die Behandlung des Abwassers durch den Einsatz technischer Belüfter für den Sauerstoffeintrag und ei-

ne bessere Durchmischung weitgehend unabhängig von Klima und Witterung (HORAN, 2001). Die höhere Durchmischung sorgt zum einen dafür, dass die Algenkonzentration geringer ist als in unbelüfteten Teichen (MIDDLEBROOKS ET AL., 2005), und zum anderen dafür, dass sich neben freischwimmenden Mikroorganismen auch Flocken ausbilden (GROßMANN, 1999). Die TS-Konzentration steigt mit zunehmendem Energieeintrag durch die Durchmischung und beträgt 0,05–0,3 g TS/l (ARCEIVALA und ASOLEKAR, 2007). Belüftete Abwasserteiche können aufgrund des technischen Sauerstoffeintrags organische Belastungen in Höhe von 112 bis 225 g BSB<sub>5</sub>/(m<sup>2</sup>·d) aufnehmen und behandeln (US EPA, 2011). Die Tiefe der belüfteten Teiche kann 1,5–2,5 m betragen (BARJENBRUCH und ERLER, 2005). Es ergibt sich ein geringerer spezifischer Flächenbedarf als bei unbelüfteten Abwasserteichanlagen, weshalb sie – wenn überhaupt – für Ausbaugrößen von 1 000 bis 5 000 EW empfohlen werden (DWA, 2005).



**Abb. 1:** Verfahrensschema einer belüfteten Abwasserteichanlage (nach GROßMANN [1999])



**Abb. 2:** Verfahrensschema einer Abwasserteichanlage mit zwischengeschalteter technischer Stufe (hier Tauchkörper) (nach GROßMANN [1999])

Ist die Belüftung im Teich ausreichend, so ist der Teich bis in die oberste Schlammschicht aerob (CHABIR et al., 2000). Die darunter liegenden Schichten sind weitgehend anaerob, so dass die sedimentierten organischen Stoffe dort vergleichbar mit unbelüfteten Teichen weiter anaerob abgebaut werden (BECK et al., 1997).

Bei belüfteten Abwasserteichanlagen (siehe Abb. 1) ist i. d. R. kein Absetzteich vorgeschaltet. Das erforderliche Volumen ist auf mindestens zwei technisch belüftete Abwasserteiche aufgeteilt. Um bei Regen den Spülstoß aus dem Kanalnetz aufnehmen zu können, ist der erste Teich i. d. R. als Aufstauteich konzipiert. Die biologische Behandlung durch die Biomasse findet weitgehend in den belüfteten Teichen statt. Deshalb ist dem letzten belüfteten Teich ein Nachklärteich zur Abtrennung der suspendierten Biomasse nachgeschaltet, bevor das behandelte Abwasser dem Gewässer zugeführt wird (DWA, 2005; GROßMANN, 1999).

### 3.1.2 Abwasserteichanlage mit zwischengeschalteter technischer Stufe

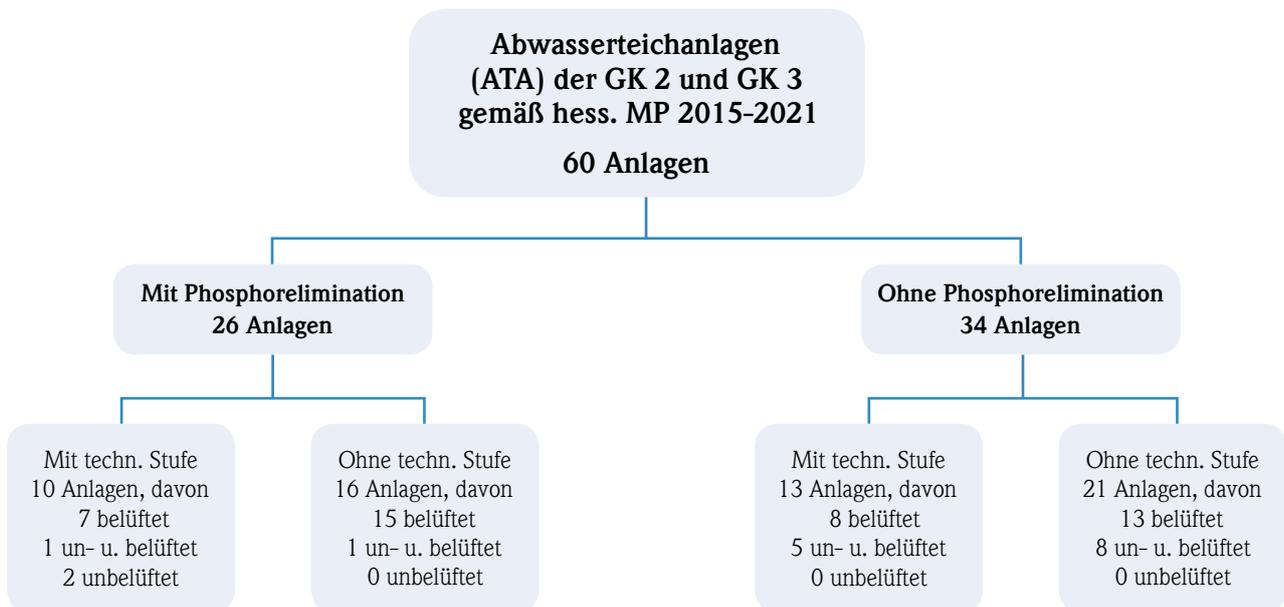
In Abwasserteichanlagen mit einer zwischengeschalteten technischen Stufe (Tropfkörper, Tauchkörper, getauchtem Festbett) (siehe Abb. 2) dient der erste Teich der Vorklärung und dem Ausgleich des Zuflusses. Da reine Absetzteiche oft sehr geruchs-

intensiv sind, wurden die ersten Teiche in der Vergangenheit überwiegend zu belüfteten Teichen umgebaut. Das zwischengeschaltete Biofilm-Verfahren übernimmt den Großteil der biologischen Abwasserreinigung und neben dem Kohlenstoffabbau bei ausreichender Auslegung auch die Nitrifikation. Die aus der technischen Stufe ausgetragenen suspendierten Stoffe werden mittels einer Grobentschlammung wie bspw. einem Lamellenabscheider abgetrennt und zur Stabilisierung in den ersten Teich zurückgeführt. Im nachgeschalteten Nachklärteich werden weitere suspendierte Stoffe abgeschieden (BECK et al., 1997; GROßMANN, 1999).

## 3.2 Identifizierte Abwasserteichanlagen nach dem hessischen Maßnahmenprogramm 2015-2021

In Hessen gibt es insgesamt 62 Abwasserteichanlagen, die der GK 2 zugeordnet sowie eine die der GK 3 zugeordnet sind.

Gemäß dem hessischen Maßnahmenprogramm 2015–2021 (Anhang 6) müssen 60 dieser Anlagen die neuen Phosphoranforderungen erfüllen (HMuKLV, 2015). Eine Auflistung der 60 betroffenen Abwasserteichanlagen kann dem Anhang (Kap. 6.1) entnommen werden. Abb. 3 zeigt die Verteilung der 60 Anlagen in die verfahrenstechnischen Anlagentypen.



**Abb. 3:** Aufteilung der im hessischen MP 2015–2021 aufgeführten Abwasserteichanlagen in die verfahrenstechnischen Anlagentypen (Stand 30.11. 2018)

## 4 Maßnahmen zur Umsetzung der Phosphorelimination

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Umsetzung der Phosphorelimination sowohl für die Abwasserteichanlagen ohne Phosphorelimination als auch für Abwasserteichanlagen mit bereits vorhandener Phosphatfällung aufgeführt. Die Maßnahmen werden in technische Maßnahmen, die Investitionen zur Folge haben, und betriebliche (organisatorische) Maßnahmen, die Betriebskosten zur Folge haben, unterschieden. Mit diesen Maßnahmen werden Varianten für die Kostenbetrachtung zusammengestellt. Anschließend werden die Jahreskosten und die einwohnerspezifischen jährlichen Kosten berechnet.

### Abwasserteichanlagen mit installierter Phosphorelimination

Die Anlagen, die bereits eine Phosphorelimination implementiert haben, folgen zur Optimierung der bestehenden Anlage den in Abb. 4 dargestellten Schritten.

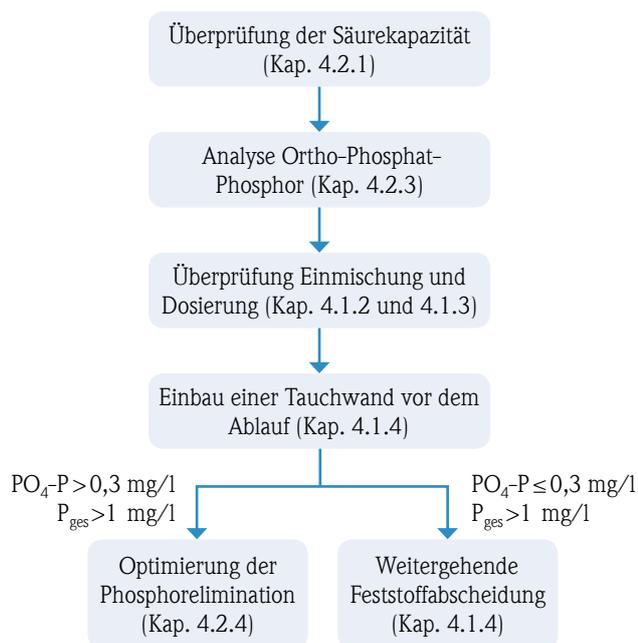
### Abwasserteichanlagen ohne installierte Phosphorelimination

Für Abwasserteichanlagen ohne vorhandene Phosphatfällung kann mit denen in Abb. 5 angegebenen Schritten in die Maßnahmen dieses Kapitels eingestiegen werden.

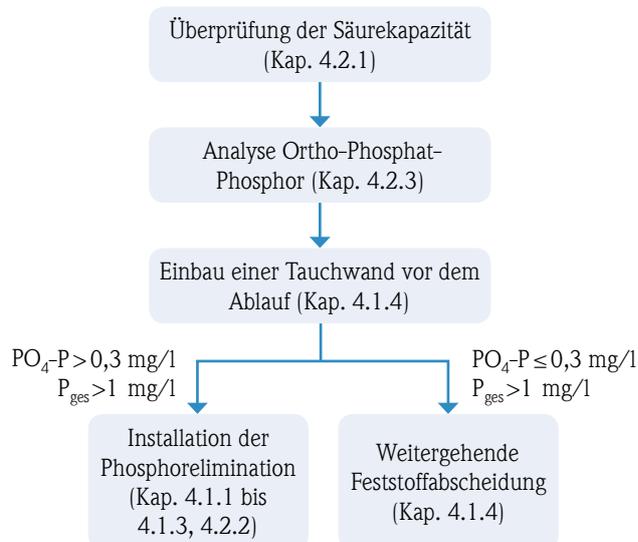
## 4.1 Technische Maßnahmen

### 4.1.1 Installation des Fällmittellagers und der Dosierstation

Die Installation des Fällmittellagers und der Dosierstation umfasst einen Lagerbehälter, die Infrastruktur zur Befüllung und zur Dosierung sowie die nötige Leitungs- und Sicherheitstechnik. Da kleinere An-



**Abb. 4:** Einstieg in die Maßnahmen für Abwasserteichanlagen mit installierter Phosphorelimination<sup>1</sup>



**Abb. 5:** Einstieg in die Maßnahmen für Abwasserteichanlagen ohne Phosphorelimination<sup>1</sup>

lagen meist weit außerhalb von Ortschaften liegen, erweist sich die Infrastruktur bezüglich einer witterungsunabhängigen Erreichbarkeit mit (schweren) Fahrzeugen als problematisch. Darüber hinaus ist das Betriebspersonal nicht permanent auf der Anlage, um bspw. bei einer ausgefallenen Fällmitteldosierung eingreifen zu können. Deshalb ist es wichtig, neben der Wirtschaftlichkeit auf einen möglichst geringen Technisierungsgrad der Installation zu achten und das Fällmittellager und die Dosierstation vor Witterungseinflüssen zu schützen (TRÄNCKNER et al., 2016).

I. d. R. ist eine für die Dosierung nötige Energieversorgung, die zudem für den Betrieb einer Durchflussmesseinrichtung benötigt wird, auf den Anlagen vorhanden. Reicht die vorhandene Kapazität nicht aus, besteht die Möglichkeit, einen Teil der benötigten Energie mittels Solarpanelen und passenden Batteriespeichern zu decken.

Die Lagerung des Fällmittels kann grundsätzlich in einem festinstallierten Tank (bspw. 10 m<sup>3</sup> aus HD-

PE) oder in 1-m<sup>3</sup>-Wechselbehältern (sog. Intermediate Bulk Container – IBC) erfolgen. Der festinstallierte Tank ist so auszulegen, dass die Lagerzeit des Fällmittels nicht überschritten wird (BARJENBRUCH und EXNER, 2009).

Wird nur sehr wenig Fällmittel benötigt, erweist sich der Einsatz von 1-m<sup>3</sup>-IBC oft als wirtschaftlicher. Da beim Einsatz von einwandigen IBC zudem ein Fundament und eine Auffangwanne nötig werden (TRÄNCKNER et al., 2016), sollte die Wirtschaftlichkeit bei der Verwendung von doppelwandigen IBC durch den Betreiber geprüft werden. Der Austausch eines ganzen Containers ist einer Nachfüllung vorzuziehen, da so gesichert ist, dass kein Fällmittel in die Umgebung gelangt (TRÄNCKNER et al., 2016). Doppelwandige 1-m<sup>3</sup>-IBC werden häufig als Mietwechselbehälter vom Fällmittellieferanten bereitgestellt und die Mietkosten über den Fällmittelpreis umgelegt. In Tab. 2 sind die Vor- und Nachteile der beiden Varianten aufgeführt. Anlagenspezifisch erweist sich immer eine der beiden Varianten als wirtschaftlicher.

<sup>1</sup> Ab einer Konzentration des Parameters PO<sub>4</sub>-P von 0,3 mg/l wird zur Erreichung noch geringerer Konzentrationen deutlich mehr Fällmittel benötigt. Dann ist es zweckmäßiger, den partikulären Phosphor weiter abzuscheiden, um geringe Konzentrationen für den Gesamtphosphor zu erzielen.

**Tab. 2:** Vor- und Nachteile eines festinstallierten Tanks und eines doppelwandigen 1-m<sup>3</sup>-Wechselbehälters (IBC)

Festinstallierter HD-PE-Tank		Doppelwandiger 1-m <sup>3</sup> -Wechselbehälter (IBC)	
+	geringere spezifische Fällmittelkosten (durch größere Abnahmemenge)	+	geringere Wartung des Lagerbehälters
-	höhere Investitionskosten	+	bei Lagerung im beheizten Gebäude (bspw. Rechenhaus) keine zusätzliche Beheizung des Behälters nötig
-	Wartung des Lagerbehälters und der Dosiereinrichtung erforderlich	-	höhere spezifische Fällmittelkosten durch geringere Abnahmemenge
		-	zu entrichtende Mietkosten für den doppelwandigen IBC

Bei der Errichtung der Fällmitteldosierung sind die Vorgaben der AwSV (2017) zu erfüllen. Bei der Verwendung von wassergefährdenden Stoffen der Wassergefährdungsklasse 1 sind entsprechende Lageranlagen bis zu einer Größe von > 100 m<sup>3</sup> nicht anzeigepflichtig bei der zuständigen Wasserbehörde. Die materiellen Vorgaben an Anlagen sind vom Betreiber in eigener Verantwortung sicherzustellen.

Beispielhaft werden im Folgenden hierzu Angaben gemacht:

Schlauchleitungen sind druckseitig der Dosierpumpe, von der Dosierstation zur Dosierstelle, in Schutzrohren mit Gefälle zu verlegen. An den tiefsten Stellen der Schutzrohre sind kontrollierbare Leckgeschächte einzuplanen. Schutzrohre sind mindestens 80 cm tief in den Boden einzubinden, um den Frostschutz sicherzustellen.

Die festinstallierten HD-PE-Tanks sind auf Fundamenten zu errichten und in einer Auffangwanne aufzustellen. Die verwendeten Anlagenteile müssen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für die Verwendung des Fällmittels haben.

Bei festinstallierten Anlagen ist ein Abfüllplatz als Anlagenteil zu errichten, der beim Befüllen im Fall einer Betriebsstörung beaufschlagt werden kann und die Rückhaltung des austretenden Volumens gewährleistet.

Um sicherzugehen, dass alle Anforderungen nach AwSV (2017) erfüllt werden, sollte für die genaue Planung der Fällmitteldosier- und -lagereinrichtung ein Sachverständiger eingebunden werden, zumal die Anlage gemäß AwSV (2017) vor Inbetriebnahme einer Sachverständigenprüfung unterzogen werden muss.

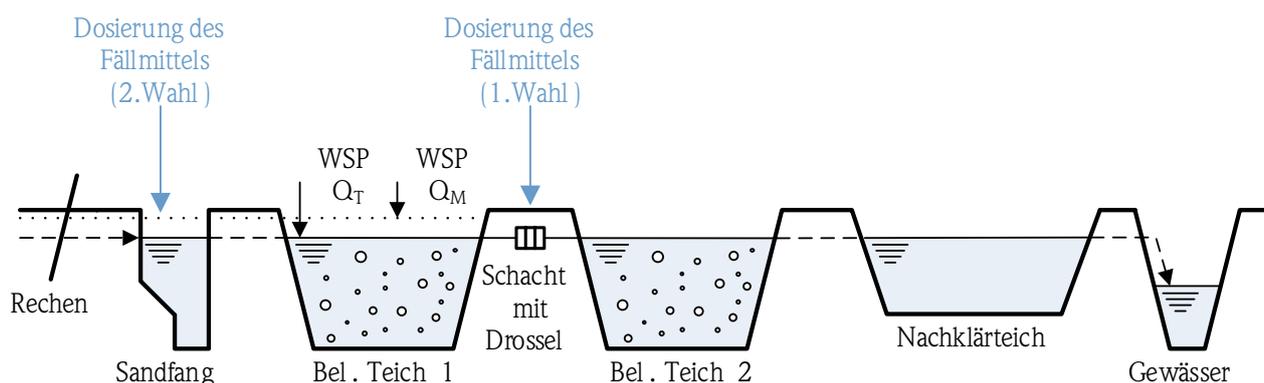
Bevor eine feste Installation der Dosierstelle und der Lagerung gewählt werden, sollte ein einjähriger Testbetrieb mit einem IBC an der gewählten Dosierstelle erfolgen, um die Dosierung einzustellen und alle Schwankungen in den Jahreszeiten beobachten zu können. Erst danach sollte die Wahl zwischen einem festen Tank, die damit verbundene Bemessung und Installation und der Betriebsweise mit doppelwandigen IBC getroffen werden. Hinweise zur Wahl des Fällmittels, zum Umgang mit dem Fällmittel und der Lagerung können Kap. 4.2.2 entnommen werden.

