



Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

HESSEN



# **Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen**

Stand: 18. Februar 2011

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

**Grundlage für die Arbeitshilfe:**

**Gutachten zur Ertüchtigung von Kläranlagen ab 1.000 EW  
zur verbesserten Phosphor-Elimination [Dezember 2010]:**

Technische Hochschule Mittelhessen  
Fachbereich Bauwesen  
Zentrum für Energie- und Umweltsystemtechnik (ZEuUS)  
Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft und anaerobe Verfahrenstechnik  
Wiesenstraße 14  
35390 Giessen  
Prof. Dr.-Ing. Ulf Theilen  
Tel.: 0172 5118256  
Fax: 0641 3092964  
E-Mail: [ulf.theilen@bau.fh-giessen.de](mailto:ulf.theilen@bau.fh-giessen.de)

---

**Veröffentlichung:** [www.hmuenv.hessen.de](http://www.hmuenv.hessen.de) -> Umwelt -> Gewässerschutz -> Kommunales  
Abwasser

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Grundlagen</b>	<b>6</b>
1.1 Hessisches Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	6
1.2 Bisherige Untersuchungen	9
1.3 Zielsetzung der Maßnahmen	10
<b>2 Umsetzung der notwendigen Maßnahmen</b>	<b>11</b>
2.1 Inhalt der Arbeitshilfe	11
2.2 Beratung der Betreiber von Abwasseranlagen	11
2.3 Verringerung der zu zahlenden Abwasserabgabe	12
2.4 Verrechnung mit der Abwasserabgabe	13
2.5 Controlling	14
2.5.1 Sachverhalte für den Controllingbericht	15
2.5.2 Erfassung der Umsetzung der Maßnahmen	15
<b>3 Phosphoreintrag ins Abwasser, Erfordernis der Phosphor-Rückgewinnung</b>	<b>16</b>
<b>4 Prozesse und Technologien zur Phosphor-Elimination in Kläranlagen</b>	<b>17</b>
4.1 Übersicht	17
4.2 Abscheidung ungelöster Phosphor-Verbindungen durch Sedimentation	18
4.3 Chemische Fällung	18
4.3.1 Grundsätzliche Mechanismen	18
4.3.2 Eingesetzte Fällmittel	21
4.3.3 Verfahrenstechniken	23
4.3.4 Erreichbare Ablaufwerte durch Verfahren der chemischen Fällung	29
4.3.5 Fällmitteldosierung, Ermittlung der Fällmittelmenge	29
4.3.6 Dosiertechnik, Regelungstechnik	33
4.3.7 Betriebliche Auswirkungen der Fällung	40
4.4 Biologische Phosphor-Elimination	41
4.4.1 Grundsätzliche Mechanismen der biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P)	41
4.4.2 Einfluss der erhöhten biologischen P-Elimination auf den Schlamm	44
4.4.3 Bemessung der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P)	44
4.4.4 Verfahren der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P), Hauptstromverfahren	45
4.4.5 Verfahren der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P), Nebenstromverfahren	48
<b>5 Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination</b>	<b>49</b>

---

<b>5.1</b>	<b>Allgemeines, Fallbetrachtung</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>Kostenbetrachtungen</b>	<b>52</b>
5.2.1	Investitionen bei Dosierung von Fällmitteln	53
5.2.2	Investitionen für Biologische Phosphor-Elimination	59
5.2.3	Investitionen für weitergehende Suspensa-Entnahme	61
<b>5.3</b>	<b>Ermittlung der zu verrechnenden Abwasserabgabe</b>	<b>63</b>
<b>5.4</b>	<b>Betriebskosten</b>	<b>65</b>
5.4.1	Allgemeines	65
5.4.2	Betriebskosten der Chemischen P-Elimination durch Fällung	65
5.4.3	Betriebskosten der Biologischen P-Elimination	66
<b>5.5</b>	<b>Reduzierung der Betriebskosten durch Verringerung der zu zahlenden Abwasserabgabe</b>	<b>67</b>
<b>5.6</b>	<b>Modellrechnungen</b>	<b>67</b>
<b>5.7</b>	<b>Wertungen, Ergebnisse</b>	<b>77</b>
5.7.1	Anlagentyp 1: Teichanlagen, ggf. kombiniert mit Tauchtropfkörperanlagen, Beispiel 1.000 EW	77
5.7.2	Anlagentyp 2: kleine Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, Beispiel 4.000 EW	80
5.7.3	Anlagentyp 3: Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und Größenordnungen zwischen ca. 10.000 und 50.000 EW, Beispiel: 20.000 EW	81
5.7.4	Anlagentyp 4: Belebungsanlagen mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung für Anlagen in Größenordnungen bis 100.000 EW, Beispiel: 50.000 EW	84
5.7.5	Anlagentyp 5: Belebungsanlagen mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung für Anlagen größer 100.000 EW, Beispiel: 100.000 EW	87
<b>6</b>	<b>Abschätzung des Potentials der verbesserten P-Elimination für die Kläranlagen im Bereich des RP Gießen als Basis für eine Abschätzung für ganz Hessen</b>	<b>90</b>
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>90</b>
<b>6.2</b>	<b>Auswertung für den Bereich des Regierungspräsidium Gießen</b>	<b>91</b>
<b>6.3</b>	<b>Auswertung für Hessen</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>98</b>
<b><u>Anlagenverzeichnis</u></b>		
<b>Anlage 1:</b>	<b>Kostenermittlung zu den im Kap. 5 erläuterten Beispielvarianten</b>	<b>101</b>
<b>Anlage 2:</b>	<b>Liste der kommunalen Kläranlagen mit Angabe zur Priorität der Maßnahmen zur Phosphorreduzierung im Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015</b>	<b>108</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1.1-1:	Prioritäten für die Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung aus Abwasserbehandlungsanlagen (HMUELV, 2009) .....	8
Abbildung 4.3-1:	Abhängigkeit der Konzentration an gelösten Phosphor vom pH-Wert, dem $\beta$ -Wert ( $\text{mol Me/mol } X_{P,\text{Fäll}}$ ) sowie der Konzentration an Calcium-Ionen (Wasserhärte) (nach Henze et. al., 2000) .....	20
Abbildung 4.3-2:	Gebräuchliche Fällmittel (ATV-DVWK A 202, 2004) .....	22
Abbildung 4.3-3:	Verfahren der Vorfällung; Dosierung vor dem Sandfang oder dem Vorklärbecken.....	24
Abbildung 4.3-4:	Verfahren der Simultanfällung; hier Dosierung im Zulauf zum Belebungsbecken bzw. im Zulauf zum Nachklärbecken .....	25
Abbildung 4.3-5:	Verfahren der Nachfällung; hier Dosierung im Ablauf des Nachklärbeckens .....	26
Abbildung 4.3-6:	Verfahren der Flockungsfiltration; oben: Einsatz eines Raumfilters, unten: Einsatz eines Flächenfilters (Tuchfilter).....	27
Abbildung 4.3-7:	Beispiel für eine Phosphorbilanz nach STEINKE, 2006 (in TMLNU, 2009) ....	31
Abbildung 4.3-8:	Steuerung der Fällmitteldosierung nach der P-Fracht (ATV-DVWK M 206, 2001) .....	37
Abbildung 4.3-9:	Regelung der Ortho-Phosphatkonzentration im Ablauf (ATV-DVWK M 206, 2001) .....	38
Abbildung 4.3-10:	Regelung der Ortho-Phosphatkonzentration im Ablauf mit Aufschaltung des Abwasserflusses (ATV-DVWK M 206, 2001) .....	39
Abbildung 4.4-1:	Prinzipieller Verlauf der P-Konzentration in einer Anlage zur biologischen Phosphorelimination (SCHÖNBERGER, 1990) .....	42
Abbildung 4.4-2:	Vereinfachte Darstellung der Stoffwechselprozesse bei der biologischen Phosphorelimination (HELMER und KUNST, 1996) .....	42
Abbildung 4.4-3:	Hauptstromverfahren mit vorgeschaltetem Anaerobbecken und Rückführung des Rücklaufschlammes direkt in das Anaerobbecken .....	45
Abbildung 4.4-4:	UCT-Verfahren (University of Cape-Town) mit Rückführung des Rücklaufschlammes in ein Denitrifikationsbecken und Rückführung des Schlamm-/Wasser-Gemisches aus dem Denitrifikationsbecken in das vorgeschaltete Anaerobbecken .....	45
Abbildung 4.4-5:	ISAH-Verfahren (Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover) mit Rückführung des Rücklaufschlammes in ein Rücklaufschlamm-Denitrifikationsbecken und Weiterleitung in das vorgeschaltete Anaerobbecken .....	46

---

Abbildung 4.4-6:	Simultane Nitrifikation / Denitrifikation / Biologische P-Elimination (Steuerung in der Regel über Redox- / O <sub>2</sub> -Messung).....	47
Abbildung 4.4-7:	Steuerung einer simultanen Nitrifikation / Denitrifikation / Biologische P-Elimination (exemplarische Darstellung, Homepage Fa. aqua data GmbH, verändert).....	47
Abbildung 4.4-8:	Nebenstromverfahren.....	48
Abbildung 5.7-1:	Überschreitungshäufigkeit von P <sub>ges</sub> der natürlich und technisch belüfteten Abwasserteichanlagen Mecklenburg-Vorpommern aus den Mittelwerten der behördlichen Überwachung, Stand 2003 (Barjenbruch et al., 2004) .....	78
Abbildung 6.2-1:	Summen der P-Ablaufmengen (Bereich RP-Gießen).....	93
Abbildung 6.3-1:	Summen der P-Ablaufmengen (Hochrechnung für Hessen): .....	95

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 4.3-1:	Fällungsverfahren – Dosierstellen, Leistung, Flockenabtrennung (nach ATV-DVWK, A 202, 2004)	29
Tabelle 4.3-2:	Übliche $\beta$ -Werte bei unterschiedlichen Verfahren der P-Elimination (nach BARJENBRUCH, 2007, in TMLNU, 2009)	32
Tabelle 4.3-3:	Entscheidungsmatrix für Steuerungs- und Regelungskonzepte der Fällmitteldosierung (nach TMLNU, 2009, verändert)	39
Tabelle 5.1-1:	Betrachtete Anlagenkonfigurationen für Kostenbetrachtungen (Teil 1)	50
Tabelle 5.3-1:	Abschätzung der möglicherweise zu verrechnenden Abwasserabgabe	64
Tabelle 5.6-1:	Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellrechnungen (Teil 1)	75
Tabelle 6.1-1:	Übersicht über das in Kap. 1.3 genannte Zielsetzung (Szenario) mit ggf. zukünftigen Überwachungswerten und sich daraus ergebenden zu erwartenden Betriebsmittelwerte	91
Tabelle 6.2-1:	Übersicht über die rechnerischen P-Emissionen von Kläranlagen im Bereich des RP Gießen (nach aktuellen EKVO-Berichten)	92
Tabelle 6.2-2:	Berechnete mittlere P-Ablaufkonzentration von Anlagen im Bereich des RP Gießen (bei Einhalten der Ablaufwerte nach o.g. Szenario)	92
Tabelle 6.3-1:	Übersicht über die rechnerischen P-Emissionen von Kläranlagen in Hessen (nach aktuellen EKVO-Berichten 2009)	94
Tabelle 6.3-2:	Berechnete mittlere P-Ablaufkonzentration von Anlagen in Hessen (bei Einhalten der Ablaufwerte nach o.g. Szenario)	95

## Vorwort

Diese Arbeitshilfe wurde auf der Grundlage eines *"Gutachten zur Ertüchtigung von Kläranlagen ab 1.000 EW zur verbesserten Phosphor-Elimination – Beurteilung von Maßnahmen"* vom Dezember 2010 erstellt und stützt sich auf diese Ausarbeitung. Die Erstellung des Gutachtens wurde von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe der hessischen Wasserwirtschaftsverwaltung unter Federführung von Herrn F. Reißig vom Regierungspräsidium Gießen begleitet. Mitglieder in dieser Arbeitsgruppe waren

- Klaus-Peter Burger, Landkreis Gießen,
- Stephan Dey, Main-Kinzig- Kreis,
- Matthias Diwisch, Lahn-Dill-Kreis,
- Josef Fertig, Regierungspräsidium Kassel,
- Michael Kühn, Landkreis Limburg-Weilburg,
- Edeltraut Lemke, Regierungspräsidium Darmstadt,
- Berthold Müller, Landkreis Limburg-Weilburg,
- Wolfgang Müller, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
- Hubertus Pfaff, Regierungspräsidium Gießen,
- Elmar Petrin, Schwalm-Eder-Kreis,
- Jürgen Steuber, Vogelsbergkreis,
- Günter Vaupel, Landkreis Marburg-Biedenkopf.

Die Arbeitshilfe richtet sich an die Wasserbehörden und an die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen und deren Berater (Ingenieurbüros) und soll diese beim Vollzug der nach dem Maßnahmenprogramm für die Jahre 2009 bis 2015 durchzuführenden Maßnahmen zur weiteren Verringerung der Abwasserbelastung durch Phosphor unterstützen.

## 1 Grundlagen

### 1.1 Hessisches Maßnahmenprogramm zur Umsetzung der Wasser- rahmenrichtlinie

Nach Art. 11 Abs. 1 Satz 1 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) müssen alle Mitgliedstaaten der Europäischen Union für jede Flussgebietseinheit ein Maßnahmenprogramm aufstellen. Die Aufstellung der Maßnahmenprogramme ist durch § 82 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) geregelt. Das Hessische Maßnahmenprogramm für den Zeitraum von 2009 bis 2015 wurde am 22. Dezember 2009 veröffentlicht (HMUELV, 2009). Es wurde auf der Basis der Bestandsaufnahme, den Ergebnissen der Gewässerüberwachung, der wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen, der Defizitanalyse und der konkreten Umweltziele erarbeitet. Maßgeblich für das Bewirtschaftungsziel ist der § 27 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) nach



dem die oberirdischen Gewässer so zu bewirtschaften sind, dass ein guter ökologischer und guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht wird.

Im Ergebnis hat der Bewirtschaftungsplan gezeigt, dass für die Punktquellen der Schwerpunkt bei den Maßnahmen zur Verminderung des Eutrophierungsfaktors Phosphor (Trophie) liegen sollte. Die Maßnahmen zur Phosphorreduzierung an den Abwasserbehandlungsanlagen lassen auch positive Auswirkungen auf die Verminderung der organischen Belastung erwarten (Saprobie). Eine Notwendigkeit, bereits jetzt spezielle und gezielte stoffliche Maßnahmen an den Abwasserbehandlungsanlagen zur Verbesserung der Saprobie durchzuführen besteht nicht, da die Saprobie auch von vielen anderen Faktoren beeinflusst wird, die Gegenstand des Maßnahmenprogramms sind.

An kommunalen Kläranlagen sind daher insbesondere Maßnahmen zur weiteren Verminderung der Abwasserbelastung durch Phosphor-Verbindungen vorgesehen.

Diese Maßnahmen sind aufgrund der bestehenden Defizite bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen im ersten Bewirtschaftungszeitraum bei Überschreitung der seentypischen Orientierungswerte bei Einleitung in Talsperren und Seen sowie in den Fällen durchzuführen, in denen die Wasserkörper der Fließgewässer hinsichtlich des Trophie-Index Kieselalgen nicht zumindest in einem guten Zustand sind und der Orientierungswert für Ortho-Phosphat (0,07 mg/l) um mehr als das Zweifache überschritten wird (siehe Abb. 1). Die Prüfung dieser prioritär durchzuführenden Maßnahmen erfolgt auf der Basis dieser Arbeitshilfe, nach der sich die Möglichkeiten und die Verhältnismäßigkeit im Einzelfall ermitteln lassen.

Grundsätzlich sollen in diesen Fällen

- Kläranlagen von 1.000 bis 10.000 EW mit Einrichtungen zur Elimination von Phosphor-Verbindungen ausgerüstet werden, soweit solche Einrichtungen noch nicht vorhanden sind und
- bei Kläranlagen > 10.000 EW die vorhandenen Einrichtungen zur Elimination von Phosphor-Verbindungen optimiert werden.

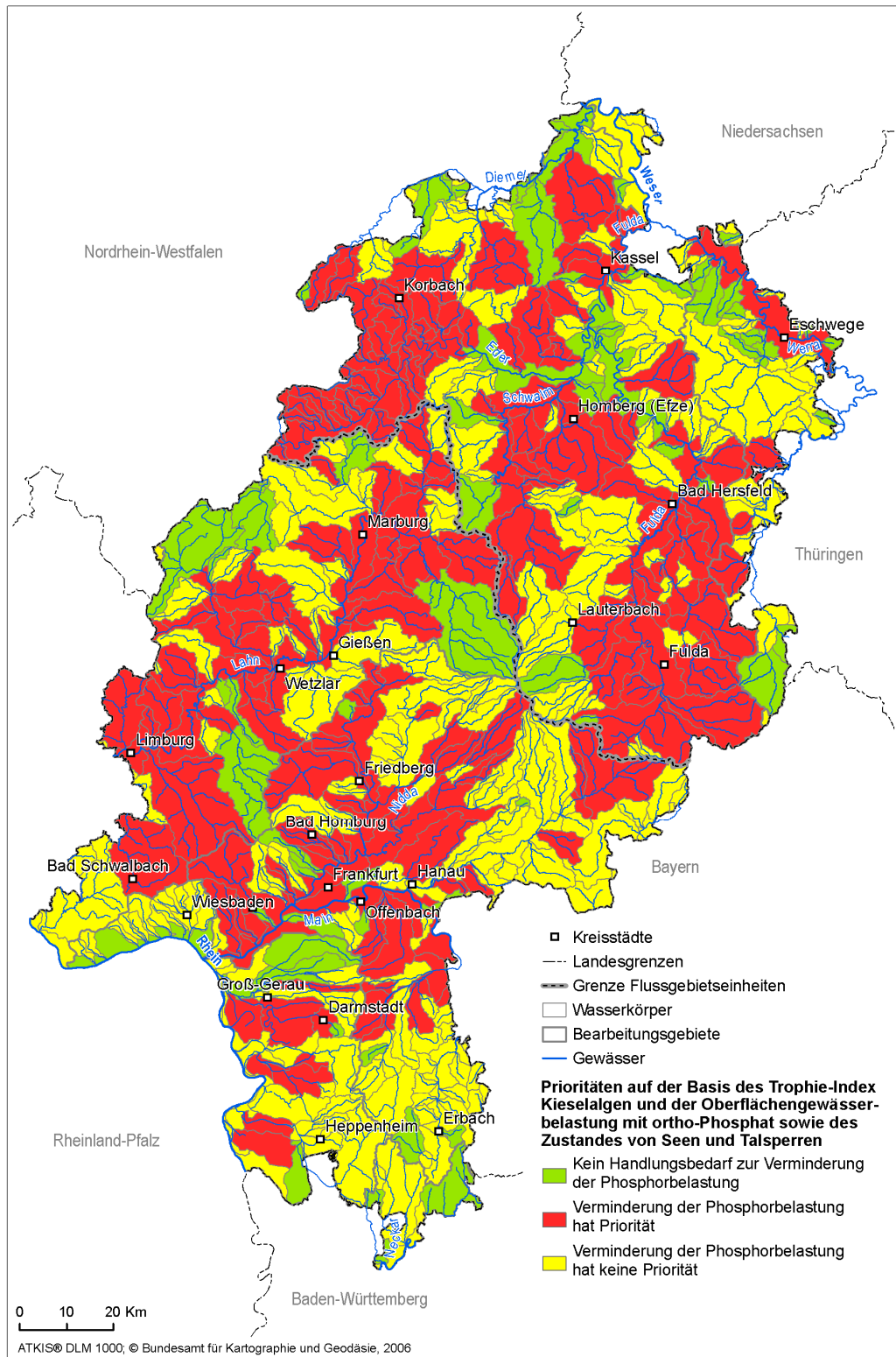


Abbildung 1.1-1: Prioritäten für die Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung aus Abwasserbehandlungsanlagen (HMUJELV, 2009)

## 1.2 Bisherige Untersuchungen

Zur Thematik der Phosphorelimination in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen wurden im Jahr 2008 vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie zwei Gutachten beauftragt. Ziel war es, für die Bewirtschaftungsplanung ergänzende fachliche Informationen über die Möglichkeiten und Grenzen einer weiteren Verminderung des Phosphoreintrags zu erhalten<sup>1</sup>.