#### 4.1.2 Wahl der Dosierstelle und Steuerung der Dosierung

Bei der Wahl der Dosierstelle auf der Abwasserteichanlage sollte auf den verfahrenstechnischen Aufbau der Anlage geachtet werden. Die Einmischung des Fällmittels muss zwingend in einem Bereich mit hoher Turbulenz erfolgen, um eine gute Verteilung des Fällmittels zu erreichen und die Bildung von Mikrofloken zu unterstützen. Daher sollten möglichst bereits vorhandene turbulente Stellen genutzt werden (Kap. 4.1.3).

#### Belüftete Abwasserteichanlage

Die Dosierung in belüfteten Abwasserteichanlagen (vgl. Abb. 6) sollte im Zulauf zum letzten belüfteten Teich (1. Wahl) vorgenommen werden (BECK et al., 1997). Dies hat den Vorteil, dass der Fällschlamm getrennt vom primären Schlamm anfällt und somit das Risiko einer Rücklösung des chemisch gebundenen Phosphors aus dem abgelagerten Schlamm deutlich reduziert wird (BECK et al., 1997; EICHHOLZ und STROHMEIER, 1981). Wenn der belüftete Teich bis in die oberste Schlammschicht aerob ist, kommt



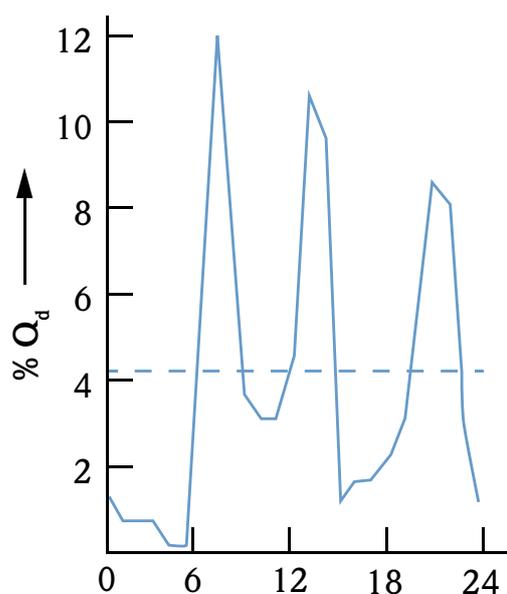
**Abb. 6:** Wahl der Dosierstelle in belüfteten Abwasserteichanlagen (nach GROßMANN [1999])

es aufgrund einer stabilen Eisenhydroxidschicht an der Grenzfläche zwischen Schlamm und Wasser zur Bindung des Phosphors in der Schlammschicht. Dort können aus der anaeroben Zone rückgelöste Phosphationen mit Eisenoxiden reagieren (CHABIR et al., 2000; MELO et al., 2000; PENG et al., 2007; STUMM und Morgan, 2012). An dieser Stelle kann die Dosierung – aus den Erfahrungen der betrieblichen Praxis – konstant erfolgen. Für die Einmischung des Fällmittels sind an dieser Stelle oft turbulente Stellen vorhanden oder können mit sehr wenig Aufwand erzeugt werden (vgl. Kap. 4.1.3). Im Anschluss an den belüfteten Teich, der den Fällschlamm aufnimmt, sollte zur Sedimentation der suspendierten Stoffe ein weiterer Teich nachgeschaltet sein (BALMÉR und VIK, 1978).

Ist keine ausreichend turbulente Stelle (siehe Kap. 4.1.3) vorhanden, kann auch im vorhandenen belüfteten Sandfang (2. Wahl) dosiert werden. Die Dosierung im Zulauf sollte nicht konstant erfolgen, da die Gesamtphosphorfrachten im Tagesgang schwanken. Eine durchflussproportional gesteuerte Dosierung ist aufgrund des häufig hohen Fremdwasseranteils im Zulauf der Abwasserteichanlagen ( $> 50\% Q_{T,d}$ ) und dem deshalb nicht am Durchfluss erkennbaren Tagesgang der Frachten nicht sinnvoll. Darüber hinaus wird der Durchfluss an den Anlagen oft im Ablauf gemessen. Dieser entspricht wegen der Pufferwirkung der großen Teiche aber nicht dem Durchfluss im Zulauf. Eine zeitgesteuerte Dosierung ist in diesen Fällen empfehlenswert. Der zeitliche Verlauf der Dosiermengen kann durch die Durchführung einer Messkampagne im Zulauf über mehrere Trockenwettertage ermittelt werden. Die Probenahme sollte als

2-h-Mischprobe erfolgen. Die zugeordnete Durchflussmenge ist zu erfassen. Aus der Konzentration und der Durchflussmenge errechnet sich die Fracht.

Ebenfalls empfehlenswert ist die Anpassung der Dosierung an das Profil des Trinkwasserverbrauchs, das beim örtlichen Trinkwasserversorger angefragt werden kann. In Abb. 7 ist darüber hinaus ein Profil des Trinkwasserverbrauchs einer ländlichen Gemeinde dargestellt, das zum Vergleich der Profile untereinander und zur direkten Anwendung dienen kann.



**Abb. 7:** Prozentualer Verlauf der Trinkwasserabgabe eines Tages in einer Landgemeinde (Beispiel) (MUTSCHMANN und STIMMELMAYR, 2007)

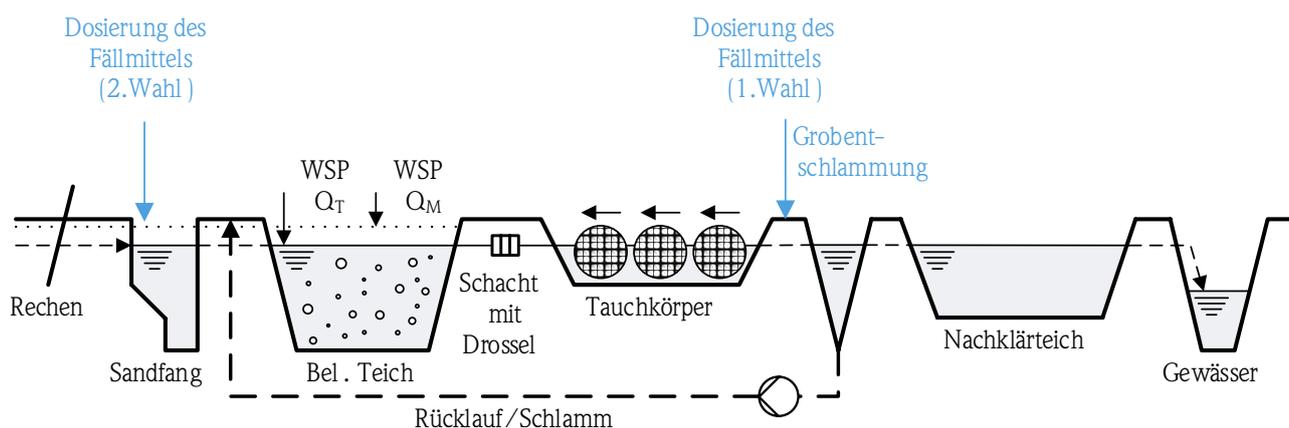


Abb. 8: Wahl der Dosierstelle in Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteter technischer Stufe (nach GROßMANN [1999])

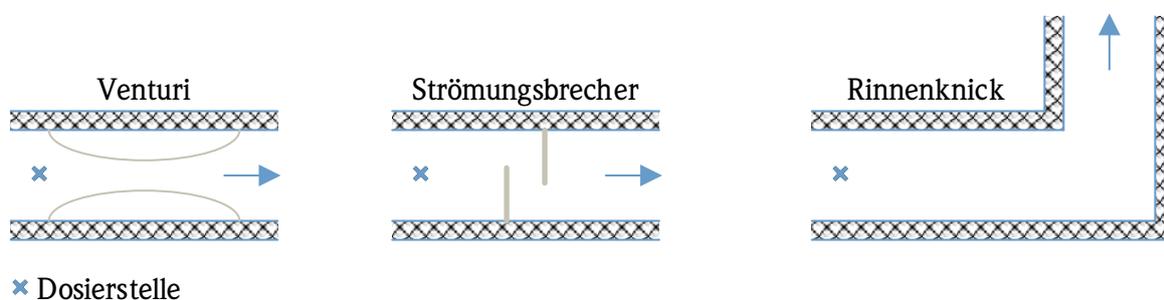


Abb. 9: Optionen zur Einmischung des Fällmittels (nach GLEISBERG (1988))

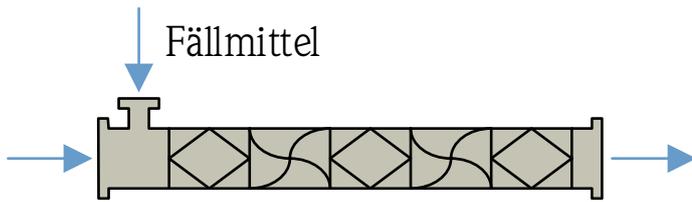
### Abwasserteichanlage mit zwischen-geschalteter technischer Stufe

In Abwasserteichanlagen mit einer zwischengeschalteten technischen Stufe (vgl. Abb. 8) ist eine Dosierung im Ablauf der technischen Stufe bzw. im Zulauf zur Zwischenklärung/Grobentschlammung (1. Wahl) empfehlenswert. Das abgetrennte Schlamm-Wasser-Gemisch ist in den ersten belüfteten Teich zurückzuführen, um den Schlamm dort aerob zu stabilisieren (BECK et al., 1997; RAMESEDER und STOCKBAUER, 2015). So steht der Biomasse im ersten Teich und in der technischen Stufe immer ausreichend Phosphor durch den Zulauf zur Verfügung, das Fällmittel wird weitestgehend ausgenutzt und das Risiko einer Rücklösung minimiert. Wenn der belüftete Teich bis in die oberste Schlammschicht aerob ist, kommt es aufgrund einer stabilen Eisenhydroxid-schicht an der Grenzfläche zwischen Schlamm und Wasser zur Bindung des Phosphors in der Schlammschicht. Dort können aus der anaeroben Zonen rückgelöste Phosphationen mit Eisenoxiden reagieren

(CHABIR et al., 2000; MELO et al., 2000; PENG et al., 2007; STUMM und MORGAN, 2012). Darüber hinaus kann die Dosierung an dieser Stelle, aus den Erfahrungen der betrieblichen Praxis, konstant erfolgen. Ist keine ausreichend turbulente Stelle (siehe Kap. 4.1.3) vorhanden, kann auch im vorhandenen belüfteten Sandfang (2. Wahl) dosiert werden. Die genaue Ausführung kann dem Abschnitt **Belüftete Abwasserteichanlage** dieses Kapitels entnommen werden.

### 4.1.3 Einmischung des Fällmittels

Die Einmischung des Fällmittels ist von hoher Bedeutung für die Effizienz des Fällungsprozesses. Abb. 9 zeigt Optionen zur Einmischung des Fällmittels. Die Metallionen müssen in kürzester Zeit mit den Phosphationen in Kontakt kommen, um direkt reagieren zu können (BEVER, 2002; PÖPEL, 1991). Die Stelle der Einmischung des Fällmittels muss deshalb eine turbulente Strömung zu allen Durchflusszuständen (sowohl bei Regenwetter als auch bei Trockenwetter) aufweisen.



**Abb. 10:** Schnitt durch einen statischen Mischer in einer Rohrleitungsstrecke (links); Rührwerk zur Einmischung des Fällmittels (rechts) (Stadtwerke Schlitz)

Die DWA (2011) empfiehlt eine Leistungsdichte von 100 bis 150 W/m<sup>3</sup> für die Einmischung. Nach SZABÓ et al. (2008) sind 10–20 Sekunden nach der Dosierung 90% der Phosphationen an die Metallionen gebunden. Dennoch ist eine Aufenthaltszeit von etwa einer Minute in der Mischzone zu empfehlen (DWA, 2011).

Um eine ausreichende Einmischung zu erreichen, ist bei einer Dosierung im Zulauf zum letzten belüfteten Teich bzw. im Zulauf zur Grobentschlammung vor der Rückführung des Wasser-Schlamm-Gemisches in den ersten belüfteten Teich eine der nachfolgend aufgezählten Stellen nötig (BARJENBRUCH und EXNER, 2009; FIRK, 1991; GLEISBERG, 1988):

- hydraulischer Wechselsprung
- Querschnittsveränderung
- Toskammer nach einem Wehr
- Absturz
- Zusammenführung von Abwasserteilströmen
- Rührwerk höherer Drehzahl (siehe Abb. 10 [rechts])
- Belüfter
- Blende
- Rohrleitung mit statischem Mischer (in einer Rohrleitungsstrecke eingebrachter Einbau zur Erzeugung einer turbulenten Strömung, siehe Abb. 10 [links])
- Schneckenpumpwerk
- druckseitige Turbulenz einer Pumpe



**Abb. 11:** Varianten zur Installation einer Tauchwand vor dem Ablauf (Ablaufbauwerk aus Beton mit Tauchwand aus Metall (links), selbstgebaute Tauchwand aus Holz (rechts))

Darüber hinaus sollte von einer Dosierung in einem breiten Gerinne abgesehen werden.

Ist eine natürlich turbulente Stelle nicht gegeben, sollte ein konstant, zeitgleich mit der Dosierung des Fällmittels betriebenes kleines Rührwerk oder kleiner Belüfter im Zulauf zum letzten belüfteten Teich (bzw. im Zulauf zur Grobentschlammung vor Rückführung des Wasser-Schlamm-Gemisches in den ersten belüfteten Teich) in einen bereits vorhandenen Schacht eingebaut werden. Ist eine Rohrleitung vorhanden, kann dort ggf. auch ein statischer Mischer eingebaut werden.

Wenn eine solche turbulente Stelle nicht gegeben ist, kann bei einem vorhandenen belüfteten Sandfang auch direkt im Sandfang bzw. im Zulauf des Sandfangs dosiert werden. In diesem Fall ist die Sandfangbelüftung über den Bedarf des Sandfangs hinaus immer zu Zeiten der Dosierung zu betreiben.

Mit dem Fällmittel in Kontakt kommende Anlagenteile sollten immer korrosionsbeständig ausgeführt sein.

#### 4.1.4 Verbesserung der Feststoffabscheidung

Vielfach festgestellte Wasserlinsen oder andere Schwimmpflanzen auf dem Schönungsteich tragen, wenn sie in den Ablauf gelangen, zu einer Erhöhung des partikulären Phosphors und somit auch zu erhöhten Gesamtphosphorkonzentrationen bei. Deshalb ist es auch über die eigentliche Phosphorelimination hinaus nötig, eine Tauchwand vor dem Ablauf anzubringen, um den Abfluss (und mit diesem auch die Schwimmpflanzen) nicht direkt von der Oberfläche abzuziehen. Dieser vor dem Ablauf abgetrennte Bereich ist darüber hinaus bei der werktäglichen Kontrolle der Anlage (siehe Anhang, Kap. 6.2) von Schwimmpflanzen zu befreien und die Tauchwand mit einem Besen zu säubern. In Abb. 11 sind zwei Varianten einer solchen Tauchwand aufgezeigt, wobei in beiden Beispielen der Bereich hinter den abgebildeten Tauchwänden nur unzureichend gereinigt ist.

Ist der einzuhaltende Überwachungswert und der Jahresmittelwert im Anschluss an diese Maßnahme aufgrund des partikulären Phosphors noch immer nicht erreichbar, kann die Ursache auch darin liegen, dass ein Abtrieb von Bakterien- oder Algenbiomasse vorliegt. In diesem Fall sind weitergehende



**Abb. 12:** Im Schönungsteich installierter Oberflächenbelüfter mit Tauchmotor und pilzförmigem Wasserauswurf

naturnahe und wartungsarme Maßnahmen zur Feststoffabscheidung zu ergreifen (z. B. Bodenpassagen, Steinfilter). Bisher wurde von Anlagenbetreibern mit implementierter Phosphorelimination nicht von einem erhöhten Abtrieb von Biomasse berichtet, so dass dieser nur in Einzelfällen zu erwarten ist.

An dieser Stelle sei zudem darauf hingewiesen, dass im Schönungsteich installierte Oberflächenbelüfter mit Tauchmotor und pilzförmigem Wasserauswurf (siehe Abb. 12) zwar einerseits dazu beitragen, dass bei einer Bedeckung des Schönungsteiches mit Wasserlinsen mehr Sauerstoff eingetragen wird und somit auch eine mögliche Rücklösung reduziert wird. Andererseits kann die dadurch erzielte Turbulenz aber auch dafür sorgen, dass sich die Biomasse nicht so gut im Schönungsteich absetzen kann und vermehrt in den Ablauf ausgetragen wird. Daher wird empfohlen, auf einen Oberflächenbelüfter zu verzichten.