In dem **Gutachten der EAWAG** wurden auf Grundlage theoretischer Betrachtungen und am Beispiel von Kläranlagen in der Schweiz die Möglichkeiten zur Verminderung der Phosphorbelastung grundsätzlich dargestellt. Bei den Rechnungen zum Potential der Maßnahmen an kommunalen Kläranlagen wurde zur Vereinfachung jeweils landesweit einheitlich vorgegangen, unabhängig von der Erfordernis solcher Maßnahmen in den einzelnen Wasserkörpern. Dabei wurde davon ausgegangen, dass an allen in die Betrachtung einbezogenen Kläranlagen im Jahresmittel eine Ablaufkonzentration von 0,5 mg P<sub>ges.</sub>/l durch Erhöhung der Fällmitteldosierung erreichbar ist.

Weiterhin legt der Gutachter bei diesen Rechnungen zur Effizienz und zu den Kosten von Kläranlagen zugrunde, dass diese Maßnahmen im Regelfall wie dort dargestellt möglich sind. Der derzeitige Anlagenbestand und die lokalen Besonderheiten wurden nur ansatzweise berücksichtigt.

In dem **"Szenario Phosphor" des Ing.-Büro Dahlem** werden je nach Größenklasse der Anlage bestimmte Maßnahmenkombinationen zur Verminderung des Phosphoreintrags in die Oberflächengewässer in ihren Auswirkungen und Kosten konkreter untersucht.

Folgende Maßnahmengruppen werden dort definiert:

- Ausrüstung von Kläranlagen der Größenklasse 2 und 3 mit Fällungsanlagen zur Verringerung der P-Ablaufkonzentration auf 1 mg/l,
- Optimierung aller vorhandenen Fällungsanlagen zur Verringerung der P-Ablaufkonzentration auf 0,5 mg/l,
- Errichtung von zusätzlichen Reinigungsstufen auf großen Anlagen mit Fällung nach Optimierung der Fällung zur weiteren Verringerung der P-Ablaufkonzentration von 0,5 mg/l auf 0,1 bis 0,3 mg/l.

Zusammenfassend kommt der Gutachter zu dem Ergebnis, dass insbesondere die Optimierung vorhandener Fällungen eine geeignete Maßnahme darstellt, um kurzfristig und mit ver-

---

<sup>1</sup> [www.flussgebiete.hessen.de](http://www.flussgebiete.hessen.de) -> Bewirtschaftungsplanung -> Hintergrundinformationen

trebarem finanziellem Aufwand eine deutliche Reduzierung des Phosphoreintrags aus kommunalen Kläranlagen zu erreichen. Parallel dazu können Kläranlagen ohne Phosphatelimination schrittweise mit einer Fällung ausgerüstet werden. Die Nachrüstung von zusätzlichen Reinigungsstufen wird angesichts der hierfür aufzuwendenden Kosten zunächst auf wenige Anlagen beschränkt bleiben.

### 1.3 Zielsetzung der Maßnahmen

Die grundsätzlichen Forderungen des Maßnahmenprogramms zur Ausrüstung der Kläranlagen zwischen 1.000 EW und 10.000 EW (Größenklasse 2 und 3) mit Einrichtungen zur Elimination von Phosphorverbindungen sowie bei Anlagen größer 10.000 EW (Größenklasse 4 und 5) zur Optimierung dieser Anlagen werden unter Beachtung dieses Szenarios für die Arbeitshilfe wie folgt festgelegt:

- Ausrüstung von Kläranlagen der Größenklasse 1 (< 1.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination in einzelnen Fällen und Einleitung in besonders schützenswerte Gewässer (z.B. Seen oder Talsperren),
- Ausrüstung der Kläranlagen der Größenklasse 2 und 3 (1.000 – 10.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination zum Einhalten eines Überwachungswertes für  $P_{\text{ges.}}$  von mindestens 2,0 mg/l, anzustrebender Betriebsmittelwert von ca. 1,0 mg/l,
- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 4, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 1,0 mg/l einzuhalten, anzustrebender Betriebsmittelwert von ca. 0,5 mg/l,
- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 5, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 0,5 mg/l einzuhalten, anzustrebender Betriebsmittelwert von ca. 0,2 bis 0,3 mg/l.

Maßgeblich für die weiteren Betrachtungen und die an die Anlagen zu stellenden Anforderungen für die Planung und Bemessung sind die **Betriebsmittelwerte**. Im Regelfall dürften sich bei den genannten Betriebsmittelwerten Überwachungswerte einhalten lassen, die um rd. 30 % unter den genannten Überwachungswerten liegen.

Die Prioritäten für die Durchführung der Maßnahmen im Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 sind aus der Abbildung 1.1-1 ersichtlich.

## **2 Umsetzung der notwendigen Maßnahmen**

### **2.1 Inhalt der Arbeitshilfe**

Die für die erforderliche Reduzierung der Phosphoreinträge notwendigen Maßnahmen auf den Kläranlagen werden in dieser Arbeitshilfe beschrieben. Sie soll den Verwaltungsvollzug in diesem Aufgabenbereich möglichst konkret und praxisnah unterstützen und einen sachgerechten und einheitlichen Vollzug gewährleisten.

Die Arbeitshilfe besteht aus folgenden Bausteinen:

- Konzept zur Beratung der Betreiber und zum Controlling,
- Grundsätzlich Darstellung der Verfahren der Phosphor-Elimination auf Kläranlagen,
- Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination bei Kläranlagen verschiedener Größen und Verfahrenstechniken inkl. Kosten-Betrachtungen,
- Abschätzung des Potentials der verbesserten P-Elimination für die Kläranlagen im Bereich des RP Gießen als Basis für eine Abschätzung für ganz Hessen,
- Liste der Anlagen, bei denen die Reduzierung der Phosphoremissionen im Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 und im daran anschließenden Zeitraum Priorität hat.

### **2.2 Beratung der Betreiber von Abwasseranlagen**

Im Maßnahmenprogramm für den Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 werden für die Maßnahmen zur weiteren Verminderung der Abwasserbelastung durch Phosphor Prioritäten genannt (vgl. Abbildung 1.1-1). Bei den rot gekennzeichneten Wasserkörpern handelt es sich um die Wasserkörper, in denen der Trophie-Index Kieselalgen nicht zumindest in einem guten Zustand ist und die Belastung mit Ortho-Phosphat erheblich über dem Orientierungswert von 0,07 mg/l liegt.

Für die Abwasserbehandlungsanlagen, die in diese Wasserkörper einleiten, ist für jede Abwasserbehandlungsanlage zu prüfen, welche Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung möglich sind (Priorität 1, rot gekennzeichnet).

Die anzustrebenden Betriebsmittelwerte sind in Kap. 1.3 genannt. Eine Auflistung der jeweils betroffenen Abwasserbehandlungsanlagen ist als Anlage 2 beigefügt.

Auch für Anlagen, die nach der Abbildung 1.1-1 im Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 keine Priorität haben (gelb gekennzeichnete Flächen), können Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung sinnvoll sein, zumal damit zu rechnen ist, dass dies in dem

nachfolgenden Zeitraum ab 2015 ohnehin durchzuführen sind. Daher wurden diese Anlagen in der Liste der Anlage 2 ebenfalls genannt (Priorität 2, gelb gekennzeichnet).

Es ist zu beachten, dass diese Arbeitshilfe nur eine generelle Betrachtung, bezogen auf die Wasserkörper der WRRL darstellt. Im Einzelfall können aufgrund der örtlichen Situation auch in Bereichen, in denen die Wasserkörper grün eingetragen sind, Maßnahmen zur Phosphorelimination sinnvoll sein. Hierdurch werden im Unterlauf auch andere Gewässerstrecken entlastet und die Maßnahmen können dort zu einer Verbesserung der Situation beitragen.

Die Betreiber der in Anlage 2 genannten Abwasserbehandlungsanlagen (Priorität 1) sind von den Wasserbehörden aufzufordern, die Möglichkeiten zu einer Verbesserung der Phosphorelimination zu prüfen. Als Grundlage für eine erste Abschätzung der Möglichkeiten kann diese Arbeitshilfe herangezogen werden. Zeigt die erste Abschätzung auf, dass hier ein Potential zur Phosphorreduzierung gegeben ist, sollten die Möglichkeiten durch entsprechende Ausarbeitungen von Ingenieurbüros, Machbarkeitsstudien oder auch durch Versuche näher geprüft werden.

Diese Ergebnisse und die daraus zu ziehenden Folgerungen sind der Wasserbehörde von den Betreibern vorzulegen und in Besprechungen zu erörtern. Es ist ein möglicher Zeitplan für die Umsetzung der als notwendig erachteten Maßnahmen zu erstellen, das Ergebnis der Abstimmung zwischen der Wasserbehörde und den Betreibern und das weitere Vorgehen ist fest zu halten. Dabei sind nicht nur die geplanten Maßnahmen darzustellen sondern auch die maßgeblichen Aspekte aktenkundig zu machen, falls derzeit in Einzelfällen keine weiteren Maßnahmen getroffen werden können oder sollen.

Auch für Abwasserbehandlungsanlagen, die in der Anlage 2 nicht mit der Priorität 1 (rot) gekennzeichnet sind, ist, falls die Betreiber Maßnahmen planen oder durchführen, der Zeitplan für die Umsetzung und das weitere Vorgehen ebenfalls aktenkundig zu machen.