## 4.2 Betriebliche Maßnahmen

### 4.2.1 Analyse der Säurekapazität

Durch die Dosierung von Metallsalzen zur Fällung wird die Säurekapazität des Abwassers (zusätzlich zur Nitrifikation) vermindert. Allerdings sollte die Säurekapazität im Ablauf der Anlage 1,5 mmol/l nicht unterschreiten, um den Prozessen im anschließenden Gewässer einen ausreichenden Säurepuffer zu bieten (DWA, 2016).

$$S_{KS,AB} = S_{KS,ZU} - [0,07 \cdot (S_{NH_4,ZU} - S_{NH_4,AB} + S_{NO_3,AB} - S_{NO_3,ZU}) + 0,06 \cdot S_{Fe^{3+}} + 0,11 \cdot S_{Al^{3+}} - 0,03 \cdot X_{P,Fäll}]$$

$S_{NH_4,ZU}$	Ammoniumstickstoff-Konzentration im Zulauf des ersten Teiches (in der filtrierten Probe)	[mg/l]
$S_{NH_4,AB}$	Ammoniumstickstoff-Konzentration im Ablauf des letzten Teiches (in der filtrierten Probe)	[mg/l]
$S_{NO_3,ZU}$	Nitratstickstoff-Konzentration im Zulauf des ersten Teiches (in der filtrierten Probe)	[mg/l]
$S_{NO_3,AB}$	Nitratstickstoff-Konzentration im Ablauf des letzten Teiches (in der filtrierten Probe)	[mg/l]
$S_{KS,ZU}$	Säurekapazität im Zulauf des ersten Teiches	[mmol/l]
$S_{KS,AB}$	Säurekapazität im Ablauf des letzten Teiches	[mmol/l]
$S_{Fe^{3+}}$	Konzentration des eingesetzten dreiwertigen Eisens $Fe^{3+}$	[mg/l]
$S_{Al^{3+}}$	Konzentration des eingesetzten dreiwertigen Aluminiums $Al^{3+}$	[mg/l]
$X_{P,Fäll}$	zu fällender Phosphor	[mg/l]

Bei Abwasserteichanlagen mit einem meist hohen Fremdwasseranteil im Zulauf ist es meist nicht möglich, von der Trinkwasserhärte auf die Säurekapazität zu schließen. Daher ist es nötig, eine qualifizierte Stichprobe bei Trockenwetter im Zulauf des ersten Teiches zu entnehmen und die Säurekapazität analytisch zu bestimmen. Die Säurekapazität kann durch Küvettentests im eigenen Labor analysiert werden oder bei einem Labor in Auftrag gegeben werden. Wurde die Säurekapazität analysiert, kann mit der obigen Formel in Anlehnung an das DWA-Arbeitsblatt A 131 (2016) die Säurekapazität im Ablauf des letzten Teiches ermittelt werden.

Wird die Säurekapazität von 1,5 mmol/l im Ablauf unterschritten, ist neben der Dosierung des Fällmittels auch die Dosierung eines basischen Neutralisationsmittels nötig (DWA, 2016). Bei einer Erhöhung der Fällmitteldosierung sollte die Berechnung überprüft werden, um eine ausreichende Säurekapazität im Ablauf gewährleisten zu können.

#### 4.2.2 Wahl des Fällmittels

Die Wahl des Fällmittels kann unabhängig von der verfahrenstechnischen Ausführung der Anlage getroffen werden. Als Fällmittel können alle gängigen flüssigen Eisen(III)-, Aluminium(III)- und Polyaluminiumprodukte eingesetzt werden. Bisher sind an den acht untersuchten Abwasserteichanlagen, die verschiedene Fällmittel einsetzen, keine Probleme aufgetreten.

Eisen(II)produkte müssen in aerobem Milieu zu Eisen(III) oxidiert werden und können daher in technischen Abwasserbehandlungsanlagen nur bei

Dosierung in belüfteten Belebungsbecken eingesetzt werden (HENZE, 2010; PÖPEL, 1991). In den Abwasserteichen ist für diese Oxidation nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden, weshalb der Einsatz von Eisen(II)produkten nicht zu empfehlen ist (EICHHOLZ und STROHMEIER, 1981).

Beim Einsatz von flüssigen Eisen(III)- und Aluminium(III)produkten ist auf die korrosive Wirkung der Produkte zu achten (BRATBY, 2006; PARSONS und BERRY, 2004). Die mit dem Fällmittel in Kontakt kommenden Anlagenteile sollten deshalb aus korrosionsbeständigem Material (bspw. PE) gefertigt sein.

Polyaluminiumprodukte sind einerseits deutlich teurer als Eisen(III)- und Aluminium(III)produkte, bringen andererseits aber den Vorteil eines geringeren Verbrauchs an Metallionen durch die vorherige Polymerisation mit sich, da nach der Dosierung weniger Metallhydroxide gebildet werden (HENZE, 2010; PÖPEL, 1991). Darüber hinaus sind die Temperaturanfälligkeit des Fällmittels, der Schlammfall und die Abgabe von Chlorid- und Sulfationen und somit letztlich die Aufsalzung des Wassers beim Einsatz von Polyaluminiumprodukten geringer (BRATBY, 2006).

Auf der Grundlage von Erfahrungen mit zwei hessischen Teichanlagen, die bereits den künftigen Jahresmittelwert von 1 mg  $P_{ges}$ /l einhalten, lässt sich eine erforderliche relative Fällmittelmenge  $\beta_{Fäll}$  von 2,6 bis 3,5 ableiten. Allerdings wurde an diesen Anlagen bisher keine Optimierung des Fällmitteleinsatzes durch die Analyse des Ortho-Phosphat-Phosphors und eine daran angepasste Dosierung (siehe Kap. 4.2.4) durchgeführt. Zudem konnten die Werte aus-

$$B_{d,FM} = (C_{P,Z} - C_{P,aM,AN} - X_{P,BM}) \cdot \beta_{Fall} \cdot \frac{Q_{T,d}}{\frac{31}{55,8} \cdot WS_{Fe} + \frac{31}{27} \cdot WS_{Al}}$$

$B_{d,FM}$	Zu dosierende absolute tägliche Fällmittelmenge	[g Fällmittel/d]
$C_{P,Z}$	Konzentration des Phosphors im Zulauf	[mg/l]
$C_{P,aM,AN}$	Konzentration des Phosphors im Ablauf, Jahresmittelwert (Betriebsmittelwert)	[mg/l]
$X_{P,BM}$	P-Einbindung in die Biomasse (0,5 bis 1,0 % der Konzentration des BSB <sub>5</sub> im Zulauf)	[mg/l]
$\beta_{Fall}$	Relative Fällmittelmenge	[-]
$Q_{T,d}$	Tägliche Abwassermenge bei Trockenwetter	[m <sup>3</sup> /d]
$WS_{Fe}$	Eisen-Wirksamkeit des Fällmittels	[kg Fe/kg Fällmittel]
$WS_{Al}$	Aluminium-Wirksamkeit des Fällmittels	[kg Al/kg Fällmittel]

schließlich über die jährlich eingesetzte Fällmittelmenge ermittelt werden. Deshalb ist es möglich, dass auch mit einem geringeren Fällmitteleinsatz der Jahresmittelwert von 1 mg P<sub>ges</sub>/l erreicht werden kann. Die  $\beta_{Fall}$ -Werte anderer, nicht naturnah errichteter Belebungsanlagen sind – wegen möglicher Rücklösungen in den Abwasserteichanlagen – nicht direkt mit den oben genannten Werten vergleichbar. Es ist nicht davon auszugehen, dass durch eine Optimierung der Phosphorelimination die niedrigen  $\beta_{Fall}$ -Werte von anderen technischen Abwasserbehandlungsanlagen erreicht werden können.

Mit der obigen Formel kann der tägliche Fällmittelbedarf nach DWA (2011) berechnet werden. Aufgrund der geringeren Trockensubstanzgehalte in den Teichen und der i.d.R. nicht stattfindenden Nitrifikation ist von einem geringeren Einbau des Phosphors in die Biomasse auszugehen als in technischen Abwasserbehandlungsanlagen (bspw. Belebungsanlagen). Der Einbau in die Biomasse kann im Mittel mit 0,5–1,0% der Konzentration des BSB<sub>5</sub> im Zulauf der Abwasserteichanlage angenommen werden.

Bei der Auslegung der Dosierpumpe sollten bei den Anlagen der GK 2 mindestens die oben genannten  $\beta_{Fall}$ -Werte zur Abdeckung des (stündlichen) Spitzenbedarfs  $B_{h,FM}$  und deutlich geringere  $\beta_{Fall}$ -Werte (und/oder die Nachtbelastung) zur Abdeckung des Minimalbedarfs (bspw. nachts) angesetzt werden. Die Auslegung ist in Hinblick auf den Jahresmittelwert von 1 mg P<sub>ges</sub>/l durchzuführen.

Bei der Lagerung des Fällmittels und beim Umgang mit diesen wassergefährdenden Stoffen sind die Be-

stimmungen der AwSV (2017) zu beachten (vgl. Kap. 4.1.1). In den Sicherheitsdatenblättern der Fällmittel sind die jeweils einzuhaltenden Sicherheits- und Arbeitsschutzmaßnahmen beschrieben.

### 4.2.3 Erweiterung der Analytik im Ablauf um den Parameter Ortho-Phosphat-Phosphor (PO<sub>4</sub>-P)

Probenahmen an vier Abwasserteichanlagen zeigten, dass die laut EKVO (2017) vorgeschriebene wöchentliche Analytik des Gesamtposphors im Ablauf einer Abwasserbehandlungsanlage der Größenklasse 2 zur Kontrolle der Fällmitteldosierung nicht ausreicht. Wenn eine Konzentration des Gesamtposphors im Ablauf analysiert wird, die über dem einzuhaltenden Ablaufwert liegt, wird in der Regel mehr Fällmittel dosiert ohne zu überprüfen, ob die erhöhte Konzentration auf den partikulären Phosphor oder den Ortho-Phosphat-Phosphor zurückzuführen ist. Nur bei zu hohen Konzentrationen des Ortho-Phosphat-Phosphors ist eine Erhöhung der Fällmittelmenge wirksam. Partikulärer Phosphor kann durch eine höhere Fällmitteldosierung nicht weiter reduziert werden.

Deshalb wird neben der wöchentlichen Analytik des Gesamtposphors im Ablauf eine Bestimmung des Ortho-Phosphat-Phosphors dringlich empfohlen. Diese sollte vor allem in der Einfahrphase und bei starken Schwankungen der Ablaufkonzentrationen dreimal wöchentlich im Rahmen eines betrieblichen Messprogrammes vorgenommen werden, um stabile Ablaufkonzentrationen zu erreichen und zudem

den Fällmittelbedarf der Anlage zu optimieren. Im Rahmen des Messprogrammes sollte auch der Zulauf analysiert werden. Bei stabilen Konzentrationen im Ablauf kann die Häufigkeit auf einmal wöchentlich reduziert werden.

Die eingesetzte Menge des Fällmittels pro Jahr ist nach den Vorgaben des Anhangs 3 EKVO (2017) im Betriebstagebuch zu dokumentieren und über den Eigenkontrollbericht der Wasserbehörde zu berichten. Darüber hinaus wird empfohlen, auch die eingestellte Dosiermenge des Fällmittels (möglichst in l/h) im Betriebstagebuch zu dokumentieren.

Die ermittelten Konzentrationen des Ortho-Phosphat-Phosphors sind ebenfalls im Betriebstagebuch zu dokumentieren und über den Eigenkontrollbericht der Wasserbehörde zu berichten, soweit dieser Parameter im wasserrechtlichen Erlaubnisbescheid begrenzt ist oder die Verpflichtung zur Messung dieses Parameters im Bescheid vorgegeben ist. Sollte dies nicht der Fall sein (da weder nach der EKVO noch nach dem hessischen MP 2015–2021 gefordert), wird dennoch eine entsprechende Dokumentation im Betriebstagebuch angeraten. Dies unterstützt die Optimierung des Fällmitteleinsatzes, gibt anderen Kolleginnen und Kollegen des Betriebspersonals einen schnellen Einblick in die Dosiereinstellungen und ermöglicht die Entwicklung eines genauen Dosierplans.

Die mit dieser Maßnahme verbundenen Betriebskosten für die Analyse können Kap. 4.3.4 entnommen werden.

#### **4.2.4 Weitere Optimierung einer bestehenden Anlage zur Phosphorelimination**

Bei der Optimierung einer bestehenden Anlage zur Phosphorelimination sollte zunächst die Dosierung und Einmischung gemäß Abb. 4 durch die in den Kap. 4.1.2, 4.1.3 und 4.1.4 gegebenen Hinweise überprüft werden. Zudem ist nach Kap. 4.2.1 die Säurekapazität zu überprüfen und nach Kap. 4.2.3 die Er-

weiterung der Analytik im Ablauf um den Parameter Ortho-Phosphat-Phosphor ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) einzuführen.

Konnte durch die Überprüfung der Dosierung und Einmischung des eingesetzten Fällmittels keine Verbesserung der Ablaufwerte erzielt werden und ist die zu hohe Gesamtposphorkonzentration der Analytik zufolge auf den partikulären Phosphor zurückzuführen ( $\text{PO}_4\text{-P} \leq 0,3 \text{ mg/l}$ ), sollte gemäß Abb. 4 nach Kap. 4.1.4 (Verbesserung der Feststoffabscheidung) vorgegangen werden. Ist die erhöhte Gesamtposphorkonzentration auf den gelösten Anteil ( $\text{PO}_4\text{-P} > 0,3 \text{ mg/l}$ ) zurückzuführen, kann es hierfür zwei Ursachen geben, denen wie folgt nachgegangen werden sollte.

Zum einen kann es sich um eine mögliche Rücklösung des bereits chemisch gebundenen Ortho-Phosphat-Phosphors aus dem abgesetzten Schlamm handeln. Dies tritt auf, wenn die oberste Schlammschicht anaeroben Verhältnissen ausgesetzt wird. In diesem Fall ist zunächst zu überprüfen, ob eine Teichräumung vorgenommen werden muss. Andernfalls sind eine Erhöhung der Belüftung und somit ein vermehrter Eintrag von Sauerstoff in die Teiche empfehlenswert.

Zum anderen kann es sein, dass eine noch nicht ausreichende Menge an Fällmitteln dosiert wird, um das gesamte Ortho-Phosphat-Phosphor zu fällen und in den Schlamm zu überführen. In diesem Fall hilft ausschließlich eine Erhöhung der Fällmittelmenge. Dies sollte allerdings der letzte Schritt in der Optimierung der Fällung sein, da mit diesem Schritt zusätzliche Fällmittelkosten verbunden sind.

### **4.3 Kostenbetrachtungen**

Die Durchführung der Kostenbetrachtung erfolgt als statische Betrachtung<sup>2</sup> der Jahreskosten nach den „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)“ der DWA (2012) und in Anlehnung an die in der „Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus

<sup>2</sup> Bei der statischen Betrachtung wird im Gegensatz zur dynamischen Betrachtung der zeitlich unterschiedliche Anfall der Kosten durch Auf- bzw. Abzinsung nicht berücksichtigt. Eine dynamische Kostenbetrachtung würde die Vorgabe verschiedener Kostensteigerungen bei den verschiedenen Kostenanteilen bedingen. Darauf kann verzichtet werden, wenn für alle Kosten (z.B. Energie, Personal, Chemikalien) gleiche Kostensteigerungen angenommen werden. Es besteht dadurch kein grundsätzlicher Unterschied zwischen einer dynamischen Betrachtung nach Projektkostenbarwerten und einer rein statischen Betrachtung bezogen auf den Zeitpunkt 0.

kommunalen Kläranlagen“ vorangegangene Kostenbetrachtung (THEILEN, 2011). In dem vorliegenden Leitfaden werden im Gegensatz zur o. g. Arbeitshilfe keine Aussagen zur Ermittlung der Abwasserabgabe und zur Verrechnung von Investitionen mit der Abwasserabgabe vorgenommen.

Die Angaben zu den Investitions- und Betriebskosten wurden im August 2018 von verschiedenen Unternehmen zur Verfügung gestellt. Es sind jeweils die Bruttokosten inkl. der gesetzlichen Mehrwertsteuer von derzeit 19 % angegeben. Bei der Kostenbetrachtung werden verschiedene Fälle unterschieden. Allerdings stellen die getroffenen Annahmen und Einzelfallbetrachtungen nur Anhaltspunkte dar. Da die Kosten i. d. R. von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, ist bei der Implementierung der Phosphorelimination an einer Abwasserteichanlage eine statische Betrachtung der Jahreskosten vorzunehmen.

### 4.3.1 Varianten für die Kostenbetrachtungen

Die Kostenbetrachtung wird für die Abwasserteichanlagen durchgeführt, welche bisher noch keine Phosphatfällung installiert haben. Gegenübergestellt werden die Kosten des Ist-Zustandes.

Für die Kostenbetrachtung werden Abwasserteichanlagen mit sehr hohem Fremdwasseranteil (90 %  $Q_{T,d}$ ) den Abwasserteichanlagen mit mittlerem Fremdwasseranteil (50 %  $Q_{T,d}$ ) gegenübergestellt, da der Fremdwasseranteil einen Einfluss auf die Menge des erforderlichen Fällmittels hat. Die Fremdwasseranteile der hessischen Abwasserteichanlagen liegen i. d. R. in diesem Bereich.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die im Anhang 1 AbwV als Konzentrationswerte festgelegten Anforderungen nicht entgegen dem Stand der Technik durch Verdünnung erreicht werden dürfen. Von einer Verdünnung entgegen dem Stand der Technik ist bei einem Fremdwasseranteil von mehr als 50 % des Trockenwetterabflusses auszugehen (vgl. § 2a Abs. 2 HABwAG). Bei der Überwachung der Einhaltung der im wasserrechtlichen Erlaubnisbescheid festgelegten Überwachungswerte ist die nicht dem Stand der Technik entsprechende Verdünnung zu berücksichtigen. Es ist nicht zulässig, einen entsprechend hohen Fremdwasseranteil (von

mehr als 50 %) bei der Überwachung der Einhaltung der gestellten Anforderungen (rechnerisch) unberücksichtigt zu lassen. In derartigen Fällen sind Maßnahmen zur Reduzierung des Fremdwasseranteils dringlich angeraten.

Zudem wird an diesen beiden Beispielen aufgezeigt, in welchen Fällen ein festinstallierter Fällmitteltank und in welchen Fällen ein doppelwandiger 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete wirtschaftlicher ist. Die zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf, welche mit einem erhöhten Fällmittelbedarf verbunden ist, wird der konstanten Dosierung im Verlauf der Abwasserteichanlage gegenübergestellt.