## **2.3 Verringerung der zu zahlenden Abwasserabgabe**

Für die Einleitung von Abwasser in ein Gewässer ist eine Abgabe zu entrichten. Die Höhe der zu zahlenden Abwasserabgabe richtet sich im Regelfall nach den im Bescheid festgelegten Überwachungswerten und der zugehörigen Jahresschmutzwassermenge. Auch für die Einleitung von Phosphor ist eine Abwasserabgabe zu zahlen.

Durch Investitionen in eine bessere Phosphorelimination kann der Einleiter in der Zukunft Abwasserabgaben einsparen, denn er ist anschließend in der Lage, einen niedrigeren Überwachungswert für Phosphor einzuhalten.

Den niedrigeren Überwachungswert muss er bei der Wasserbehörde beantragen. Sobald

die Wasserbehörde den Überwachungswert im Bescheid festgelegt hat, wird die Abwasserabgabe aufgrund dieses neuen Wertes festgesetzt.

Eine Erklärung nach § 4 Abs. 5 AbwAG stellt für kommunale Abwasserbehandlungsanlagen eher die Ausnahme dar, da diese Erklärung zu einem Auseinanderfallen von ordnungsrechtlichen Werten (Überwachungswerte im Bescheid) und dem Werte führt, der für die Abwasserabgabenberechnung herangezogen wird.

Liegen insoweit keine besonderen Umstände mehr vor (z.B. Einfahrphase nach Kläranlagensanierung) werden im Regelfall die maßgeblichen Werte im Erlaubnisbescheid, die ggf. auch Gegenstand des Antrags auf Verrechnung nach § 10 Abs. 3 AbwAG waren und die dauerhafte Schadstoffverminderung abbilden, nach Inbetriebnahme der Anlage auf Antrag des Unternehmers der Anlage durch die Wasserbehörde neu im Erlaubnisbescheid festgelegt.

Eine zeitlich befristete Erklärung des Unternehmers der Anlage dürfte insoweit nur während der Einfahrphasen und in Sonderfällen in Betracht kommen.

## **2.4 Verrechnung mit der Abwasserabgabe**

Nach dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG, 2010) können die für die Errichtung und Erweiterung einer Abwasserbehandlungsanlage entstehenden Aufwendungen mit der für die in den drei Jahren vor der vorgesehenen Inbetriebnahme insgesamt für diese Einleitung geschuldeten Abwasserabgabe verrechnet werden. Voraussetzung ist, dass eine Minderung der Fracht einer der bewerteten Schadstoffe und Schadstoffgruppen in dem zu behandelnden Abwasserstrom um mindestens 20 vom Hundert sowie eine Minderung der Gesamtfracht beim Einleiten in das Gewässer zu erwarten ist (§ 10 Abs. 3 AbwAG).

Als Ausgangswerte für die Berechnung der erforderlichen Minderung um mindestens 20 vom Hundert sind der Überwachungswert sowie die Jahresschmutzwassermenge des Einleitebescheides für das Jahr, in dem mit der Errichtung oder Erweiterung der Anlage begonnen wurde, anzusetzen. Aus diesen Werten ist die Jahresschadstofffracht vor der Durchführung der Maßnahme zu berechnen.

Als Endwerte für die Berechnung der erforderlichen Minderung sind der Überwachungswert sowie die Jahresschmutzwassermenge anzusetzen, die nach einer Betriebszeit von einem Jahr im Einleitebescheid festgesetzt sind (§ 4 Abs 1 AbwAG) oder für diesen Zeitpunkt nach § 6 Abs. 1 AbwAG erklärt wurden. Aus diesen Werten ist die Jahresschadstofffracht nach der Durchführung der Maßnahme zu berechnen. Diese Jahresschadstofffracht muss dann mindestens 20 Prozent niedriger als die Jahresschadstofffracht vor der Durchführung der Maßnahme sein, um eine Verrechnung zu ermöglichen. Eine bloße Minderung eines Überwachungswertes als Konzentrationswert eröffnet die Verrechnungsmöglichkeit nach § 10

Abs. 3 AbwAG noch nicht (vgl. VwV-AbwAG / HAbwAG, StAnz. 25/2007 S. 1225). Insoweit sind die jeweils im Bescheid festgelegten Jahresschmutzwassermengen bei der Berechnung der Verminderung zu beachten.

Die Maßnahmen zur Phosphorelimination müssen darauf abstellen, das Gewässer dauerhaft und betriebsstabil zu entlasten und damit den aus der Sicht des Bewirtschaftungsplans erforderlichen weitergehenden Anforderungen Rechnung zu tragen. Eine Erklärung eines niedrigeren als des im Bescheid festgelegten Überwachungswertes nach § 4 Abs. 5 AbwAG für einen bestimmten Zeitraum wird für die Maßnahmen zur weitergehenden Phosphorelimination daher im Regelfall nicht in Betracht kommen.

Vielmehr sollten die maßgeblichen Werte, die die dauerhafte Schadstoffverminderung abbilden und zu einer Verrechnung nach § 10 Abs. 3 AbwAG geführt haben, nach Inbetriebnahme der Anlage neu im Erlaubnisbescheid festgelegt werden.

Die Überwachung der Einhaltung der wasserrechtlichen Anforderungen erfolgt im Rahmen der staatlichen Überwachung. Eine Überschreitung eines Überwachungswertes, der auf eine nicht ausreichende zusätzliche Frachtverminderung (mindestens 20 vom Hundert) zurück zu führen ist führt dazu, dass die nach § 10 Abs. 3 AbwAG verrechnete Abgabe nach zu erheben und rückwirkend zum Zeitpunkt der Fälligkeit zu verzinsen ist.

## 2.5 Controlling

Mit dem Controlling soll der Vollzug der im Maßnahmenprogramm 2009 bis 2015 zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen (WRRL) aufgeführten Maßnahmen kontrolliert und gesteuert werden.

Für den Bereich der kommunalen Abwasseranlagen ist der Datenbestand in der Datenbank Hessische Abwasseranlagen (HAA) hinterlegt. Diese Fachanwendung ist ein wesentliches Instrument für den wasserrechtlichen Vollzug durch die Wasserbehörden. Der Inhalt und der Umfang der Datenbank ergeben sich aus den Aufgaben der zuständigen Wasserbehörden, die aufgrund der gesetzlichen Regelungen zu erfüllen sind. Diese Datenbank wird kurzfristig hinsichtlich der notwendigen Daten zum Controlling ergänzt. Damit erfolgt die Datenpflege zukünftig ausschließlich in diesem Programm.

Für weitergehende und umfassende Auswertungen zum Vollzug der WRRL wird auch weiterhin FIS-MaPro genutzt. Die Daten zu den kommunalen Abwasseranlagen, die für Auswertungen in FIS-MaPro benötigt werden, werden über eine entsprechende Schnittstelle direkt aus HAA übernommen.



### **2.5.1 Sachverhalte für den Controllingbericht**

Das Maßnahmenprogramm 2009 bis 2015 ist verbindlich eingeführt. Daher sind die Maßnahmen bei allen Planungen zu berücksichtigen. Auf eine Realisierung ist hinzuwirken, dabei ist die Verhältnismäßigkeit zu beachten.

Auf der Basis der Arbeitshilfe ist zu prüfen, welche Maßnahmen zur Verminderung der Phosphorbelastung auch über den Stand der Technik hinaus möglich und realisierbar sind. Aufgrund der Ergebnisse können sich in der jetzigen Umsetzungsphase folgende Sachverhalte für den "Maßnahmenzustand" ergeben:

- Maßnahmen aus dem betrachteter Zeitraum 2005 bis 2015, die gemäß Maßnahmenprogramm Anhang 3-1 im vorgesehenen Zeitraum umgesetzt werden,
- Maßnahmen, die in der Umsetzungsphase bis zum Jahr 2015 neue definiert worden sind und umgesetzt werden sollen,
- Maßnahmen, die aufgrund der Umsetzungsdauer, der Umsetzungskosten oder aus anderen Gründen in den nachfolgenden Maßnahmenplan 2015 bis 2021 verschoben werden,
- bereits im Maßnahmenprogramm genannte Maßnahmen, die nach Erkenntnisgewinn aufgrund eines geringen Wirkungsgrades oder / und zu hoher Kosten oder sonstiger Gründe auch mittelfristig nicht realisiert werden können,
- Maßnahmen ist umgesetzt (realisiert).

### **2.5.2 Erfassung der Umsetzung der Maßnahmen**

Einzelheiten zum Controlling sind im Controllingkonzept, das sich noch in der Abstimmung / Realisierung befindet, enthalten. Voraussichtlich wird der "Umsetzungsstand" der Maßnahmen wie folgt definiert:

- Beratung (Kundenbetreuung durch die Behörde),
- in Planung / Entwurf (Maßnahmenplanung wird durchgeführt),
- im Zulassungsverfahren (Antragsunterlagen liegen der Behörde vor),
- in Umsetzung (im Bau),
- umgesetzt (Inbetriebnahme ist erfolgt),
- zugelassen (Zulassung ist rechtskräftig).

Wegen der diesbezüglichen Einzelheiten und der Erfassung in HAA wird auf die voraussichtlich im Jahr 2011 produktiv gehende Programmerweiterung verwiesen.

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

Gelöster Phosphor ist im Abwasser im Wesentlichen in drei Fraktionen vorhanden:

- Organisch gebundener Phosphor als Bestandteil organischer Verbindungen, wie natürliche Kohlenhydratphosphate, Nukleinsäuren, Phosphorlipide aber auch industriell hergestellte Verbindungen, wie z.B. die schlecht abbaubaren, in Waschmitteln vorkommenden Phosphonate (Ersatzstoff für Polyphosphat),
- Polyphosphate mit ca. 2 bis 7 P-Atomen als Bestandteil von Wasch- und Reinigungsmitteln (früher v.a. in Textilwaschmitteln, heute praktisch nur noch in Geschirrspülmitteln) zur Komplexierung von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen und als Dispergiermittel,
- Orthophosphat als  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  und  $\text{PO}_4^{3-}$ , (überwiegend aus dem Urin stammend), bei neutralem pH hauptsächlich vorliegend als  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  und  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Sowohl organisch gebundener Phosphor wie auch Polyphosphat können durch Mikroorganismen zu Orthophosphat mineralisiert bzw. hydrolysiert werden. Deshalb findet man in gereinigten Abwässern sowie in natürlichen Gewässern vor allem Orthophosphat.

Der spezifische Eintrag an Phosphor in das Abwasser ist in den vergangenen Jahren stark gesunken (von ca. 4,6 g P / E\*d im Jahr 1980 (nach SIEGRIST / BOLLER, 1999) auf ca. 1,8 g P / E\*d im Jahr 2000 (Ansatz des ATV-DVWK-Arbeitsblatts A 131). Der Anteil aus menschlichen Fäkalien liegt konstant bei ca. 1,6 g P / E\*d. Rechnerisch ergeben sich im Zufluss zu Kläranlagen je nach Ansatz der spezifischen Trockenwettermenge Konzentrationen zwischen 8 und 18 mg P / l Rohabwasser.

Auf die Rückgewinnung des Phosphats aus Abwasser bzw. aus Klärschlamm wird hier nur am Rande eingegangen. Unstrittig ist, dass insbesondere cadmium- und uranarme Phosphatlagerstätten bereits jetzt sehr begrenzt sind und derzeit auf eine Verfügbarkeit zwischen 100 und 250 Jahre geschätzt werden. Es ist daher geboten, die im Abwasser vorhandenen Phosphat-Frachten möglichst gezielt zu erfassen und als Dünger zur Verfügung zu stellen.

Bei Bilanzierung der Stoffströme des Phosphors im Abwasser ist festzustellen, dass bei einer weitgehenden Phosphorelimination, z.B. durch eine Kombination aus P-Elimination biologischer und chemischer Phosphatfällung bis zu 90 % des im Rohabwasser enthaltenen Phosphors sich im Klärschlamm wieder findet. Dort ist er entweder in der Biomasse (vorwiegend im Überschussschlamm) gebunden oder als Fällungsprodukt chemisch gebunden enthalten.

Ist eine Rückgewinnung des Phosphors aus dem Abwasser angestrebt, ist die Erschließung des Potentials aus dem Klärschlamm erforderlich.

Soll das zurück gewonnene Phosphat in der Landwirtschaft als Dünger genutzt werden, so ist auf die Pflanzenverfügbarkeit zu achten. Metallphosphate, insbesondere Aluminiumphosphate sind sehr schwer verfügbar, aber auch bei den Calciumphosphaten hängt die Löslichkeit / Pflanzenverfügbarkeit von der Art der Verbindung ab.

Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP, auch Struvit), welches durch gezielte Fällung z.B. aus Schlammwasser gewonnen werden kann, wird mittlerweile verschiedentlich in der Düngerproduktion eingesetzt, obwohl es die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor nur sehr langsam abgibt.

Grundvoraussetzung für eine eventuell zukünftig wirtschaftliche P-Rückgewinnung ist es, den phosphatreichen Klärschlamm möglichst als Monocharge zu behandeln und aufzubereiten. So wird in der Schweiz zukünftig die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kraftwerken oder Müllverbrennungsanlagen nicht mehr genehmigt, um das Phosphor-Potential möglichst weitgehend nutzen zu können.

Aktuell werden an verschiedenen Stellen halbtechnische und großtechnische Untersuchungen zur Rückgewinnung des Phosphats aus Klärschlamm durchgeführt. Zu nennen sind hier das SEABORNE-Verfahren, der Krepro-Prozess, das BioCon-Verfahren oder das P-RoC-Verfahren. Es wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.

Derzeit scheint die Klärschlamm-Monoverbrennung und Rückgewinnung des Phosphats aus der Asche die einzige Methode zu sein um das Ziel einer weitgehenden P-Rückgewinnung aus dem Abwasser bzw. Klärschlamm zu erreichen. Problematisch ist allerdings, dass metallgebundene Phosphate, die bei der P-Fällung in der Abwasserreinigung im Wesentlichen entstehen, in der Düngemittelindustrie nicht eingesetzt werden können, sodass eine vorherige aufwendige Aufbereitung der Aschen in der Regel mit Säure erforderlich ist.

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

### **4.1 Übersicht**

Zur Elimination der im Abwasser enthaltenen Phosphor-Verbindungen können grundsätzlich folgende Verfahren eingesetzt werden:

- Abtrennung der ungelösten Phosphor-Verbindungen durch Sedimentation

- chemische Fällung der gelösten Orthophosphate durch Überführung in ungelöste Phosphate und anschließende Entfernung durch Sedimentation und/oder Filtration,
- biologische P-Elimination durch Inkorporation in die Biomasse des belebten Schlammes und Entfernung über den Überschussschlammabzug,
- Entfernung ungelöster aber nicht oder nur schwer sedimentierbarer Suspensa durch Filtration.

Die verschiedenen verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Reduzierung der P-Einleitungen aus Kläranlagen werden nachfolgend dargestellt.

## 4.2 Abscheidung ungelöster Phosphor-Verbindungen durch Sedimentation

Ein Teil der im Rohabwasser enthaltenen Phosphor-Verbindungen liegen partikulär, also ungelöst vor, so dass grundsätzlich die Abtrennung durch Sedimentation möglich ist. In konventionellen Kläranlagen, die über eine Vorklärung verfügen, wird daher der Phosphor-Anteil in der Sedimentation reduziert. Das ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 gibt hierfür orientierende Werte an, die an 85 % aller Tage unterschritten werden:

- Rohabwasser: 1,8 g P / (E\*d)
- nach Vorklärung: 1,6 g P / (E\*d), bei 0,5 – 2,0 h Aufenthaltszeit in der Vorklärung entsprechend einer Reduktion um ca. 11 %.

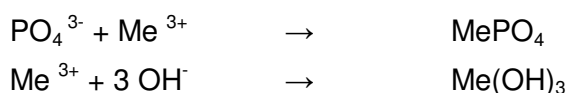
## 4.3 Chemische Fällung

### 4.3.1 Grundsätzliche Mechanismen

Die Prozesse, die bei der chemischen Phosphat-Fällung berücksichtigt werden, beinhalten chemisch-physikalische Reaktionen der Überführung gelöster Orthophosphate in ungelöste partikuläre Verbindungen und mechanische Prozesse zur Feststoffabtrennung.

Im Einzelnen sind folgende Teil-Prozesse zu betrachten:

- Durch die Zudosierung von Eisen-(Fe)-, Aluminium-(Al)- oder Calcium-(Ca)-Salzen entstehen ungelöste Metall-Hydroxo-Phosphat-Komplexe sowie Metall-Hydroxide, an deren Oberfläche Phosphate adsorbieren:



Dabei konkurrieren die Phosphatfällung und Hydroxid-Ion-Fällung, so dass keine stöchiometrische Dosierung zur weitgehenden Elimination möglich ist.

- Diese Komplexe koagulieren zu Mikro- und Makroflocken.
- Die Makroflocken lassen sich durch Sedimentation (bei hohen Feststoff-Konzentrationen > ca. 50 mg/l) bzw. auch durch Filtration aus dem Wasser entfernen.

Die Wirksamkeit der Fällung und damit der Fällmittelbedarf zur Einhaltung eines vorgegebenen Überwachungswertes hängt dabei unter anderem ab von

- den Phosphor-Konzentrationen in Zulauf und Ablauf (einzuhaltender Überwachungswert),
- dem Dosierverhältnis von Metallionen zu gefälltten Phosphat-Ionen, relative Fällmittelmenge ausgedrückt als  $\beta$ -Wert: mol Me/mol XP, Fäll,
- dem pH-Wert sowie der Härte des Abwassers (als  $\text{Ca}^{++}$ -Konzentration),
- die Eindosierung / Einmischung des Fällmittels, die schnell und mit hoher Energiedichte geschehen sollte,
- die Flockenbildung, die durch eine geringe Energiedichte unterstützt wird,
- dem P-Anteil, der durch biologische Verfahren („Bio-P“) eliminiert wird,
- den Konzentration an Substanzen, die mit den verwendeten Fällmitteln Komplexe bilden, z. B. zwischen Eisenionen und Huminstoffen,
- der Trübung, da die eingesetzten Fällmittel auch mit Schwebstoffen und Kolloiden Flocken bilden und daher nicht mehr zur P-Fällung zur Verfügung stehen.

Aus diesen Faktoren ergibt sich zunächst grundsätzlich, dass der eigentlich stöchiometrisch zu er rechnende Fällmittelbedarf nicht ausreicht, um die gesteckten Ablaufziele zu erreichen. Eine überstöchiometrische Dosierung ist erforderlich, diese hängt allerdings stark von der eingesetzten Verfahrenstechnik sowie von den Ablaufzielwert ab.

Die Zusammenhänge der Rest-Gehalte an gelösten Phosphor-Verbindungen mit den eingestellten Molverhältnissen ( $\beta$ -Wert), dem pH-Wert im Wasser und der Konzentration an  $\text{Ca}^{+}$ -Ionen (als Indikator der Wasserhärte) sind in der Abbildung 4.3-1 (nach HENZE et. al., 2000) dargestellt. Danach lassen sich bei Molverhältnissen von  $\beta = 1,5$  im neutralen pH-Wert-Bereich Ablaufwerte an gelöstem Phosphor von < 1 mg/l erreichen. Hinzuzurechnen ist in jedem Fall die P-Gehalte der im Ablauf enthaltenen Suspensa (abfiltrierbare Stoffe).

Es ist in diesem Zusammenhang zu bedenken, dass der pH-Wert im Wasser durch die Zugabe von Fällmittel verändert werden kann. Das Ausmaß der pH-Änderung hängt von der zugegebenen Fällmittelmenge und dem Puffervermögen des Abwassers, gekennzeichnet durch seine Säurekapazität  $K_{S4,3}$ , ab. Bei weichem Abwasser mit niedriger Säurekapazität kann sich bei der Dosierung von Al- und Fe-Salzen leicht ein zu niedriger pH-Wert einstellen, der z. B. für die Nitrifikation von Nachteil ist. Dann ist die Verwendung alkalischer Aluminium-Verbindungen oder die Kombination von sauren Salzen und Kalkhydrat vorteilhaft (ATV-DVWK A 202, 2004).