Zur Aufstellung der Varianten für die Kostenbetrachtung mussten verschiedene Annahmen getroffen werden. Folgende Annahmen sind für alle Varianten gleich:

- Größe der Abwasserteichanlagen: 2500 EW
- Betrachtungen des Ist-Zustands: bisheriger Überwachungswert (ÜW) vor Umsetzung des MP 2015–2021
- Betrachtungen des Zustands mit Phosphorelimination: Überwachungswert (ÜW) von 2,0 mg P<sub>ges</sub>/l (2-h-Mischprobe, qualifizierte Stichprobe), Jahresmittelwert (JMWW) von 1,0 mg P<sub>ges</sub>/l der Eigenkontrolle, in Anlehnung an die neuen Anforderungen (HMUKLV, 2015)
- Schlammräumung und -entsorgung: Unter-Wasser-Räumung durch Abfräsen und Abpumpen mittels amphibischer Technik, Analyse des Schlammes, Entwässerung mittels mobiler Schlammpresse, Entsorgung des Schlammes in der Verbrennung

### Varianten mit hohem Fremdwasseranteil von 90 %

In Tab. 3 sind die Varianten mit einem sehr hohen Fremdwasseranteil von 90 % des täglichen Trockenwetterabflusses ( $Q_{T,d}$ ) für die Kostenbetrachtung mit ihren wichtigsten Merkmalen aufgeführt (Varianten 1.1 bis 1.3.2). Auf die fachrechtliche Problematik eines derart hohen Fremdwasseranteils wurde bereits hingewiesen.

Zu den hier näher betrachteten Varianten werden folgende Erläuterungen gegeben:

- Die Variante 1.1 stellt den Ist-Zustand der Ab-

**Tab. 3:** Varianten für die Kostenbetrachtungen für eine Abwasserteichanlage mit 2 500 EW mit einem Fremdwasseranteil von 90 %  $Q_{T,d}$ 

Variante	Einzuhaltender Überwachungswert (ÜW) [mg P <sub>ges</sub> /l]	Einzuhaltender betriebl. Jahresmittelwert (JMW) [mg P <sub>ges</sub> /l]	Dosierort	$\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert (angen.) [-]
<b>Varianten für Abwasserteichanlagen mit 2 500</b>				
1.1	Ist-Zustand (ÜW vor Umsetzung MP 2015-2021)	Ist-Zustand (JMW vor Umsetzung MP 2015-2021 <sup>2</sup> )	-	-
1.2.1	2,0	1,0	Verlauf der Anlage <sup>3</sup>	3,0
1.2.2	2,0	1,0	Verlauf der Anlage <sup>3</sup>	3,0
1.3.1	2,0	1,0	Zulauf der Anlage <sup>4</sup>	3,3
1.3.2	2,0	1,0	Zulauf der Anlage <sup>4</sup>	3,3

<sup>1</sup> Formel nach Kapitel 4.2.2

<sup>2</sup> ermittelt über den arithmetischen Mittelwert der gemessenen Konzentrationswerte und die Jahresabwassermenge

<sup>3</sup> bei der belüfteten Abwasserteichanlage findet die Dosierung im Ablauf des ersten Teiches statt, bei der Abwasserteichanlage mit technischer Stufe im Zulauf zur Zwischenklärung

<sup>4</sup> Dosierung im belüfteten Sandfang, wenn vorhanden

**Tab. 4:** Varianten für die Kostenbetrachtungen für eine Abwasserteichanlage mit 2 500 EW mit einem Fremdwasseranteil von 50 %  $Q_{T,d}$ 

Variante	Einzuhaltender Überwachungswert (ÜW) [mg P <sub>ges</sub> /l]	Einzuhaltender betriebl. Jahresmittelwert (JMW) [mg P <sub>ges</sub> /l]	Dosierort	$\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert (angen.) [-]
<b>Varianten für Abwasserteichanlagen mit 2 500</b>				
2.1	Ist-Zustand (ÜW vor Umsetzung MP 2015-2021)	Ist-Zustand (JMW vor Umsetzung MP 2015-2021 <sup>2</sup> )	-	-
2.2.1	2,0	1,0	Verlauf der Anlage <sup>3</sup>	3,0
2.2.2	2,0	1,0	Verlauf der Anlage <sup>3</sup>	3,0
2.3.1	2,0	1,0	Zulauf der Anlage <sup>4</sup>	3,3
2.3.2	2,0	1,0	Zulauf der Anlage <sup>4</sup>	3,3

<sup>1</sup> Formel nach Kapitel 4.2.2

<sup>2</sup> ermittelt über den arithmetischen Mittelwert der gemessenen Konzentrationswerte und die Jahresabwassermenge

<sup>3</sup> bei der belüfteten Abwasserteichanlage findet die Dosierung im Ablauf des ersten Teiches statt, bei der Abwasserteichanlage mit technischer Stufe im Zulauf zur Zwischenklärung

<sup>4</sup> Dosierung im belüfteten Sandfang, wenn vorhanden

Steuerung der Dosierung	Jährlicher Fällmittelbedarf $\text{FeCl}_3 \cdot 1$ (40%) [t/a]	Lagerbehälter für das Fällmittel	Schlammräumung und -entsorgung
<b>EW und einem Fremdwasseranteil von 90 % <math>Q_{T,d}</math></b>			
-	-	-	-
konstant	5,4	1-m <sup>3</sup> -IBC (doppelwandig) zur Miete	Unter-Wasser-Räumung durch Abfräsen und Abpumpen mittels amphibischer Technik, Analyse des Schlammes, mobile Entwässerung, Entsorgung des Schlammes in der Verbrennung
konstant	5,4	5-m <sup>3</sup> -Lagerbehälter	
zeitgesteuert	6,2	1-m <sup>3</sup> -IBC (doppelwandig) zur Miete	
zeitgesteuert	6,2	5-m <sup>3</sup> -Lagerbehälter	

Steuerung der Dosierung	Jährlicher Fällmittelbedarf $\text{FeCl}_3 \cdot 1$ (40%) [t/a]	Lagerbehälter für das Fällmittel	Schlammräumung und -entsorgung
<b>EW und einem Fremdwasseranteil von 50 % <math>Q_{T,d}</math></b>			
-	-	-	-
konstant	41,6	1-m <sup>3</sup> -IBC (doppelwandig) zur Miete	Unter-Wasser-Räumung durch Abfräsen und Abpumpen mittels amphibischer Technik, Analyse des Schlammes, mobile Entwässerung, Entsorgung des Schlammes in der Verbrennung
konstant	41,6	10-m <sup>3</sup> -Lagerbehälter	
zeitgesteuert	45,7	1-m <sup>3</sup> -IBC (doppelwandig) zur Miete	
zeitgesteuert	45,7	10-m <sup>3</sup> -Lagerbehälter	

wasserteichanlagen (Überwachungswert (ÜW) und Jahresmittelwert (JMW) vor Umsetzung MP 2015–2021) dar.

- In den Varianten 1.2.1 und 1.2.2 wird das Fällmittel konstant im Zulauf zum letzten belüfteten Teich (bzw. bei Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteter technischer Stufe im Zulauf zur Grobentschlammung) dosiert. Dafür wurde ein  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert von 3,0 gewählt.
- In den Varianten 1.3.1 und 1.3.2 wird eine zeitgesteuerte Dosierung im belüfteten Sandfang betrachtet. Da im Zulauf mehr organische Stoffe in die Schlammflocken gebunden werden, ist ein höherer  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert zu erwarten. Dafür wurde ein  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert von 3,3 gewählt.

In den Varianten 1.2.1 und 1.3.1 wird ein doppelwandiger 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete zur Fällmittellagerung verwendet, wohingegen in den Varianten 1.2.2 und 1.3.2 ein festinstallierter Tank zur Fällmittellagerung eingesetzt wird. Die Größe des Tanks wurde in Abhängigkeit des jährlichen Fällmittelbedarfs zu 5 m<sup>3</sup> gewählt.

### **Varianten mit mittlerem Fremdwasseranteil von 50 %**

In Tab. 4 sind die Varianten mit einem mittleren Fremdwasseranteil von 50 % des täglichen Trockenwetterabflusses ( $Q_{T,d}$ ) für die Kostenbetrachtung mit ihren wichtigsten Merkmalen aufgeführt (Varianten 2.1 bis 2.3.2). Auch hierzu einige Erläuterungen:

- Die Variante 2.1 stellt den Ist-Zustand der Abwasserteichanlagen dar (ÜW und JMW vor Umsetzung MP 2015–2021).
- In den Varianten 2.2.1 und 2.2.2 wird das Fällmittel konstant im Zulauf zum letzten belüfteten Teich (bzw. bei Abwasserteichanlagen mit zwischengeschalteter technischer Stufe im Zulauf zur Grobentschlammung) dosiert. Dafür wurde ein  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert von 3,0 gewählt.
- In den Varianten 2.3.1 und 2.3.2 wird eine zeitgesteuerte Dosierung im belüfteten Sandfang betrachtet. Da im Zulauf mehr organische Stoffe in die Schlammflocken gebunden werden, ist ein höherer  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert zu erwarten. Dafür wurde ein  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Wert von 3,3 gewählt.

In den Varianten 2.2.1 und 2.3.1 wird ein doppel-

wandiger 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete zur Fällmittellagerung verwendet, wohingegen in den Varianten 2.2.2 und 2.3.2 ein festinstallierter Tank zur Fällmittellagerung eingesetzt wird. Die Größe des Tanks wurde in Abhängigkeit des jährlichen Fällmittelbedarfs zu 10 m<sup>3</sup> gewählt.

### **4.3.2 Investitionskosten**

Zu den Investitionen, die bei der Phosphorelimination in Abwasserteichanlagen anfallen, zählen diejenigen für die Lagerung und Dosierung des Fällmittels inkl. der Steuerung der Dosierung, die Installation zur Einmischung des Fällmittels sowie die Installation einer Tauchwand im Schönungsteich zum Rückhalt der Schwimmpflanzen. Da die Abtrennung des Fällschlammes durch Sedimentation in den vorhandenen Teichen erfolgt, fallen dafür keine zusätzlichen Kosten an.

Die Investitionen für die Einmischung des Fällmittels sind im Einzelfall zu betrachten und werden bei dieser Kostenbetrachtung nicht berücksichtigt.

Für den Rückhalt von aufschwimmenden Substanzen (Schwimmpflanzen etc.) im Schönungsteich werden keine Investitionen berücksichtigt, da diese zum Teil bereits installiert sind oder in Eigenleistung mit geringen Kosten installiert werden können.

Investitionen für eine weitergehende Feststoffabscheidung im Schönungsteich bzw. im Anschluss an den Schönungsteich werden an dieser Stelle ebenfalls nicht betrachtet, da diese höchstens in Einzelfällen nötig sind.

Das zur Analyse des Ortho-Phosphat-Phosphors benötigte Photometer ist i.d.R. bereits an den Anlagen vorhanden und wird daher nicht als Investition betrachtet.

### **Investitionen für das Fällmittellager und die Dosierstation**

Bei den Investitionen für das Fällmittellager und die Dosierstation wurden für die einzelnen Varianten der Kostenbetrachtung beispielhaft Materialaufstellungen vorgenommen und Kosten bei Ausrüstern angefragt. Je nach Abwasserteichanlage, Abstand zwischen Fällmitteltank und Dosierstelle und Lage der Abwas-

## Fällmittellagerung in doppelwandigen 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete (Mietkosten in spezifischen Fällmittelkosten enthalten), innen aufgestellte Dosierstation

	a) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage (Variante 1.2.1 und 2.2.1)	b) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage (Variante 1.3.1 und 2.3.1)
<b>Bautechnik</b>		
Vorbereitende Arbeiten (Baustelleneinrichtung)	ca. 5 000 €	ca. 5 000 €
Erdarbeiten (Aushub Rohrleitungsschacht)	ca. 3 150 €	ca. 3 150 €
Leitungen und Schächte (Leckageschacht, Schutzrohr)	ca. 5 000 €	ca. 5 000 €
Straßen- und Wegebau (Aufbruch Pflasterdecke, Pflasterarbeiten)	ca. 9 000 €	ca. 9 000 €
<b>Summe Bautechnik</b>	<b>ca. 22 150 €</b>	<b>ca. 22 150 €</b>
<b>Maschinentechnik</b>		
Dosieranlage (Dosierschrank mit Dosierpalette und Membrandosierpumpe)	ca. 4 130 €	ca. 5 090 €*
Rohrleitungen (Saugleitung, Dosierleitung, Schutzrohr mit Begleitheizung, Anschluss Begleitheizung, Dosierstelle)	ca. 6 090 €	ca. 6 090 €
<b>Summe Maschinentechnik</b>	<b>10 220 €</b>	<b>ca. 11 180 €</b>
<b>EMSR-Technik</b>		
Leckagesonden, Schwebekörper-Durchflussmesser, Schaltschrank inkl. Ausrüstung Ansteuerung Pumpe	ca. 5 760 €	ca. 6 040 €*
<b>Summe EMSR-Technik</b>	<b>ca. 5 760 €</b>	<b>ca. 6 040 €</b>
<b>Summe (netto)</b>	<b>ca. 38 130 €</b>	<b>ca. 39 370 €</b>
19 % MwSt.	ca. 7 245 €	ca. 7 480 €
<b>Summe (brutto) (gerundet)</b>	<b>ca. 45 400 €</b>	<b>ca. 46 900 €</b>

\* Mehrkosten aufgrund ansteuerbarer Pumpe

## Fällmittellagerung in ortsfestem 5-m<sup>3</sup>-Lagertank, außen aufgestellte Dosierstation

	c) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage (Variante 1.2.2)	d) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage (Variante 1.3.2)
<b>Bautechnik</b>		
Vorbereitende Arbeiten (Baustelleneinrichtung)	ca. 5 000 €	ca. 5 000 €
Erdarbeiten (Aushub Fundamente, Abfüllplatz, Rohrleitungsschacht)	ca. 5 550 €	ca. 5 550 €
Leitungen und Schächte (Oberflächenentwässerung, Ablauf, Leckageschacht, Schutzrohr)	ca. 6 000 €	ca. 6 000 €
Beton- und Stahlbetonarbeiten (Fundament Fällmitteltank, Fundament Schaltschrank, Abfüllplatz)	ca. 10 700 €	ca. 10 700 €
Straßen- und Wegebau (Aufbruch Pflasterdecke, Pflasterarbeiten)	ca. 9 000 €	ca. 9 000 €
<b>Summe Bautechnik</b>	<b>ca. 36 250 €</b>	<b>ca. 36 250 €</b>
<b>Maschinentechnik</b>		
Fällmittelspeicher (Behälteraußenauflage inkl. Auffangwanne, mit Prüfzeichen, Isolierung, mech. Füllstandsanzeige)	ca. 9 220 €	ca. 9 220 €
Dosieranlage (Dosierschrank mit Dosierpalette und Membrandosierpumpe)	ca. 10 310 €	ca. 11 270 €*
Rohrleitungen (Befüllstutzen, Befüllleitung, Saugleitung mit Elektroventil, Dosierleitung, Schutzrohr mit Begleitheizung, Anschluss Begleitheizung, Dosierstelle)	ca. 6 820 €	ca. 6 820 €
<b>Summe Maschinentechnik</b>	<b>ca. 26 350 €</b>	<b>ca. 27 310 €</b>
<b>EMSR-Technik</b>		
Überfüllsicherung, Leckagesonden, Schwebekörper-Durchflussmesser, Schaltschrank	ca. 6 890 €	ca. 7 160 €*
<b>Summe EMSR-Technik</b>	<b>ca. 6 890 €</b>	<b>ca. 7 160 €</b>
<b>Summe (netto)</b>	<b>ca. 69 490 €</b>	<b>ca. 70 720 €</b>
19 % MwSt.	ca. 13 203 €	ca. 13 437 €
<b>Summe (brutto) (gerundet)</b>	<b>ca. 82 700 €</b>	<b>ca. 84 200 €</b>

\* Mehrkosten aufgrund ansteuerbarer Pumpe

## Fällmittellagerung in ortsfestem 10-m<sup>3</sup>-Lagertank, außen aufgestellte Dosierstation

	e) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage (Variante 2.2.2)	f) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage (Variante 2.3.2)
<b>Bautechnik</b>		
Vorbereitende Arbeiten (Baustelleneinrichtung)	ca. 5 000 €	ca. 5 000 €
Erdarbeiten (Aushub Fundamente, Abfüllplatz, Rohrleitungsschacht)	ca. 5 550 €	ca. 5 550 €
Leitungen und Schächte (Oberflächenentwässerung, Ablauf, Leckageschacht, Schutzrohr)	ca. 6 000 €	ca. 6 000 €
Beton- und Stahlbetonarbeiten (Fundament Fällmitteltank, Fundament Schaltschrank, Abfüllplatz)	ca. 10 700 €	ca. 10 700 €
Straßen- und Wegebau (Aufbruch Pflasterdecke, Pflasterarbeiten)	ca. 9 000 €	ca. 9 000 €
<b>Summe Bautechnik</b>	<b>ca. 36 250 €</b>	<b>ca. 36 250 €</b>
<b>Maschinentechnik</b>		
Fällmittelspeicher (Behälteraußenaufstellung inkl. Auffangwanne, mit Prüfzeichen, Isolierung, Leiter, mech. Füllstandsanzeige)	ca. 14 800 €	ca. 14 800 €
Dosieranlage (Dosierschrank mit Dosierpalette und Membrandosierpumpe)	ca. 10 310 €	ca. 11 270 €*
Rohrleitungen (Befüllstutzen, Befüllleitung, Saugleitung mit Elektroventil, Dosierleitung, Schutzrohr mit Begleitheizung, Anschluss Begleitheizung, Dosierstelle)	ca. 6 820 €	ca. 6 820 €
<b>Summe Maschinentechnik</b>	<b>ca. 31 930 €</b>	<b>ca. 32 890 €</b>
<b>EMSR-Technik</b>		
Überfüllsicherung, Leckagesonden, Schwebekörper-Durchflussmesser, Schaltschrank	ca. 6 890 €	ca. 7 160 €*
<b>Summe EMSR-Technik</b>	<b>ca. 6 890 €</b>	<b>ca. 7 160 €</b>
<b>Summe (netto)</b>	<b>ca. 75 070 €</b>	<b>ca. 76 300 €</b>
19 % MwSt.	ca. 14 263 €	ca. 14 497 €
<b>Summe (brutto) (gerundet)</b>	<b>ca. 89 400 €</b>	<b>ca. 90 800 €</b>

\* Mehrkosten aufgrund ansteuerbarer Pumpe

serteichanlage können insbesondere die Kosten der Bautechnik stark voneinander abweichen. Es ergeben sich die folgenden sechs Varianten für das Fällmittellager und die Dosierstation.