Die Einmischung des Fällmittels in den Abwasserstrom muss in kürzester Zeit mit vergleichsweise hohem Energieeintrag gewährleistet sein; damit wird die direkte Reaktion des Metall-Ions mit dem Phosphat-Ion begünstigt. An die eigentliche chemische Reaktion schließt sich direkt die Bildung von Mikroflocken an. Gemäß ATV-DVWK A 202 sollte die Aufenthaltszeit in dieser Mischzone ca. 1 Minute, die Energiedichte im Bereich von ca. 100 – 150 W/m<sup>3</sup> betragen.

gelöstes Phosphat  
(mg P / L)

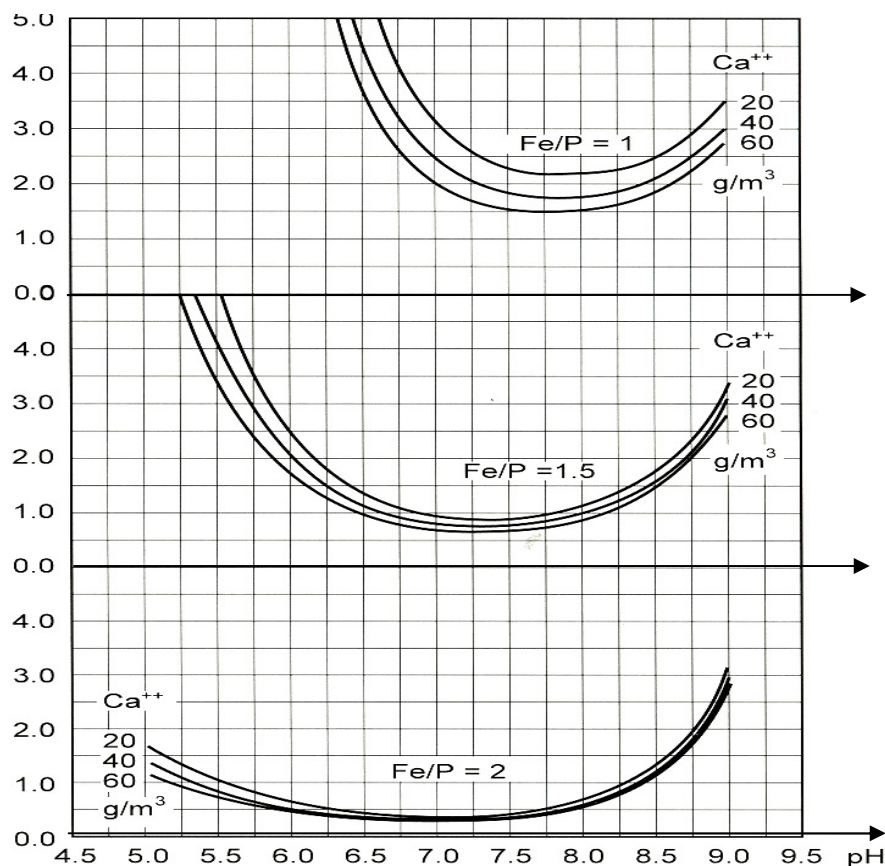


Abbildung 4.3-1: Abhängigkeit der Konzentration an gelösten Phosphor vom pH-Wert, dem  $\beta$ -Wert (mol Me/mol  $X_{P, \text{Fäll}}$ ) sowie der Konzentration an Calcium-Ionen (Wasserhärte) (nach Henze et. al., 2000)

Für die anschließende Makroflockenbildung muss die Energiedichte einerseits so hoch sein, dass die Mikroflocken sich zu größeren Aggregaten verbinden, andererseits aber auch nicht so hoch, dass die gebildete Flockenstruktur wieder zerstört wird. Das ATV-DVWK A 202 empfiehlt eine Reaktionszeit von 20 bis 30 min und eine Leistungsdichte von 5 W/m<sup>3</sup>.

Diese Angaben beziehen sich naturgemäß auf Verfahrensstufen, die ausschließlich der Fällung und Flockung dienen. In der Praxis wird die Einmischung häufig in ein Gerinne bzw. eine Rohrleitung erfolgen, die Flockenbildung erfolgt in einem Becken, z.B. dem Belebungsbecken oder Nachklärbecken. In diesen Fällen lassen sich die Reaktionszeiten und Energiedichten nicht exakt der Flockung zuordnen. Von besonderer Wichtigkeit ist eine energieintensive Einmischung des Fällmittels. Diese kann erfolgen durch Eindosierung des Fällmittels

- in eine Rohrleitung, z.B. vor einer Dükerstrecke im Zulauf zum Vor- oder Nachklärbecken, oder in eine Rohrleitung, in die direkt im Anschluss ein statischer Mischer eingebaut ist (sofern eine sehr gute mechanische Vorreinigung in der Rechen- bzw. Siebanlage gewährleistet ist),
- in ein Gerinne, in das direkt im Anschluss bewusst eine turbulente Fließstrecke (durch Einbauten) oder eine Mischeinrichtung z.B. ein Propeller integriert ist

### 4.3.2 Eingesetzte Fällmittel

Folgende Fällmittel werden überwiegend eingesetzt

- Eisen-Salze (3-bzw. 2-wertig),  $\text{Fe}^{2+}$  nur erforderlich, wenn zu  $\text{Fe}^{3+}$  oxidiert
  - 2-wertige Eisensalze ( $\text{Fe}^{2+}$ ) müssen zunächst zu 3-wertigem Eisen aufoxidiert werden, Anwendung in der Regel als Eisen-II-Sulfat ( $\text{FeSO}_4$ ): flüssige Eisenbeizelösung, Lagerung flüssig im Kunststofftank, als feuchtes Grünsalz im Lösebunker oder als trockenes Feingranulat im Silo mit Dosierschnecke
  - Eisen-III-Salze als Eisenchloridsulfat ( $\text{FeClSO}_4$ ) oder Eisen(III)chlorid ( $\text{FeCl}_3$ ), Lagerung im Kunststofftank
- Aluminium (3-wertig)
  - Aluminiumsulfat,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  Lager mit Dosiersilo oder als Lösung im Tank
  - Poly-Aluminium-(Hydroxid)-Chlorid (PAC)
- Calcium (2-wertig)
  - Branntkalk-Pulver,  $\text{CaO}$  oder Kalkhydrat-Pulver,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (gelöschter Kalk)
- Kombinationsprodukte

Neben dem Haupteinsatzzweck, der P-Fällung, können Fällmittel Einflüsse haben auf weitere für den Kläranlagenbetrieb wichtige Prozesse wie z.B.:

- die Senkung des Schlammindex,
- Verminderung von Schwimmschlamm oder Blähschlamm,

- Verbesserung der Faulgasqualität bei Einsatz von Eisen-Verbindungen durch Fällung des bei der Faulung entstehenden H<sub>2</sub>S zu Eisensulfid FeS

Die Auswahl des Fällmittels kann daher auch durch diese Einflussfaktoren beeinflusst werden. Ist beispielsweise eine Faulung zur Klärschlammstabilisierung vorhanden, werden üblicherweise Eisensalze zur Fällung eingesetzt, die den Nebeneffekt der H<sub>2</sub>S-Reduzierung im Faulgas haben.

Abbildung 4.3-2: Gebräuchliche Fällmittel (ATV-DVWK A 202, 2004)

Produktbezeichnung	chemische Formel	Typische Lieferform Dichte bzw. Schüttgewicht in t/m <sup>3</sup>	Lagerung und Dosierung	Wirksames Kation zur P-Fällung	übliche Wirkstoffgehalte in g/kg und mol/kg Lieferform	pH-Wert der (gesättigten) Lösung
Aluminiumchlorid	AlCl <sub>3</sub>	Lösung 1,3	Tank säurefeste Pumpe	Al <sup>3+</sup>	58 – 60 2,2	1
Aluminium-Eisen(III)-chlorid	AlCl <sub>3</sub> + FeCl <sub>3</sub>	Lösung 1,15	Tank säurefeste Pumpe	Al <sup>3+</sup> Fe <sup>3+</sup>	19 10 0,9	1
Aluminiumsulfat	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Granulat, Pulver 1 Lösung 1,27	Silo Schnecke Tank Pumpe	Al <sup>3+</sup>	40 1,5 24 0,9	3
Aluminium-Eisen(III)-sulfat	[Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] · n H <sub>2</sub> O	Granulat 0,95	Silo Schnecke u. Exzenter-pumpe	Al <sup>3+</sup> Fe <sup>3+</sup>	82 10 3,2	2
Eisen(II)-chlorid	FeCl <sub>2</sub>	Lösung 1,24 – 1,37	Tank säurefeste Pumpe	Fe <sup>2+</sup> → Fe <sup>3+</sup>	86 – 135 1,5 – 2,4	1
Eisen(III)-chlorid	FeCl <sub>3</sub>	Lösung 1,41 – 1,43	Tank säurefeste Pumpe	Fe <sup>3+</sup>	135 – 138 2,4 – 2,5	1
Eisen(III)-chloridsulfat	FeClSO <sub>4</sub>	Lösung 1,43 – 1,52	Tank säurefeste Pumpe	Fe <sup>3+</sup>	123 2,2	1
Eisen(II)-sulfat	FeSO <sub>4</sub> · 7 H <sub>2</sub> O	restfeuchtes (Grün-)Salz 1	Einsumpf-bunker Pumpe	Fe <sup>2+</sup> → Fe <sup>3+</sup>	178 – 195 3,2 – 3,5	2
Eisen(II)-sulfat	FeSO <sub>4</sub> · n H <sub>2</sub> O	Granulat 0,8	Silo Schnecke und Exzenterpumpe	Fe <sup>2+</sup> → Fe <sup>3+</sup>	195 3,5	3
Eisen(III)-sulfat	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Lösung 1,5	Tank säurefeste Pumpe	Fe <sup>3+</sup>	118 2,1	1
Calciumhydroxid Weisskalkhydrat (gelöschter Kalk) stabilisierte Kalkmilch (20 %ig)	Ca(OH) <sub>2</sub>	Pulver 0,45 Suspension 1,15	Silo Schnecke Tank Exzenterpumpe	Ca <sup>2+</sup>	376 9,4 75 1,9	12,5
Natriumaluminat	NaAl(OH) <sub>4</sub>	Lösung 1,3 – 1,5	Tank Pumpe	Al <sup>3+</sup>	62 – 105 2,3 – 3,9	14
Polyaluminium-(hydroxid)-chlorid (PAC)	[Al(OH) <sub>3-x</sub> Cl <sub>x</sub> ] <sub>n</sub>	Lösung 1,2 – 1,37	Tank säurefeste Pumpe	Al <sup>3+</sup>	70 – 90 2,6 – 3,3	1 - 3
Polyaluminium-(hydroxid)-chlorid-sulfat	Al <sub>x</sub> (OH) <sub>3-x</sub> Cl <sub>x</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>k</sub>	Lösung 1,4	Tank säurefeste Pumpe	Al <sup>3+</sup>	52 – 90 1,9 - 3,3	1
Polyaluminium-Eisen(III)-chlorid	[Al(OH) <sub>3-x</sub> Cl <sub>x</sub> ] <sub>n</sub> + FeCl <sub>3</sub>	Lösung 1,3	Tank säurefeste Pumpe	Al <sup>3+</sup> Fe <sup>3+</sup>	59 6 – 15 2,3 – 2,5	1



Fällmittel sind wassergefährdende Stoffe im Sinne des Abschnitts 3, § 62 und 63 Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2009). Anlagen zum Umgang mit Fällmitteln müssen den Anforderungen des § 63 WHG entsprechen. Weiterhin gelten § 41 Hessisches Wassergesetz (HWG, 2010) sowie die Hessische Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (VAwS-Hessen, 2009, Anlagenverordnung - VAwS).

Alle Lager- und Dosieranlagen für Fällmittel müssen diesen Anforderungen entsprechen. Fällmittel werden üblicherweise in die Wassergefährdungsklasse 1 (WGK 1) eingestuft. Bei dieser Einstufung (s. Sicherheitsdatenblatt) müssen Behälter bis zu einem Volumen von 100 m<sup>3</sup> der Wasserbehörde nicht angezeigt werden. Die Prüfung durch einen Sachverständigen ist nicht erforderlich. Die Anlagensicherheit ist vom Betreiber eigenverantwortlich zu gewährleisten.

### 4.3.3 Verfahrenstechniken

Der Einsatz der chemischen P-Fällung stellt den Stand der Technik dar. Die verschiedenen Verfahren werden nachfolgend dargestellt:

- Vorfällung
- Simultanfällung
- Nachfällung
- Flockungsfiltration
- Zweipunktfällung

#### 4.3.3.1 Vorfällung

Bei der Vorfällung (Abbildung 4.3-3) werden die Fällmittel vor dem Sandfang oder vor dem Vorklärbecken zugegeben. Die Fällungsprodukte werden mit dem Primärschlamm im Vorklärbecken abgeschieden. Bei diesem Verfahren werden neben den Phosphaten auch organische und abfiltrierbare Stoffe entfernt.

Durch die Entnahme organischer Stoffe wird für die nachfolgende Belebung das Kohlenstoff / Stickstoff-Verhältnis (BSB<sub>5</sub>/N-Verhältnis) verringert, was sich negativ auf die nachfolgende Denitrifikation auswirken kann. Es ist daher bei der Planung und Wertung des Verfahrens der Vorfällung zu prüfen, ob in der nachfolgenden Belebungsanlage noch genügend P für das Biomassenwachstum vorhanden ist sowie ob das BSB<sub>5</sub> / N-Verhältnis für die erforderliche Denitrifikation ausreichend bleibt.

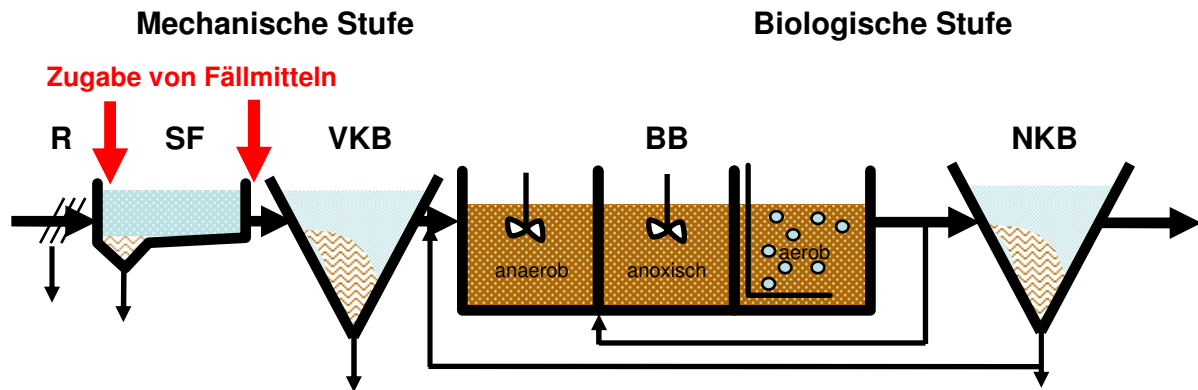


Abbildung 4.3-3: Verfahren der Vorfällung; Dosierung vor dem Sandfang oder dem Vorklärbecken

#### 4.3.3.2 Simultanfällung

Die Simultanfällung ist das am häufigsten eingesetzte Verfahren. Die Dosierung des Fällmittels erfolgt in die Belebungsanlage, wobei als Dosierstelle häufig der Zulauf zum Nachklärbecken bzw. in Einzelfällen der Zulauf zum Belebungsbecken gewählt wird. Das beste Regelverhalten ist zu erwarten, wenn das Fällmittel in den Ablauf des Belebungsbeckens dosiert wird. Die P-Messung erfolgt dann zweckmäßigerweise im Zulauf zur Nachklärung. Bei diesen Varianten ist eine besonders sorgfältige Einmischung des Fällmittels in das Abwasser sicherzustellen, so dass an der nicht weit entfernt liegenden Messstelle die Fällungsreaktion weitgehend abgeschlossen ist. Eine Dosierung in den Rücklaufschlamm hingegen ist nachteilig, da dort vergleichsweise wenig Phosphat vorliegt und das Fällmittel vor allem mit den Hydroxiden zu Metallhydroxiden reagiert.

Wird die Simultanfällung mit Verfahren der biologischen Phosphor-Elimination kombiniert, sollte die Dosierung in den Zulauf zum Nachklärbecken erfolgen, da der Prozess der P-Einbindung in die Biomasse vor allem im belüfteten Teil des Belebungsbeckens erfolgt.

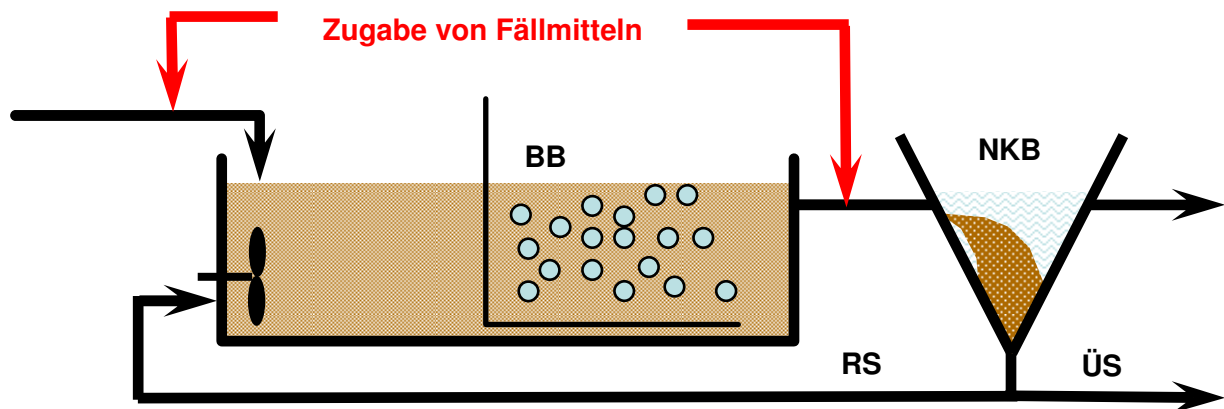


Abbildung 4.3-4: Verfahren der Simultanfällung; hier Dosierung im Zulauf zum Belebungsbecken bzw. im Zulauf zum Nachklärbecken

Zur Simultanfällung können alle handelsüblichen Fällungschemikalien verwendet eingesetzt werden. Bei Verwendung von  $\text{Fe}^{2+}$ -Verbindungen muss darauf geachtet werden, dass ausreichend Sauerstoff zur Oxidation zu dreiwertigem Eisen ( $\text{Fe}^{3+}$ ) zur Verfügung steht. Daher wird von einer Dosierung von  $\text{Fe}^{2+}$ -Verbindungen im Übergangsbereich Belebung / Nachklärung abgeraten.

Bei Verwendung von dreiwertigen Eisensalzen hat sich die Dosierstelle Zulauf Nachklärbecken als günstig erwiesen.

Aufgrund der langen Aufenthaltszeit der Eisenverbindungen in der Belebungsstufe (im Mittel ein Schlammalter) verfügt dieses Verfahren über eine große Pufferwirkung für Phosphorspitzen im Zulauf, die damit nicht in den Ablauf durchschlagen.

Die Simultanfällung kann nach ATV-DVWK A 202 auch bei belüfteten und unbelüfteten Teichen eingesetzt werden. Bei unbelüfteten Teichen wird die Anwendung von Kalk (Vermeidung von Eisensulfidbildung) empfohlen.