- Fällmittellagerung in doppelwandigen 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete innen aufgestellte Dosierstation,
  - a) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage
  - b) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage
- Fällmittellagerung in ortsfestem 5-m<sup>3</sup>-Lagertank, außen aufgestellte Dosierstation,
  - c) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage
  - d) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage
- Fällmittellagerung in ortsfestem 10-m<sup>3</sup>-Lagertank, außen aufgestellte Dosierstation,
  - e) konstante Dosierung im Verlauf der Anlage
  - f) zeitgesteuerte Dosierung im Zulauf der Anlage

### Planungskosten

Die Kosten der Planung der Phosphorelimination an einer Anlage werden mit ca. 10 % der Investitionskosten abgeschätzt. Ergänzend ist die HOAI (2013) zur Kalkulation der Honorare der zu beauftragenden Ingenieurleistungen heranzuziehen.

### 4.3.3 Kapitalkosten

Für die Berechnung der Kapitalkosten werden für alle Varianten folgende Annahmen getroffen:

- Zinssatz: 3 %
- Nutzungsdauer Bautechnik:  
Annuitätenfaktor: 30 Jahre  
a = 0,05102

- Nutzungsdauer Maschinen- und Elektrotechnik:  
Annuitätenfaktor: 15 Jahre  
 $a = 0,08377$

#### 4.3.4 Betriebskosten

Zu den anfallenden Betriebskosten zählen Kosten für das Fällmittel, Reparatur-, Wartungs- und Unterhaltungskosten, Analysekosten, Kosten für die Schlammwässerung (Energie, Chemikalien) und -entsorgung, Energiekosten sowie – im weiteren Sinne – die jährlich geschuldete Abwasserabgabe. Zur Abwasserabgabe werden hier keine weiteren Ausführungen vorgenommen.

##### Fällmittelkosten

Der Fällmittelverbrauch wird mittels der Gleichung in Kap. 4.2.2 berechnet. Als Fällmittel wurde hier exemplarisch eine Eisen(III) chloridlösung mit einem Wirkstoffgehalt von 40 % gewählt. Die Preise wurden inklusive der Lieferung in den mittelhessischen Raum angefragt (Kostenstand August 2018).

- 175 €/m<sup>3</sup> Lieferung von 10 m<sup>3</sup> bzw. 5 m<sup>3</sup>
- 330 €/m<sup>3</sup> Lieferung im 1-m<sup>3</sup>-IBC (doppelwandig)

Aufgrund des hohen Anteils der Lieferkosten können sich je nach Region davon abweichende Kosten ergeben. Darüber hinaus ergeben sich für andere Wirkstoffgehalte und andere Fällmittel hiervon abweichende Kosten.

##### Reparatur-, Wartungs- und Unterhaltungskosten

Die Reparatur-, Wartungs- und Unterhaltungskosten werden mit den folgenden Annahmen kalkuliert.

- allgemeine Wartung Bautechnik: 1 % / a bezogen auf die Investition
- allgemeine Wartung M- und EMSR-Technik: 3 % / a bezogen auf die Investition

##### Analysekosten

Die Analysekosten werden mit folgenden Annahmen kalkuliert. Sie resultieren aus der zusätzlichen Analyse des Ortho-Phosphat-Phosphors (vgl. Kap. 4.2.3).

- Kosten für die Filtration: 1,50 € (Spritzenvorsatzfilter)
- Kosten für den Küvettentest: 4,00 €
- 1 bis 2 Analysen pro Woche (inkl. der betrieblichen Messprogramme)

##### Personalkosten

Die Personalkosten können wie folgt geschätzt werden. Der Personalbedarf erhöht sich durch die zusätzlichen Analysen des Ortho-Phosphat-Phosphors (vgl. Kap. 4.2.3).

- Spezifische Personalkosten: 35,00 €/h

##### Energiekosten

Die Energiekosten resultieren aus der benötigten elektrischen Energie für die Dosierung des Fällmittels und die EMSR-Technik.

- spezifischer Strompreis: 0,26 €/kWh (Hessische Abwasserteichanlagen, 2018)
- benötigte Energie: 20–100 kWh/a je nach Größe und Dosiermenge

##### Kosten für die Schlammräumung und -entsorgung

Der Schlammanfall in den Abwasserteichanlagen verdoppelt sich etwa im Mittel durch die Dosierung des Fällmittels, ist aber davon abhängig, wie viel Fällmittel dosiert wird.

Beträgt der Schlammanfall vor der Phosphorelimination zwischen 0,11 und 0,19 m<sup>3</sup>/(EW·a), liegt er danach bei 0,29 bis 0,4 m<sup>3</sup>/(EW·a), jeweils bei einem mittleren Trockenrückstand (TR) von 10 %. Bei einer mittleren Schlammzunahme von 0,18 m<sup>3</sup>/(EW·a) bei einem TR von 10 % ergibt sich für eine Abwasserteichanlage mit einer Ausbaugröße von z. B. 2500 EW eine Erhöhung der zu entsorgenden Schlammmenge von ca. 0,18 m<sup>3</sup>/(EW·a) · 2500 EW = 450 m<sup>3</sup>/a.

Grundsätzlich können zwei Varianten der Schlammräumung und zwei Varianten der Schlammmentsorgung unterschieden werden, wodurch sich vier Varianten der Schlammräumung und -entsorgung ergeben, die nachfolgend aufgeführt werden.

Weitere Hinweise zur Schlammräumung und -ent-

sorgung können den Abschnitten 6.3 und 6.4 entnommen werden. Die Kosten stellen aktuelle Preise (Kostenstand: August 2018) dar. Infolge der neuen DüMV (2017) sind die Entsorgungskosten des Klärschlammes in der Landwirtschaft, soweit noch zulässig, aufgrund des Flächenwettbewerbs mit anderen Stoffen wie Gülle, Gärresten und Kompost in der landwirtschaftlichen Ausbringung gestiegen. Die Verbrennungsanlagen sind daher sehr ausgelastet, wodurch wiederum auch die Entsorgungskosten des Klärschlammes in der Verbrennung angestiegen sind (siehe Aufzählung unten).

Da aufgrund der neuen Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 2017) deutlich weniger Fläche zur Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft zur Verfügung steht, wurde für die Kostenbetrachtung Variante d) verwendet. Bei der hier betrachteten Anlage mit 2500 EW ergibt sich eine Erhöhung der Schlamm Entsorgungskosten von  $450 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 56 \text{ €/m}^3 = 25200 \text{ €/a}$ .

#### 4.3.5 Bewertung der Varianten

Im Anschluss an die Aufführung aller mit der Phosphorelimination in Abwasserteichanlagen in Verbindung stehenden Kosten (ohne Abwasserabgabe) werden alle Varianten auf ihre Kosten untersucht, untereinander verglichen und auf ihre Wirtschaftlichkeit geprüft. Dabei werden die Jahreskosten statisch betrachtet und die einwohnerspezifischen jährlichen Kosten berechnet. Eine genaue Betrachtung der Kosten kann anhand der Tabellen im Anhang (Kap. 6.6) erfolgen.

Im Folgenden werden die Jahreskosten zunächst für die Varianten mit hohem Fremdwasseranteil von 90 % (beschrieben in Tab. 3, Abb. 13) und anschlie-

ßend für die Varianten mit mittlerem Fremdwasseranteil von 50 % (beschrieben in Tab. 4, Abb. 14) betrachtet. Anschließend erfolgt der Vergleich der beiden Hauptvarianten.

#### Varianten mit hohem Fremdwasseranteil von 90 %

Beim Vergleich der Varianten mit konstanter Dosierung im Verlauf der Anlage (1.2.1, 1.2.2) mit den Varianten mit zeitgesteuerter Dosierung im Zulauf der Anlage (1.3.1, 1.3.2) wird ersichtlich, dass die zeitgesteuerte Dosierung aufgrund geringfügig höherer Investitionskosten und höherer Fällmittelmenge jeweils um wenige ct / (EW·a) teurer ist. Eine höhere Fällmitteldosierung bei zeitgesteuerter Dosierung im Zulauf bzw. eine geringere Fällmitteldosierung bei konstanter Dosierung im Verlauf der Anlage kann dies jedoch ändern, weshalb die Wahl der Dosierstelle nicht davon abhängig zu machen ist.

Der Vergleich der Lagermöglichkeiten (1.2.1 mit 1.2.2, 1.3.1 mit 1.3.2) zeigt, dass die Lagerung des Fällmittels in doppelwandigen IBC zur Miete günstiger ist als die Investition in einen festinstallierten Tank (siehe gesamte Kosten für Kapital, Wartung/Reparatur und Fällmittel).

#### Varianten mit mittlerem Fremdwasseranteil von 50 %

Beim Vergleich der Varianten mit konstanter Dosierung im Verlauf der Anlage (2.2.1, 2.2.2) mit den Varianten mit zeitgesteuerter Dosierung im Zulauf der Anlage (2.3.1, 2.3.2) wird ersichtlich, dass die zeitgesteuerte Dosierung aufgrund geringfügig höherer Investitionskosten und höherer Fällmittelmenge je-

a) Konventionelle Räumung eines Teiches durch Ablassen, Aufspritzen und Herauspumpen des Schlammes, Analyse des Schlammes, Analyse der Bodenproben vor der landwirtschaftlichen Verwertung, Ausbringung in die Landwirtschaft	32 €/m <sup>3</sup>	Frischschlamm TR von 10 %
b) Konventionelle Räumung eines Teiches durch Ablassen, Aufspritzen und Herauspumpen des Schlammes, Analyse des Schlammes, Entwässerung mittels mobiler Schlammpresse, Entsorgung des Schlammes in der Verbrennung	52 €/m <sup>3</sup>	Frischschlamm TR von 10 %
c) Unter-Wasser-Räumung durch Abfräsen und Abpumpen mittels amphibischer Technik, Analyse des Schlammes, Analyse der Bodenproben vor der landwirtschaftlichen Verwertung, Ausbringung in die Landwirtschaft	44 €/m <sup>3</sup>	Frischschlamm TR von 10 %
d) Unter-Wasser-Räumung durch Abfräsen und Abpumpen mittels amphibischer Technik, Analyse des Schlammes, Entwässerung mittels mobiler Schlammpresse, Container für das Entwässerungswasser, Entsorgung des Schlammes in der Verbrennung	56 €/m <sup>3</sup>	Frischschlamm TR von 10 %

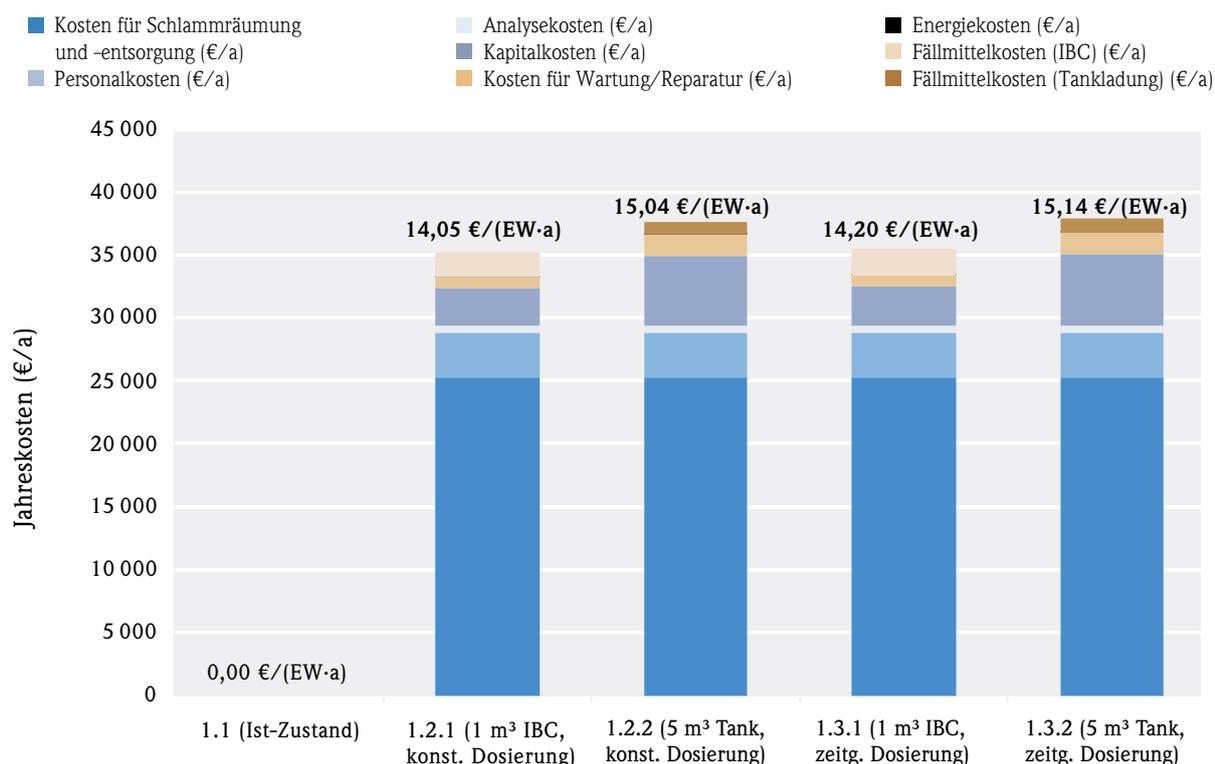


Abb. 13: Jahreskosten und einwohnerspezifische jährliche Kosten für die betrachteten Varianten mit Fremdwasseranteil von 90 %  $Q_{T,d}$

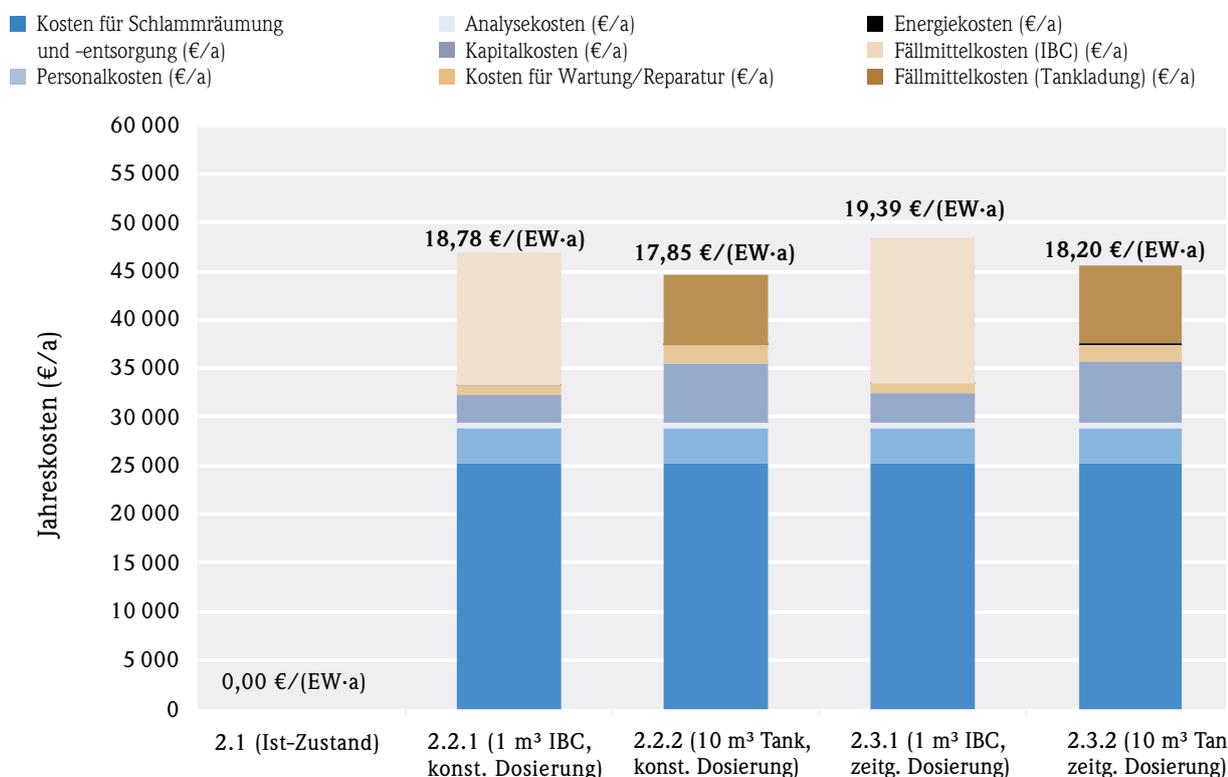


Abb. 14: Jahreskosten und einwohnerspezifische jährliche Kosten für die betrachteten Varianten mit Fremdwasseranteil von 50 %  $Q_{T,d}$

weils um wenige ct / (EW·a) teurer ist. Eine höhere Fällmitteldosierung bei zeitgesteuerter Dosierung im Zulauf bzw. eine geringere Fällmitteldosierung bei konstanter Dosierung im Verlauf der Anlage kann dies jedoch ändern, weshalb die Wahl der Dosierstelle nicht davon abhängig zu machen ist.

Der Vergleich der Lagermöglichkeiten (2.2.1 mit 2.2.2, 2.3.1 mit 2.3.2) zeigt, dass die Lagerung des Fällmittels in festinstallierten Tanks aufgrund der hohen benötigten Fällmittelmenge günstiger ist als die Lagerung im doppelwandigen IBC zur Miete.

### Vergleich der Hauptvarianten

Die Kosten für die Schlammräumung und -entsorgung, Personalkosten und Analysen sind bei allen Varianten gleich hoch, wobei jedoch insgesamt die Kosten für die Schlammräumung und -entsorgung den größten Anteil einnehmen.

Bei der Kostenbetrachtung der Varianten mit sehr hohem Fremdwasseranteil von 90 % sind die Fällmittelposten vordergründig niedriger als bei den Varianten mit mittlerem Fremdwasseranteil von 50 %. Bei dieser Variante mit einem Fremdwasseranteil von 90 % erweist sich die Untervariante mit dem doppelwandigen 1-m<sup>3</sup>-IBC zur Miete als günstigere Wahl. Dagegen erweisen sich bei der Variante mit mittlerem Fremdwasseranteil von 50 % aufgrund der höheren benötigten Fällmittelmenge die Untervarianten mit festinstalliertem Tank als günstiger.

Das Ergebnis, nach dem die Fällmittelposten bei einem sehr hohen Fremdwasseranteil von 90 % im Vergleich zu einem Fremdwasseranteil von 50 % deutlich niedriger ausfallen, resultiert aus der extrem hohen, nicht dem Stand der Technik entsprechenden Verdünnung mit der Folge einer sehr niedrigen Zulaufkonzentration, die vermeintlich nur noch geringere Anstrengungen zur Einhaltung der Anforderungen (ÜW, JMW) erfordern. Hierbei darf allerdings

nicht außer Acht gelassen werden, dass bei der Überwachung der Einhaltung der gestellten Anforderungen Fremdwasseranteile von mehr als 50 % rechnerisch zu berücksichtigen sind (siehe auch Kap. 4.3.1). Vor diesem Hintergrund kann die Schlussfolgerung, durch einen hohen, nicht den rechtlichen Vorgaben entsprechenden Fremdwasseranteil von mehr als 50 % ließen sich die Fällmittelposten und damit die Betriebskosten senken, eindeutig nicht gezogen werden.

### Fazit Kostenbetrachtung

Grundsätzlich sind bei dieser Kostenbetrachtung höhere Jahreskosten durch die Installation der Phosphorelimination zu vermerken als bei bisherigen Kostenbetrachtungen zur Phosphorelimination (THEILEN, 2011, 2015). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass bei Abwasserteichanlagen das Fällmittel mit höheren  $\beta_{\text{Fäll}}$ -Werten dosiert werden muss und höhere spezifische Schlammkosten durch die aufwändige Räumung der Teiche entstehen. Die Kosten für die Analyse des Ortho-Phosphat-Phosphors schlagen sich nur gering in den Gesamtkosten nieder, wirken sich aber direkt auf die korrekte Dosierung des Fällmittels und somit auf die Fällmittelposten und auf die Ablaufwerte aus.

Bei der Implementierung der Phosphorelimination sollte eine statische Berechnung der Jahreskosten für beide Lagermöglichkeiten durchgeführt werden, um die jeweils wirtschaftlichere Variante der Lagerung zu ermitteln. Hierbei sollte der Betrieb der Anlage und die jeweiligen Vor- und Nachteile der Lagerungsvarianten nicht außer Acht gelassen werden (siehe Tab. 2).

Der Unterschied zwischen einer zeitgesteuerten Dosierung im Zulauf und einer konstanten Dosierung im Verlauf der Anlage schlägt sich nicht besonders auf die Gesamtkosten nieder, weshalb je nach Aufbau der Anlage beide Varianten der Dosierung gewählt werden können.

## 5 Literaturverzeichnis

- AbfKlärV, 2017. Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung – AbfKlärV) vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist
- ARCEIVALA, S.J., ASOLEKAR, S.R., 2007. Wastewater treatment for pollution control and reuse, 3rd ed. ed. McGraw-Hill Education LLC, New York, N.Y.
- AwSV, 2017. Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905)
- BALMÉR, P., VIK, P., 1978. Domestic wastewater treatment with oxidation ponds in combination with chemical precipitation. *Progress in water technology* 10 (6), 867–880
- BARJENBRUCH, M., ERLER, C., 2005. Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungsleistung von Abwasserteichen, in: Meinzinger, F., Otterpohl, R. (Eds.), Norddeutsche Tagung für Abwasserwirtschaft und Gewässerentwicklung. 17. Fachtagung, 6. und 7. April 2005; Tagungsort: Media Docks, Lübeck. *Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft* 51. Techn. Univ, Hamburg-Harburg, pp. 157–170
- BARJENBRUCH, M., EXNER, E., 2009. Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranlagen, Erfurt, 244 pp. <http://apps.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1044.pdf> (zuletzt geprüft am 5.09.2016)
- Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2015. Ertüchtigung und Sanierung von Abwasserteichanlagen im ländlichen Raum. Merkblatt 4.4/23, Augsburg, 28 pp. [https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4\\_oberirdische\\_gewaesser/doc/nr\\_4423.pdf](https://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_4423.pdf) (zuletzt geprüft am 6.09.2016)
- BECK, P., GSCHLÖßL, T., SCHLEYPEN, P., 1997. Naturnahe Abwasserverfahren, in: ATV (Ed.), *Biologische und weitergehende Abwasserreinigung*, 4. Aufl. ed. ATV-Handbuch. Ernst, Berlin, pp. 29–104
- BEVER, J., 2002. Weitergehende Abwasserreinigung, 4. Aufl. ed. Oldenbourg-Industrieverl., München
- BRATBY, J., 2006. Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment, Second edition ed. IWA Publishing, London
- CHABIR, D., EL OUARGHI, H., BROSTAU, Y., VASEL, J.L., 2000. Some influences of sediments in aerated lagoons and waste stabilization ponds. *Water Science and Technology* 42 (10-11), 237–246
- DIN 38402-11, 2009. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 11: Probenahme von Abwasser (A 11). Beuth Verlag GmbH, Berlin 13.060.45
- DIN EN ISO 5667-3, 2013. Wasserbeschaffenheit - Probenahme - Teil 3: Konservierung und Handhabung von Wasserproben. Beuth Verlag GmbH, Berlin 13.060.45
- DüMV, 2017. Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) geändert worden ist
- DWA, 2005. Arbeitsblatt DWA-A-201: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichanlagen, August 2005 ed. DWA-Regelwerk A 201. DWA, Hennef
- DWA, 2011. Arbeitsblatt DWA-A-202: Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von

- Phosphor aus Abwasser, Mai 2011 ed. DWA-Regelwerk A 202. DWA, Hennef
- DWA, 2012. Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen: (KVR-Leitlinien), 8. überarb. Aufl. ed., Hennef
- DWA, 2016. Arbeitsblatt DWA A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Juni 2016 ed. DWA-Arbeitsblatt A 131. DWA, Hennef
- EICHHOLZ, G., STROHMEIER, A., 1981. Elimination von Phosphaten in technisch belüfteten Abwasserteichen. *Wasser und Boden* 33 (5), 230–239
- EKVO, 2017. Abwassereigenkontrollverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Juli 2010 (GVBl. I S. 257), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. November 2017 (GVBl. S. 383)
- FIRK, W., 1991. Praktische Anwendung der Fällung/Flockung, in: Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt e.V. (Ed.), *Biologische und chemische Phosphatelimination: Technische Möglichkeiten und Grenzen*. 23. Wassertechnisches Seminar. Schriftenreihe WAR 51. Eigenverlag, Darmstadt, pp. 63–85
- FUHRMANN, T., 2014. Anwendung und Potenziale von Abwasserteichsystemen im internationalen Kontext. Univ., Diss.—Witten/Herdecke, 2013, 1. Aufl. ed. Schriftenreihe Umwelttechnik und Umweltmanagement 32. IEEM, Witten
- GLEISBERG, D., 1988. Die Fällungsreinigung als bedeutender Bestandteil der weitergehenden Abwasserreinigung, in: Wolf, P. (Ed.), *Planungshilfen zur weitergehenden Abwasserreinigung und Klärschlamm Entsorgung*. 2. Kasseler Siedlungswasserwirtschaftliches Symposium. Schriftenreihe Wasser, Abwasser, Umwelt des Fachgebiets Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel 2, Kassel, pp. 95–118
- GROßMANN, I. (Ed.), 1999. Das mikroskopische Bild bei der biologischen Abwasserreinigung. *Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft* 99, H. 1. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- HAbwAG, 2015: Hessisches Ausführungsgesetz zum Abwasserabgabengesetz vom 29. September 2005 (GVBl. I S. 664), zuletzt geändert durch Gesetz vom 28. September 2015 (GVBl. S. 362)
- HANÆUS, J., GRÖNLUND, E., JOHANSSON, E., 2010. Seasonal Operation of Ponds for Chemical Precipitation of Wastewater. *J. Cold Reg. Eng.* 24 (4), 98–111
- HENZE, M., 2010. *Wastewater treatment: Biological and chemical processes*, 3rd ed. ed. Environmental engineering. Springer, New Delhi (India)
- Hessische Abwasserteichanlagen, 2018. Auskunft zu Stromkosten von Abwasserteichanlagen. Telefonate
- HMUKLV, 2015. Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen Maßnahmenprogramm Hessen 2015–2021, Wiesbaden. <http://flussgebiete.hessen.de/information/massnahmenprogramm-2015-2021.html> (zuletzt geprüft am 24.01.2017)
- HOAI, 2013: Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen vom 10. Juli 2013 (BGBl. I S. 2276)
- HORAN, N., 2001. Extensive water-based post-treatment systems for anaerobically pre-treated sewage, in: Lens, P.N.L., Zeeman, G., Lettinga, G. (Eds.), *Decentralised sanitation and reuse. Concepts, systems and implementation*. Integrated environmental technology series. IWA, London, pp. 281–302
- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2006. *Abwasserteichanlagen zur kommunalen Abwasserreinigung: Hinweise zu Planung, Bau, Betrieb und Optimierung*. Fachgebiet Abfallwirtschaft, Bodenschutz, Anlagentechnik Wasserwirtschaft (zuletzt geprüft am 24.01.2017). [http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LAU/Wir\\_ueber\\_uns/Publikatio](http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Wir_ueber_uns/Publikatio)

[nen/Fachinformationen/Dateien/Fachinfo\\_2\\_2006.pdf](#)

- Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2007. Abwasserteichanlagen zur kommunalen Abwasserreinigung: Hinweise und Empfehlungen zur Optimierung. Fachgebiet Abfallwirtschaft, Bodenschutz, Anlagentechnik Wasserwirtschaft (zuletzt geprüft am 24.01.2017). [http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/LAU/Abwasser/Kommunalabwasser/Abwasserteichanlagen/Dateien/fachinfo\\_02\\_2007.pdf](http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Abwasser/Kommunalabwasser/Abwasserteichanlagen/Dateien/fachinfo_02_2007.pdf)
- MELO, H.N.S., GUIMARAES, P., MELO, J.L.S., 2000. Longitudinal distribution and vertical profile of pH, temperature and dissolved oxygen in a partially aerated facultative pond. *Water Science and Technology* 42 (10-11), 75–81
- MERKEL, S.S., 2017. Phosphorelimination in hessischen Abwasserteichkläranlagen: Phosphorus removal in hessian lagoon treatment systems. Masterarbeit, Darmstadt
- MIDDLEBROOKS, E.J., ADAMS, V.D., BILBY, S., SHILTON, A., 2005. Solids removal and other upgrading techniques, in: SHILTON, A. (Ed.), *Pond treatment technology*, pp. 218–249
- MUTSCHMANN, J., STIMMELMAYR, F., 2007. Taschenbuch der Wasserversorgung, 14., vollst. überarb. Aufl. ed. Vieweg, Wiesbaden
- PARSONS, S.A., BERRY, T.-A., 2004. Chemical phosphorus removal, in: VALSAMI-JONES, E. (Ed.), *Phosphorus in environmental technology. Principles and applications. Integrated environmental technology series. IWA Pub, London*, pp. 260–271
- PENG, J.-f., WANG, B.-z., SONG, Y.-h., YUAN, P., LIU, Z., 2007. Adsorption and release of phosphorus in the surface sediment of a wastewater stabilization pond. *Ecological Engineering* 31 (2), 92–97
- PICOT, B., SAMBUCCO, J.P., BROUILLET, J.L., RIVIERE, Y., 2005. Wastewater stabilisation ponds: sludge accumulation, technical and financial study on desludging and sludge disposal case studies in France. *Water Science and Technology* 51 (12), 227–234
- PÖPEL, H.J., 1991. Grundlagen der chemisch-physikalischen Phosphorelimination, in: Verein zur Förderung des Instituts für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt e.V. (Ed.), *Biologische und chemische Phosphatelimination: Technische Möglichkeiten und Grenzen. 23. Wassertechnisches Seminar. Schriftenreihe WAR 51. Eigenverlag, Darmstadt*, pp. 15–47
- RAMESEDER, J., STOCKBAUER, M., 2015. Phosphorelimination bei kleinen, naturnahen Kläranlagen. *DWA KA Betriebs-Info* 45 (1), 2301–2304
- RUDOLPH, K.-U., FUHRMANN, T., HARBACH, M., 2009. Economic Criteria and Parameters to Evaluate Wastewater Pond Systems. 8th IWA specialist group conference on waste stabilization ponds: advances and innovations in pond treatment technology, 26 April 2009, Belo Horizonte, Brazil
- SCHLEYPEN, P., 1987. Abwasserreinigung in Teichen-Beispiele aus der Praxis, in: Institut für Wasserwirtschaft (Wien) (Ed.), *Wasserversorgung und Abwasserreinigung in kleinen Verhältnissen. Vorträge des 22. ÖWWV-Seminars Ottenstein, 6.-9.4.1987. Wiener Mitteilungen Wasser Abwasser Gewässer 71. Eigenverlag, Wien*, M1-29
- SCHNEITER, R.W., MIDDLEBROOKS, E.J., SLETTEN, R.S., 1984. Wastewater lagoon sludge characteristics. *Water Research* 18 (7), 861–864
- Stadtwerke Schlitz. Rührwerk zur Einmischung von Fällmittel
- STUMM, W., MORGAN, J.J., 2012. *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters*, 3rd ed. ed. Environmental Science and Technology: A Wiley-Interscience Series of Texts and Monographs. Wiley, Hoboken
- SZABÓ, A., TAKÁCS, I., MURTHY, S., DAIGGER, G.T., LICSKÓ, I., SMITH, S., 2008. Significance of Design and Operational Variables in Chemical Phosphorus Removal. *Water Science and Technology* 60 (5), 407–416

- THEILEN, U., 2011. Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen,
- Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden [http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5\\_service/Hintergrunddokumente\\_2015/arbeitshilfe-2011-02-18.pdf](http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/Hintergrunddokumente_2015/arbeitshilfe-2011-02-18.pdf) (zuletzt geprüft am 24.01.2017)
- THEILEN, U., 2015. Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen: Überarbeitung des Kap. 5 der Arbeitshilfe vom 18.02.2011 „Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination“, Herausgeber: Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden, 60 pp. [http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5\\_service/Hintergrunddokumente\\_2015/Arbeitshilfe\\_P-Elimination\\_Ueberarbeitung\\_Kap\\_5\\_April\\_2015\\_2.pdf](http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/Hintergrunddokumente_2015/Arbeitshilfe_P-Elimination_Ueberarbeitung_Kap_5_April_2015_2.pdf) (zuletzt geprüft am 5.09.2016)
- TRÄNCKNER, J., KOEGST, T., CRAMER, M., Gießler, M., RICHTER, B., MÜTHER, F., 2016. Phosphor-Elimination in Kläranlagen bis 10.000 Einwohnerwerte in Mecklenburg-Vorpommern: Abschlussbericht
- Umweltbundesamt, 2017. Datenbank Rigoletto (zuletzt geprüft am 15.07.2018). <https://webriigoletto.uba.de/rigoletto/public/searchRequest.do?event=search>
- US EPA, 2011. Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers EPA/600/R-11/088. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-09/documents/lagoon-pond-treatment-2011.pdf>
- WHG, 2017. Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I. S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. Juli 2017 (BGBl. I. S. 2771)
- WRRL, 2000. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik in der Fassung der Bekanntmachung vom 22.12.2000 (ABl. L 327), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2014/101/EU der Kommission vom 30.10.2014 (ABl. L 311)

## 6 Anhang

### 6.1 Liste der von den Maßnahmen betroffenen Abwasserteichanlagen in Hessen

**Tab. 5:** Vom hessischen Maßnahmenprogramm 2015–2021 betroffene Abwasserteichanlagen der Größenklasse 2 und 3 (Stand 30.11. 2018)

Name der Kläranlage	Landkreis	Ausbaugröße EW	GK gemäß MP 2015–2021	Zwischengeschaltete Stufe	Phosphorelimination	Belüftung der Abwasserteiche
Birstein / Lichenroth	Main-Kinzig-Kreis	1 200	2	Tauchkörper	Ja	belüftet
Breitenbach A. Herzberg	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	3 340	2	Tauchkörper	Nein	un- u. belüftet
Butzbach / Fauerbach V. D. H.	Wetteraukreis	1 600	2	Tauchkörper	Nein	belüftet
Diemelsee / Giebringhausen	Lkr. Waldeck-Frankenberg	2 500	2	-	Ja	belüftet
Diemelstadt / Hesperinghausen	Lkr. Waldeck-Frankenberg	1 000	2	getauchtes Festbett	Ja	belüftet
Diemelstadt / Neudorf	Lkr. Waldeck-Frankenberg	2 000	2	-	Ja	belüftet
Dillenburg / Donsbach	Lahn-Dill-Kreis	2 350	2	Biologie	Nein	belüftet
Ebersburg / Weyhers	Lkr. Fulda	1 500	2	Tauchkörper	Nein	belüftet
Ehringshausen / Kölschhausen	Lahn-Dill-Kreis	3 000	2	-	Ja	belüftet
Eschenburg / Wissenbach	Lahn-Dill-Kreis	2 300	2	-	Nein	belüftet
Flörsbachtal / Kempfenbrunn	Main-Kinzig-Kreis	3 000	2	-	Ja	belüftet
Frankenau / Ellershausen	Lkr. Waldeck-Frankenberg	1 800	2	-	Ja	belüftet
Freiensteinau / Holzmühl	Vogelsbergkreis	1 450	2	Tauchkörper	Ja	unbelüftet
Frielendorf / Obergrenzebach	Schwalm-Eder-Kreis	900	2	-	Ja	belüftet
Frielendorf / Verna	Schwalm-Eder-Kreis	3 100	2	-	Ja	belüftet
Fritzlar / Züschen	Schwalm-Eder-Kreis	1 500	2	-	Ja	belüftet
Fronhausen	Lkr. Marburg-Biedenkopf	4 950	2	getauchtes Festbett, Tauchkörper	Ja	belüftet
Gedern / Nieder-Seemen	Wetteraukreis	2 500	2	-	Nein	belüftet
Gemünden (Felda) / Nieder-Gemünden	Vogelsbergkreis	2 200	2	-	Nein	belüftet
Gersfeld (Rhön)	Lkr. Fulda	7 500	3	Tauchkörper	Nein	belüftet
Grebenhain / Hartmannshain	Vogelsbergkreis	1 450	2	Tauchkörper	Ja	un- u. belüftet
Haina (Kloster) / Löhlbach	Lkr. Waldeck-Frankenberg	1 700	2	Tauchkörper	Ja	belüftet
Haunetal / Neukirchen	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	2 500	2	-	Nein	un- u. belüftet
Haunetal / Wehrda	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1 000	2	-	Nein	un- u. belüftet
Heringen (Werra) / Herfa	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1 500	2	Tropfkörper	Nein	belüftet
Hofbieber / Langenbieber	Lkr. Fulda	1 300	2	-	Nein	un- u. belüftet
Hofbieber / Wiesen	Lkr. Fulda	3 500	2	Tauchkörper	Nein	un- u. belüftet

## Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Name der Kläranlage	Landkreis	Ausbau- größe EW	GK gemäß MP 2015– 2021	Zwischenge- schaltete Stufe	Phosphor- elimination	Belüftung der Abwasser- teiche
Hofgeismar / Hümme	Lkr. Kassel	2000	2	-	Ja	belüftet
Hohenroda / Ausbach	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1000	2	Tauchkörper	Nein	un- u. belüftet
Hohenroda / Mansbach	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1200	2	Tauchkörper	Nein	belüftet
Hohenroda / Ransbach	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1500	2	getauchtes Festbett	Nein	belüftet
Hohenstein / Breithardt	Rheingau-Taunus-Kreis	3600	2	-	Nein	belüftet
Hohenstein / Holzhausen	Rheingau-Taunus-Kreis	1500	2	-	Nein	belüftet
Hohenstein / Strinz Margarethä	Rheingau-Taunus-Kreis	1500	2	-	Nein	belüftet
Hünstetten / Strinz Trinitatis	Rheingau-Taunus-Kreis	1950	2	-	Nein	un- u. belüftet
Lahntal / Caldern	Lkr. Marburg-Biedenkopf	2700	2	-	Ja	belüftet
Laubach / Freienseen	Lkr. Giessen	900	2	Tauchkörper	Ja	unbelüftet
Lichtenfels / Dalwigkthal	Lkr. Waldeck-Frankenberg	1200	2	-	Ja	un- u. belüftet
Ludwigsau / Mecklar	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	3000	2	-	Nein	un- u. belüftet
Marburg / Ginseldorf	Lkr. Marburg-Biedenkopf	1200	2	-	Ja	belüftet
Münchhausen	Lkr. Marburg-Biedenkopf	2500	2	-	Ja	belüftet
Münzenberg / Ober-Hörgern	Wetteraukreis	2700	2	-	Nein	un- u. belüftet
Neuhof / Giesel	Lkr. Fulda	1100	2	Tauchkörper	Nein	un- u. belüftet
Neuhof / Hauswurz	Lkr. Fulda	1800	2	Tauchkörper	Ja	belüftet
Neustadt (Hessen) / Momberg	Lkr. Marburg-Biedenkopf	2500	2	getauchtes Festbett	Ja	belüftet
Nidda / Schwickartshausen	Wetteraukreis	2200	2	-	Nein	un- u. belüftet
Nüsttal / Silges	Lkr. Fulda	2100	2	-	Ja	belüftet
Rauschenberg / Ernsthausen	Lkr. Marburg-Biedenkopf	2600	2	-	Nein	belüftet
Schenklengsfeld / Malkomes	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	4500	2	Tauchkörper	Nein	belüftet
Schwalmtal / Vadenrod	Vogelsbergkreis	1800	2	Tauchkörper	Nein	un- u. belüftet
Siegbach / Uebernthal	Lahn-Dill-Kreis	3300	2	-	Ja	belüftet
Taunusstein / Niederlibbach	Rheingau-Taunus-Kreis	2000	2	-	Nein	belüftet
Ulrichstein	Vogelsbergkreis	1400	2	-	Nein	belüftet
Vöhl / Asel	Lkr. Waldeck-Frankenberg	3500	2	-	Ja	belüftet
Waldeck / Ober-Werbe	Lkr. Waldeck-Frankenberg	2600	2	Tauchkörper	Ja	belüftet
Waldsolms / Kraftsolms	Lahn-Dill-Kreis	1300	2	-	Nein	belüftet
Wartenberg / Angersbach	Vogelsbergkreis	4000	2	-	Nein	belüftet
Wildeck / Richelsdorf	Lkr. Hersfeld-Rotenburg	1000	2	-	Nein	un- u. belüftet
Wolfhagen / Niederelsungen	Lkr. Kassel	1500	2	-	Nein	belüftet
Zierenberg / Oelshausen	Lkr. Kassel	1800	2	-	Nein	belüftet

## 6.2 Hinweise zum Betrieb, zur Wartung und zur Eigenkontrolle der hessischen Abwasserteich- anlagen in GK 2

Die Anforderungen an den Betrieb von Abwasserteichanlagen der GK 2 sind aufgrund der geringen maschinellen Ausstattung und dem naturnahen Verfahren vergleichsweise gering. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Betreiber einer Abwasserteichanlage verpflichtet ist, ihren Zustand, ihre Funktionsfähigkeit, ihre Unterhaltung und ihren Betrieb sowie Art und Menge des Abwassers und der Abwasserinhaltsstoffe selbst zu überwachen (§ 61 Abs. 2 WHG). Darüber hinaus sind die Anforderungen nach der wasserrechtlichen Erlaubnis und nach der EKVO (2017) einzuhalten.

Zum ordnungsmäßigen Betrieb einer Abwasserteichanlage zählen die Durchführung der in der EKVO geregelten Eigenkontrolle sowie die Wartung und Pflege (Betrieb) dieser Anlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Hierzu zählen insbesondere folgende Aufgaben (nicht abschließend) (EKVO, 2017; DWA, 2005; vgl. auch Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2006):

- Die regelmäßige Funktionsüberprüfung und Reinigung der Zu- und Abläufe der Abwasserteiche, der Drosseleinrichtungen zwischen zwei Teichen, der Durchflussmessenrichtung, der Kanäle, des Rechens und des Sandfangs sowie die Reinigung der Probenahmestellen.
- Das tägliche Ablesen der Durchflussmessenrichtung. Die Abwassermenge ist kontinuierlich zu erfassen und die 24-Stunden-Summenwerte des

Durchflusses sind täglich aufzuzeichnen (Anhang 3 EKVO).

- Die werktägliche Überprüfung der technischen Belüftung und der Sauerstoffverteilung im Abwasserteich. Belüftete Abwasserteiche sollten bis in die oberste Schlammschicht hinein aerob sein.
- Die werktägliche Überprüfung der Fällmitteldosierung und die frühzeitige Nachbestellung des Fällmittels zur Phosphorelimination.
- Die werktägliche Erfassung der Temperatur in den Abwasserteichen (siehe auch nachfolgende Tabelle).
- Die werktägliche Führung des Betriebstagebuchs, inklusive der Erfassung des täglich dosierten Fällmittels, der Fällmittellieferungen, der Schlammmentnahme, etc.
- Durchzuführende Probenahmen und Analysen von Parametern nach den Vorgaben des Anhangs 3 EKVO (siehe folgende Tabelle) (weitere Hinweise vgl. EKVO [2017]).

Hinweis: Bei allen Messungen und Analysen sind die Regeln der analytischen Qualitätssicherung zu beachten (§ 3 Abs. 5 Satz 4 EKVO).

- Die wöchentliche Probenahme im Ablauf zur Analyse des Parameters  $PO_4\text{-P}$  sowie die anschließende Einstellung der Dosierung des Fällmittels (vgl. Kapitel 4.2.3). Das Entfernen von Schwimmstoffen auf den Abwasserteichen.
- Die regelmäßige Entschlammung der Abwasserteiche (siehe 5.2.2 und 5.2.3).
- Wasserlinsen sollten im frühen Stadium der Entwicklung im Frühjahr entfernt werden, da sie den Lichteintrag in die Teiche und den Sauerstoffaustausch an der Grenzfläche Luft/Wasser behindern und auch zu Rücklösungsprozessen beitragen können.

GK2	Abwassermenge	BSB <sub>5</sub>	CSB	NH <sub>4</sub> -N	gebundener Stickstoff (TN <sub>b</sub> ) <sup>(1)</sup>	N <sub>ges, anorg.</sub> <sup>(2)</sup>	P <sub>ges</sub>	Temperatur
Zulauf der Anlage		M	M		M	M	M	
Ablauf biologischer Reaktor								wT
Ablauf der Anlage	K; 24h	W	W	M	M	M	W	

wT = werktäglich, W = wöchentlich, M = monatlich, K = kontinuierliche Messung, 24 h = Aufzeichnung der 24-Stunden-Summenwerte des Durchflusses

<sup>(1)</sup> Alternativ zum TN<sub>b</sub> kann auch der Kjeldahl-Stickstoff bestimmt werden (TKN = Summe von N<sub>org.</sub> und NH<sub>4</sub>-N).

<sup>(2)</sup> Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N<sub>ges, anorg.</sub>)

- Die Pflege der Landschaft (Mähen der Böschungen und Wiesen, Rückschnitt der Bäume, etc.) ist mindestens einmal jährlich (möglichst im Herbst) durchzuführen. Entdeckte Schäden (Grablöcher von Tieren, etc.) sind zum Erhalt der Bauwerke unverzüglich zu beheben.

### 6.3 Schlammräumung

Die Schlammräumung sollte vorgenommen werden, wenn ein Viertel der ursprünglichen Wassertiefe erreicht wird. Dazu sind in regelmäßigen Abständen Schlammspiegelmessungen durchzuführen, um den Räumzeitpunkt nicht zu überschreiten (DWA, 2005). Eine hohe Schlammschicht im Abwasserteich führt zur Volumenreduzierung und damit zu einer Verkürzung der Aufenthaltszeit des Abwassers. Dies beeinflusst die Reinigungsleistung der Abwasseranlagen negativ (SCHNEITER et al., 1984). Da der Schlammanfall von der Art des Teiches, der Teichgeometrie, der Temperatur und der Effektivität der Stabilisierung abhängt (PICOT et al., 2005), ist der Schlammanfall weder an verschiedenen Punkten innerhalb des Abwasserteiches noch zwischen den Abwasserteichen vergleichbar. Die Räumintervalle der Abwasserteiche unterscheiden sich stark voneinander.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, mit den letztmaligen Räumintervallen einen Räumplan zu erstellen, um die Kosten frühzeitig in den Haushaltsplan der jeweiligen Gemeinde zu integrieren. Dabei ist mit einzubeziehen, dass durch die Phosphorelimination je nach Größe der Teiche und Auslastung der Anlage etwa mit einer Halbierung der Räumintervalle gerechnet werden muss (MERKEL, 2017).

Die Räumung des Schlammes kann durch eine vollständige Entleerung des Teiches oder eine Direktschlammmentnahme erfolgen. Bei der ersten Variante wird der Teich komplett entleert. Dazu wird zunächst das Überstandwasser abgepumpt. Bei befestigter Sohle (z. B. aus Beton) kann ein Räumfahrzeug (Bagger, Planierdrape oder Saugräumer) zum Einsatz kommen. Bei unbefestigter Sohle ist der Teich mittels einer Pumpe und dem Vorantreiben des Schlammes durch das Aufspritzen mit Wasser zu entleeren (HANÆUS et al., 2010; Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2007; PICOT et al., 2005).

Bei der zweiten Variante wird der Schlamm di-

rekt dem Abwasserteich entnommen, ohne diesen komplett zu entleeren. Dies ist mit Saugbaggern, Schwimmbaggern, schwimmenden Bodenräumern mit absenkbarem Schlammtrichter oder mit außerhalb des Teiches aufgestellten Saugpumpen möglich. Dieses i.d.R. teurere Verfahren ist in folgenden Fällen anzuwenden: Bei hohem Grundwasserspiegel und somit nicht stabiler Teichsohle bei Kompletzentleerung, bei hoher Empfindlichkeit des Gewässers und wenn der Teich nicht durch einen Bypass umfahren werden kann (sollte in Deutschland jedoch nicht der Fall sein) (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, 2007; PICOT et al., 2005).

Darüber hinaus ist Folgendes zu beachten:

- Die Räumung sollte nur bei anhaltender Trockenwetterlage und so zügig wie möglich erfolgen (möglichst in mehreren Arbeitsschichten bei Tageslicht). Alle benötigten Vorbereitungen sind im Voraus zu planen und im Vorfeld durchzuführen.
- Der voraussichtliche Termin der Schlammräumung ist der Erlaubnisbehörde schriftlich bekanntzugeben. Der tatsächliche Beginn der Außerbetriebnahme und die Wiederinbetriebnahme sind schriftlich oder telefonisch bekanntzugeben. Darüber hinaus ist die Erlaubnisbehörde über Schwierigkeiten bei der Abwasserbehandlung und -einleitung unverzüglich schriftlich oder telefonisch zu unterrichten.
- Die Außerbetriebnahme der Abwasserteiche ist in jedem Fall wechselweise vorzunehmen. In den noch weiter betriebenen Abwasserteichen ist die Belüftung mit voller Leistung zu fahren, um die Reinigung im weiter betriebenen Abwasserteich zu maximieren. Zudem sollte die Phosphorelimination trotz der Abwasserteichräumung in Betrieb sein. Gegebenenfalls muss an einer anderen Behelfsstelle dosiert werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Strömung ausreichend turbulent ist.
- Während der Schlammräumung sind alle Parameter im Ablauf täglich zu analysieren.

Darüber hinaus sind bei der Räumung eventuelle Hinweise der Erlaubnisbescheide der Abwasserteichanlage zu beachten.

### 6.4 Schlammmentsorgung

Bisher wurde der Klärschlamm der Abwasserteich-

anlagen (bis auf einige Ausnahmefälle) in der Landwirtschaft ausgebracht. Ob ein Klärschlamm auch zukünftig den Anforderungen für die landwirtschaftliche Ausbringung entspricht und wo er ausgebracht werden kann, ist im Einzelfall zu betrachten. Alle nötigen gesetzlichen Regelungen sind der AbfklärV (2017) und der DüMV (2017) zu entnehmen.

Ist eine landwirtschaftliche Nutzung möglich, sollte der Zeitpunkt der Räumung in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Zeitpunkt der landwirtschaftlichen Ausbringung stehen, da der Klärschlamm auf den meisten Anlagen nicht zwischengespeichert werden kann. Weiterhin ist zu prüfen, ob eine Entsorgung als Nassschlamm oder als entwässerter Schlamm möglich und sinnvoll ist. Bei einer Zwischenspeicherung ist zu beachten, dass kein Sickerwasser in den Untergrund gelangt (§ 22 WHG).

Entspricht der Klärschlamm nicht den Anforderungen der Klärschlammverordnung und/oder der Düngemittelverordnung, kann er nicht in der Landwirtschaft verwendet werden und ist der Verbrennung zuzuführen (AbfklärV, 2017; DüMV, 2017). Vor dem Transport des Schlammes in Containern zur Verbrennungsanlage ist der Einsatz einer mobilen Schlamm-entwässerung nötig. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass das Prozesswasser aufgrund des hohen Nährstoffgehaltes über einen längeren Zeitraum dem Zulauf zugeführt werden sollte (Picot et al., 2005).

## 6.5 Probenahme und -konservierung

In der hessischen EKVO (2017) ist neben den Analyseintervallen für verschiedene Parameter auch die Art der Probenahme vorgegeben. Die Probenahme der nach Eigenkontrollverordnung zu entnehmenden Proben im Zulauf von Abwasserbehandlungsanlagen sind als 24-h-Mischproben und im Ablauf von Abwasserbehandlungsanlagen der GK 2 zu 50 % als 2-h-Mischprobe zu entnehmen und die zugehörige Durchflussmenge zu erfassen, in den restlichen 50 % der Fälle ist die Entnahme als qualifizierten Stichprobe vorgeschrieben. Für Parameter, die im Ablauf lediglich monatlich beprobt werden, sind die beiden Probenahmen (2-h-Mischprobe und qualifizierte Stichprobe) abwechselnd anzuwenden.

Da sowohl qualifizierte Stichproben als auch 2-h-Mischproben immer nur Momentaufnahmen der täglichen und wöchentlichen Abwasserzusammensetzung zeigen, ist es von Nöten, die Proben an unterschiedlichen Wochentagen und zu verschiedenen Uhrzeiten durchzuführen. Die Probenahme-stelle sollte eine stark turbulente Strömung aufweisen, um eine gute Durchmischung des Abwassers sicherzustellen, und zudem gut zugänglich sein. Im Folgenden sind die qualifizierte Stichprobe, die 2-h-Mischprobe und die 24-h-Mischprobe beschrieben (DIN 38402-11, 2009).

### 6.5.1 Qualifizierte Stichprobe

Für eine qualifizierte Stichprobe sind 5 Stichproben mit gleichem Volumen im Abstand von mindestens 2 Minuten mit einem gereinigten Schöpfbecher in Fließrichtung aus dem Abwasserstrom zu entnehmen. Es ergibt sich ein Probenahmezeitraum von mindestens 8 Minuten. Ein Probenahmezeitraum von 2 Stunden soll nicht überschritten werden. Die Einzelproben sind in einem ausreichend großen Eimer zu mischen. Vor dem Umfüllen der Probe in den Transportbehälter ist die Probe im Eimer gut zu durchmischen. Zum Transport eignen sich Glas-, Borosilicatglas- oder PE-Weithalsflaschen. Die Transportflaschen sind randvoll zu füllen, um Reaktionen mit der Gasphase zu vermeiden (DIN 38402-11, 2009).

### 6.5.2 2-h- und 24-h-Mischproben

Die Mischproben werden zeitproportional durch ein automatisches Probenahmegerät in möglichst kurzen Intervallen zwischen den Einzelproben entnommen. Die Intervalle bei der 2-h-Mischprobe sollten 5 Minuten und bei der 24-h-Mischprobe 30 Minuten nicht überschreiten (DIN 38402-11, 2009).

### 6.5.3 Probenkonservierung

Die Regelungen zur Probenlagerung und -konservierung sind in DIN EN ISO 5667-3 (2013) festgelegt. Um die biologische Aktivität der Probe nach der Probenahme für die Zeit des Transports auf das Minimum zu beschränken, ist es nötig, die Abwasserprobe auf  $(5 \pm 3)$  °C herunterzukühlen und vor Lichteinstrahlung zu schützen. So bleibt die Probe bis zu 24 Stunden stabil (DIN EN ISO 5667-3, 2013).

**Tab. 6:** Techniken zur Probenkonservierung (DIN EN ISO 5667-3, 2013)

Zu untersuchender Analyt	Behälter	Konservierung und Lagerungsbedingungen	Maximale Aufbewahrungszeit
Gelöster Phosphor	Kunststoff, Glas oder Borosilicat-Glas	Probe ist vor Ort zu filtrieren (0,4 bis 0,45 µm). Oxidierende Stoffe dürfen durch Zusatz von Eisen(II)sulfat oder Natriumarsenit entfernt werden.	1 Monat
	Kunststoff	Tiefgefrieren unter -18°C.	
	Für normale Konzentrationen: PE-HD, PTFE	Ansäuern auf pH 1 bis 2 mit HNO <sub>3</sub> .	
	Für niedrige Konzentrationen: PFA, FEP		
Glas bevorzugt, ansonsten PE, PVC			
Gesamt-phosphor	Kunststoff, Glas oder Borosilicat-Glas	Ansäuern auf pH 1 bis 2 mit HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oder HNO <sub>3</sub> .	6 Monate
	Für normale Konzentrationen: PE-HD, PTFE		
	Für niedrige Konzentrationen: PFA, FEP		
	Glas bevorzugt, ansonsten PE, PVC		
Kunststoff	Tiefgefrieren unter -18°C.		

Um die Probe länger als 24 Stunden zu stabilisieren, ist diese zu konservieren, um Veränderungen der zu untersuchenden Eigenschaften vom Stadium der Probenahme bis zur Vorbehandlung zur Analyse zu vermeiden. Im Anhang der Norm sind für jeden zu untersuchenden Parameter Behälter, Konservierungsmöglichkeiten und die maximale Aufbewahrungszeit aufgeführt. In Tab. 6 sind für die Parameter gelöster Phosphor und Gesamtphosphor die Techniken zur Probenkonservierung aus der DIN EN ISO 5667-3 (2013) aufgeführt. Weitere Hinweise und genauere Ausführungen können der Norm direkt entnommen werden (DIN EN ISO 5667-3, 2013).

#### 6.5.4 Probenahme-Protokoll

Während der Probenahme und beim Transport der Probe ist ein Probenahmeprotokoll zu führen, welches anschließend hilft, die Analyseergebnisse im Labor zu interpretieren. Besonders an Abwasserbehandlungsanlagen, an denen der Probenehmer nicht für die Analyse zuständig ist, ist dies besonders wichtig. Aber auch andernfalls ist das Probenahmeprotokoll eine hilfreiche Gedankenstütze. In der folgenden Tab. 7 ist ein Probenahmeprotokoll für Abwasser- teichanlagenbetreiber vorgegeben.

**Tab. 7:** Probenahmeprotokoll

Protokoll zur Eigenkontrolle I. Probenahme-Protokoll																							
1. Name der Anlage:																							
2. Probenahmestelle:																							
3. Probenkennzeichnung:																							
4. Datum, Uhrzeit:																							
5. Probenehmer:																							
6. Sonstige Bemerkungen:																							
Zutreffendes ankreuzen/ausfüllen																							
7. Art der Probenahme*:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; border: none;"><input type="checkbox"/> qualifizierte Stichprobe</td> <td style="width: 30%; border: none;"></td> <td style="width: 30%; border: none;">Probenart <input type="checkbox"/> original</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> 2-h-Mischprobe</td> <td style="border: none;">mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> abgesetzt</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> 24-h-Mischprobe</td> <td style="border: none;">mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> filtriert</td> </tr> </table> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">* Die nach der EKVO zu entnehmenden Abwasserproben sind nach den Vorgaben des Anhangs 3 Nr. 2 Abs. 2 und 3 EKVO zu entnehmen.</p>	<input type="checkbox"/> qualifizierte Stichprobe		Probenart <input type="checkbox"/> original	<input type="checkbox"/> 2-h-Mischprobe	mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]	<input type="checkbox"/> abgesetzt	<input type="checkbox"/> 24-h-Mischprobe	mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]	<input type="checkbox"/> filtriert													
<input type="checkbox"/> qualifizierte Stichprobe		Probenart <input type="checkbox"/> original																					
<input type="checkbox"/> 2-h-Mischprobe	mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]	<input type="checkbox"/> abgesetzt																					
<input type="checkbox"/> 24-h-Mischprobe	mit Zeitabständen von <input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> [min]	<input type="checkbox"/> filtriert																					
8. Temperatur [°C]:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; border: none;"><input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> a) Luft</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> b) Abwasser im 1. Teich</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> c) Abwasser an der Probenahmestelle</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>	<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> a) Luft		<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> b) Abwasser im 1. Teich		<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> c) Abwasser an der Probenahmestelle																	
<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> a) Luft																							
<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> b) Abwasser im 1. Teich																							
<input style="width: 40px; border: 1px solid black;" type="text"/> c) Abwasser an der Probenahmestelle																							
9. Beobachtungen des Abwassers an der Probenahmestelle:	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30%; border: none;">Farbe:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Geruch:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Trübung:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">pH-Wert :</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Schwebstoffe:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Schwimmstoffe:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">absetzbare Stoffe [ml/l]:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Probenvorbehandlung vor Ort:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Transportdauer [min]:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Transporttemperatur [°C]:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="border: none;">Sonstiges:</td><td style="border: 1px solid black; height: 20px;"></td></tr> </table>	Farbe:		Geruch:		Trübung:		pH-Wert :		Schwebstoffe:		Schwimmstoffe:		absetzbare Stoffe [ml/l]:		Probenvorbehandlung vor Ort:		Transportdauer [min]:		Transporttemperatur [°C]:		Sonstiges:	
Farbe:																							
Geruch:																							
Trübung:																							
pH-Wert :																							
Schwebstoffe:																							
Schwimmstoffe:																							
absetzbare Stoffe [ml/l]:																							
Probenvorbehandlung vor Ort:																							
Transportdauer [min]:																							
Transporttemperatur [°C]:																							
Sonstiges:																							
10. Wetterverhältnisse vor Ort:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 35%; text-align: center;">Trocken</td> <td style="width: 35%; text-align: center;">Niederschlag</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">a) am Entnahmetag</td> <td style="border: 1px solid black; width: 35%;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 35%;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">b) am Vortag</td> <td style="border: 1px solid black; width: 35%;"></td> <td style="border: 1px solid black; width: 35%;"></td> </tr> </table>		Trocken	Niederschlag	a) am Entnahmetag			b) am Vortag															
	Trocken	Niederschlag																					
a) am Entnahmetag																							
b) am Vortag																							
11. Abwasservolumenstrom zur Zeit der Probenahme [l/min]:																							
12. Durchflussmenge im Probenahmezeitraum [l] oder [m <sup>3</sup> ]:																							
<b>Unterschrift Probenehmer</b>	<b>ggf. Unterschrift Anlagenbetreiber</b>																						

## 6.6 Tabellen zu den Kostenbetrachtungen

**Tab. 8:** Kostenbetrachtungen

		Variante 1.1.		Variante 1.2.1	
		Fremdwasseranteil 90% ohne P-Elimination		Fremdwasseranteil 90% konstante Dosierung 1 m <sup>3</sup> IBC (doppelwandig)	
Trockenwetterabfluss $Q_{T,d}$		3000 m <sup>3</sup> /d		3000 m <sup>3</sup> /d	
$\beta$ -Wert Fällung (angenommen)		0		3,0	
P-Zulaufkonzentration	Betriebsmittelwert	mg/l		1,3 mg/l	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert	1,5 mg/l		1,0 mg/l	
zusätzlicher Schlammanfall	0,18 m <sup>3</sup> /(EWa) (TR von 10 %)	0 m <sup>3</sup> /a		450 m <sup>3</sup> /a	
Fällmittelbedarf		0,0 t FM/a		5,8 t FM/a	
<b>Investitionen</b>					
<b>Planung</b>	10 % der Investitionen	0,00 €		4540,00 €	
<b>Bautechnik</b>		0,00 €		26400,00 €	
<b>M- und EMSR-Technik</b>		0,00 €		19000,00 €	
<b>Summe Investitionen</b>		0,00 €		49940,00 €	
<b>Kapitalkosten</b>					
<b>Bautechnik und Umplanung</b>					
Abschreibungszeitraum	30 Jahre				
Zinssatz	3 %				
Annuitätenfaktor	0,051	0,00 €/a		1346,93 €/a	
<b>Maschinentechnik</b>					
Abschreibungszeitraum	15 Jahre				
Zinssatz	3 %				
Annuitätenfaktor	0,0838	0,00 €/a		1591,63 €/a	
<b>Kapitalkosten</b>		0,00 €/a		2938,56 €/a	
<b>Feste Betriebskosten</b>					
<b>Wartung/ Reparatur</b>					
Bautechnik	1,00 %/a der Investitionen	0,00 €/a		264,00 €/a	
Maschinen- und EMSR-Technik	3,00 %/a der Investitionen	0,00 €/a		570,00 €/a	
<b>Summe Wartung/Reparatur</b>		0,00 €/a		834,00 €/a	
<b>Analyse</b>	5,50 €/Analyse	0,00 €/a		583,00 €/a	
<b>Personal</b>	35,00 €/h	0 h/a	0,00 €/a	104 h/a	3640,00 €/a
Summe feste Betriebskosten		2500 EW	0,00 €/a 0,00 €/EW	2500 EW	5057,00 €/a 2,02 €/EW
Summe feste Kosten		0,00 €/a		7995,56 €/a	
<b>Variable Betriebskosten</b>					
<b>Strombedarf P-Elimination</b>	0,26 €/kWh	0 kWh/a	0,00 €/a	50 kWh/a	13,00 €/a
<b>Fällmittelbedarf Fe(III)Cl<sub>3</sub> (40%ig)</b>	330 €/t (1 m <sup>3</sup> IBC)	0,00 €/a		1919,08 €/a	
	175 €/t (Tankladung)	0,00 €/a		0,00 €/a	
<b>Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)</b>	56,00 €/m <sup>3</sup>	0,00 €/a		25200,00 €/a	
<b>Summe Variable Betriebskosten</b>		0,00 €/a		27132,08 €/a	
		2500 EW	0,00 €/EW	2500 EW	10,85 €/EW
<b>Summe Jahreskosten</b>		0,00 €/a		35127,64 €/a	
<b>Spezifische Kosten</b>		2500 EW	0,00 €/EW	2500 EW	14,05 €/EW

Variante 1.2.2		Variante 1.3.1		Variante 1.3.2	
Fremdwasseranteil 90% konstante Dosierung 5 m³ Lagerbehälter		Fremdwasseranteil 90% zeitgesteuerte Dosierung 1 m³ IBC (doppelwandig)		Fremdwasseranteil 90% zeitgesteuerte Dosierung 5 m³ Lagerbehälter	
3000 m³/d		3000 m³/d		3000 m³/d	
3,0		3,3		3,3	
1,3 mg/l		1,3 mg/l		1,3 mg/l	
1,0 mg/l		1,0 mg/l		1,0 mg/l	
450 m³/a		450 m³/a		450 m³/a	
5,8 t FM/a		6,4 t FM/a		6,4 t FM/a	
8 270,00 €		4 690,00 €		8 420,00 €	
43 100,00 €		26 400,00 €		43 200,00 €	
39 600,00 €		20 500,00 €		41 000,00 €	
90 970,00 €		51 590,00 €		92 620,00 €	
2 198,96 €/a		1 346,93 €/a		2 204,06 €/a	
3 317,29 €/a		1 717,29 €/a		3 434,57 €/a	
5 516,25 €/a		3 064,21 €/a		5 638,63 €/a	
431,00 €/a		264,00 €/a		432,00 €/a	
1 188,00 €/a		615,00 €/a		1 230,00 €/a	
1 619,00 €/a		879,00 €/a		1 662,00 €/a	
583,00 €/a		583,00 €/a		583,00 €/a	
104 h/a	3 640,00 €/a	104 h/a	3 640,00 €/a	104 h/a	3 640,00 €/a
2500 EW	5 842,00 €/a 2,34 €/EW	2500 EW	5 102,00 €/a 2,04 €/EW	2500 EW	5 885,00 €/a 2,35 €/EW
11 358,25 €/a		8 166,21 €/a		11 523,63 €/a	
50 kWh/a	13,00 €/a	50 kWh/a	13,00 €/a	50 kWh/a	13,00 €/a
0,00 €/a		2 110,99 €/a		0,00 €/a	
1 017,69 €/a		0,00 €/a		1 119,46 €/a	
25 200,00 €/a		25 200,00 €/a		25 200,00 €/a	
26 230,69 €/a		27 323,99 €/a		26 332,46 €/a	
2500 EW	10,49 €/EW	2500 EW	10,93 €/EW	2500 EW	10,53 €/EW
37 588,95 €/a		35 490,20 €/a		37 856,10 €/a	
2500 EW	15,04 €/EW	2500 EW	14,20 €/EW	2500 EW	15,14 €/EW

		Variante 2.1		Variante 2.2.1	
		Fremdwasseranteil 50% ohne P-Elimination		Fremdwasseranteil 50% konstante Dosierung 1 m <sup>3</sup> IBC (doppelwandig)	
Trockenwetterabfluss $Q_{T,d}$		600 m <sup>3</sup> /d		600 m <sup>3</sup> /d	
$\beta$ -Wert Fällung (angenommen)		0		3,0	
P-Zulaufkonzentration	Betriebsmittelwert	6,0 mg/l		6,0 mg/l	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert	5,0 mg/l		1,0 mg/l	
zusätzlicher Schlammanfall	0,18 m <sup>3</sup> /(EWa) (TR von 10 %)	0 m <sup>3</sup> /a		450 m <sup>3</sup> /a	
Fällmittelbedarf		0,0 t FM/a		41,6 t FM/a	
<b>Investitionen</b>					
<b>Planung</b>	10 % der Investitionen	0,00 €		4540,00 €	
<b>Bautechnik</b>		0,00 €		26400,00 €	
<b>M- und EMSR-Technik</b>		0,00 €		19000,00 €	
<b>Summe Investitionen</b>		0,00 €		49940,00 €	
<b>Kapitalkosten</b>					
<b>Bautechnik und Umplanung</b>					
Abschreibungszeitraum	30 Jahre				
Zinssatz	3 %				
Annuitätenfaktor	0,051	0,00 €/a		1346,93 €/a	
<b>Maschinentechnik</b>					
Abschreibungszeitraum	15 Jahre				
Zinssatz	3 %				
Annuitätenfaktor	0,084	0,00 €/a		1591,63 €/a	
<b>Kapitalkosten</b>		0,00 €/a		2938,56 €/a	
<b>Feste Betriebskosten</b>					
<b>Wartung/ Reparatur</b>					
Bautechnik	1,00 %/a der Investitionen	0,00 €/a		264,00 €/a	
Maschinen- und EMSR-Technik	3,00 %/a der Investitionen	0,00 €/a		570,00 €/a	
<b>Summe Wartung/Reparatur</b>		0,00 €/a		834,00 €/a	
<b>Analyse</b>	5,50 €/Analyse	0,00 €/a		583,00 €/a	
<b>Personal</b>	35,00 €/h	0 h/a	0,00 €/a	104 h/a	3640,00 €/a
Summe feste Betriebskosten		2500 EW	0,00 €/a 0,00 €/EW	2500 EW	5057,00 €/a 2,02 €/EW
Summe feste Kosten		0,00 €/a		7995,56 €/a	
<b>Variable Betriebskosten</b>					
<b>Strombedarf P-Elimination</b>	0,26 €/kWh	0 kWh/a	0,00 €/a	80 kWh/a	20,80 €/a
<b>Fällmittelbedarf Fe(III)Cl<sub>w</sub> (40%ig)</b>	330 €/t (1 m <sup>3</sup> IBC)	0,00 €/a		13721,40 €/a	
	175 €/t (Tankladung)	0,00 €/a		0,00 €/a	
<b>Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)</b>	56,00 €/m <sup>3</sup>	0,00 €/a		25200,00 €/a	
<b>Summe Variable Betriebskosten</b>		0,00 €/a		38942,20 €/a	
		2500 EW	0,00 €/EW	2500 EW	15,58 €/EW
<b>Summe Jahreskosten</b>		0,00 €/a		46937,76 €/a	
<b>Spezifische Kosten</b>		2500 EW	0,00 €/EW	2500 EW	18,78 €/EW

Variante 2.2.2		Variante 2.3.1		Variante 2.3.2	
Fremdwasseranteil 50% konstante Dosierung 10 m³ Lagerbehälter		Fremdwasseranteil 50% zeitgesteuerte Dosierung 1 m³ IBC (doppelwandig)		Fremdwasseranteil 50% zeitgesteuerte Dosierung 10 m³ Lagerbehälter	
600 m³/d		600 m³/d		600 m³/d	
3,0		3,3		3,3	
6,0 mg/l		6,0 mg/l		6,0 mg/l	
1,0 mg/l		1,0 mg/l		1,0 mg/l	
450 m³/a		450 m³/a		450 m³/a	
41,6 t FM/a		45,7 t FM/a		45,7 t FM/a	
8 940,00 €		4 690,00 €		9 090,00 €	
43 200,00 €		26 400,00 €		43 200,00 €	
46 200,00 €		20 500,00 €		47 700,00 €	
98 340,00 €		51 590,00 €		99 990,00 €	
2 204,06 €/a		1 346,93 €/a		2 204,06 €/a	
3 870,17 €/a		1 717,29 €/a		3 995,83 €/a	
6 074,24 €/a		3 064,21 €/a		6 199,89 €/a	
432,00 €/a		264,00 €/a		432,00 €/a	
1 386,00 €/a		615,00 €/a		1 431,00 €/a	
1 818,00 €/a		879,00 €/a		1 863,00 €/a	
583,00 €/a		583,00 €/a		583,00 €/a	
104 h/a	3 640,00 €/a	104 h/a	3 640,00 €/a	104 h/a	3 640,00 €/a
2 500 EW	6 041,00 €/a 2,42 €/EW	2 500 EW	5 102,00 €/a 2,04 €/EW	2 500 EW	6 086,00 €/a 2,43 €/EW
12 115,24 €/a		8 166,21 €/a		12 285,89 €/a	
80 kWh/a	20,80 €/a	80 kWh/a	20,80 €/a	80 kWh/a	20,80 €/a
0,00 €/a		15 093,54 €/a		0,00 €/a	
7 276,50 €/a		0,00 €/a		8 004,15 €/a	
25 200,00 €/a		25 200,00 €/a		25 200,00 €/a	
32 497,30 €/a		40 314,34 €/a		33 224,95 €/a	
2 500 EW	13,00 €/EW	2 500 EW	16,13 €/EW	2 500 EW	13,29 €/EW
44 612,54 €/a		48 480,56 €/a		45 510,84 €/a	
2 500 EW	17,85 €/EW	2 500 EW	19,39 €/EW	2 500 EW	18,20 €/EW



Für eine lebenswerte Zukunft

Hessisches Landesamt für Naturschutz,  
Umwelt und Geologie

[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)