Da der Fällschlamm sich in der Belebungsanlage bildet und damit Teil des belebten Schlammes ist, muss dieser inerte Schlamm bei der Bemessung – bzw. der Nachrechnung - der Belebungsanlage berücksichtigt werden. Hinweise sowie Bemessungsvorgaben sind z.B. dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 zu entnehmen.

### 4.3.3.3 Nachfällung

Die Nachfällung ist dadurch gekennzeichnet, dass Fällung und Flockung sowie die Abscheidung der geflockten Substanzen in einer getrennten, der biologischen Reinigung

nachgeschalteten Stufe vorgenommen werden. Die Nachfällungsstufe besteht prinzipiell aus 3 Prozesseinheiten:

- Einmischung in Rohrleitung oder Gerinne mit entsprechenden Einbauten (statische oder dynamische Mischer),
- Flockungsreaktor mit schonender Rührtechnik,
- Abtrennung durch Sedimentation (Absetzbecken oder Lamellenabscheider).

Die Nachfällung bildet eine eigene Prozesseinheit und beeinflusst die vorgeschalteten biologischen Prozesse kaum. Darüber hinaus sind die Schwankungen in der Zulaufkonzentration zur Nachfällung relativ gering, damit ist eine bessere Anpassung der Fällmitteldosierung möglich.

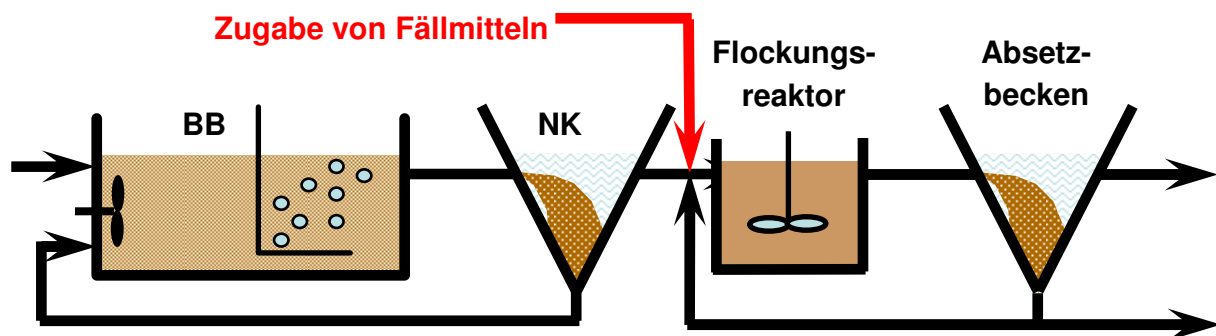


Abbildung 4.3-5: Verfahren der Nachfällung; hier Dosierung im Ablauf des Nachklärbeckens

#### 4.3.3.4 Flockungsfiltration

Bei der Flockungsfiltration werden die sich in einem vorgeschalteten Flockungsreaktor oder in dem Filterbett selbst gebildeten Makroflocken durch eine Filtration abgetrennt. Da mit diesem Verfahren sehr niedrige Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen erreicht werden kann, sind sehr niedrige P-Ablaufwerte  $< 0,5 \text{ mg/l } P_{\text{ges.}}$  (z.T.  $< 0,3 \text{ mg/l}$ ) erreichbar.

Die Flockungsfiltration wird sinnvollerweise nur als 2. Stufe, z. B. nach Vor- oder Simultanfällung oder biologischer Phosphatentfernung, eingesetzt. Als Zulauf-Konzentration zur Flockungsfiltration werden Werte  $< 2 \text{ mg/l } P_{\text{ges.}}$  empfohlen. Um damit Ablaufwerte von  $< 0,5 \text{ mg/l } P_{\text{ges.}}$  erreichen zu können, ist ein Molverhältnis  $Me/P$  ( $\beta$ -Wert) von 2 bis 3 erforderlich.

Die in der Flockungsfiltration eingesetzten Filter lassen sich unterteilen in:

- Raumfilter: Filterbetthöhe 1 - 2,5 m (Suspensarückhalt im gesamten Filter),
- Flächenfilter: Tuchfilter oder Mikrosieb (Suspensarückhalt an der Filteroberfläche: keine biologisch intensivierte Wirkung).

Die Flockungsfiltration bildet eine eigene Prozesseinheit und beeinflusst die vorgeschalteten biologischen Prozesse kaum. Darüber hinaus sind die Schwankungen in der Zulaufkonzentration zur Flockungsfiltration vergleichsweise gering, und damit ist eine bessere Anpassung der Fällmitteldosierung möglich.

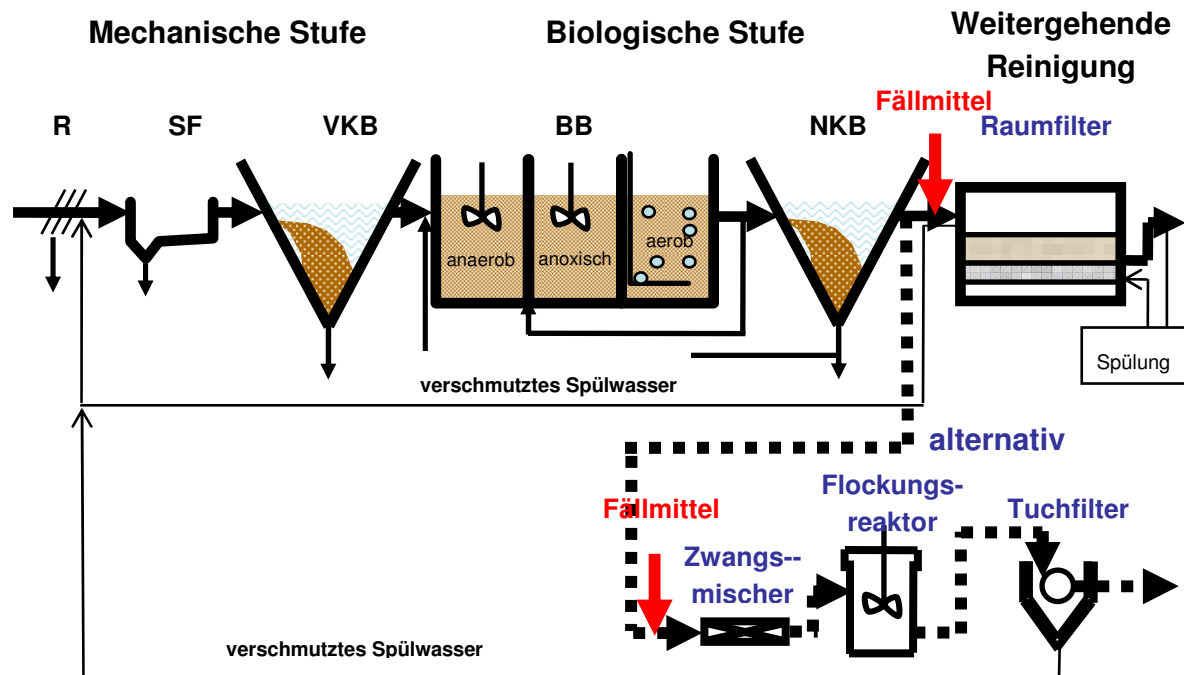


Abbildung 4.3-6: Verfahren der Flockungsfiltration; oben: Einsatz eines Raumfilters, unten: Einsatz eines Flächenfilters (Tuchfilter)

#### 4.3.3.5 Zweipunktfällung

Unter der Zweipunktfällung versteht man den Einsatz der chemischen P-Fällung durch Dosierung des Fällmittels an zwei Einsatzstellen. Es bieten sich folgende Kombinationen an:

- Vorfällung und Simultanfällung,
- Simultanfällung und Flockungsfiltration (wie in Kap. 4.3.3.4 bereits beschrieben, ist der Einsatz der Flockungsfiltration ohne eine vorherige P-Elimination nicht sinnvoll),
- Vorfällung und Nachfällung,
- Simultanfällung und Nachfällung.

Die Kombination zweier Dosierstellen geschieht aus folgenden Gründen:

- frühzeitige Entlastung nachfolgender Verfahrensstufen, z.B. zum Erreichen von wirtschaftlichen Filterlaufzeiten bei der Flockungsfiltration,

- wirtschaftlicher Einsatz der Chemikalien (erfahrungsgemäß ist der Gesamtwirkungsgrad bei Zweipunktfällung größer als bei der Dosierung der Gesamtmenge der Chemikalien an einem Zugabepunkt),

Bei der Zweipunktfällung wird in der Regel die Fällmitteldosierung für die erste Dosierstelle ohne aufwendige Regelung mit einer rein stöchiometrischen Dosiermenge ( $\beta$ -Wert = 1) erfolgen. Eine Regelung oder Steuerung der Dosierung kann auf die 2. Stufe beschränkt werden (vgl. ATV-DVWK-A 202, 2002). Insgesamt erfordert die Zweipunkt-Fällung aber höhere Investitionen als eine Simultanfällung.

Bei Kombination der Vorfällung mit einer Simultanfällung muss beachtet werden, dass die P-Elimination in der Vorklärung nur soweit betrieben wird, dass für die nachgeschaltete Belebungsstufe noch ausreichend Phosphor für den Biomassenaufbau bleibt.

Mit der Zweipunkt-Fällung als Kombination von Vor- und Simultanfällung oder Simultanfällung und Flockungsfiltration können heute P-Ablaufwerte als Betriebsmittelwerte im Bereich von 0,2 bis 0,3 mg  $P_{\text{ges}}/l$  erreicht werden. Die niedrigen Ablaufwerte bedingen jedoch im Mittel niedrige Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen von ca. 5 mg TS/l, was wiederum eine gute Effizienz der Nachklärung bedingt.

Weiterhin ist zu beachten, dass die sich bei der Dosierung der Fällungschemikalien vor einer nachgeschalteten Filtration bildenden Schlammflocken relativ instabil und leicht mechanisch zerstörbar sind. Dies konnte auch in Versuchen mit einer Tuchfiltrationsanlage festgestellt werden.

Überschlägig kann durch den Einsatz der Zweipunktfällung von einer Reduzierung der Fällmittelmenge in der Größenordnung 15 – 25 % ausgegangen werden, wenn Ablaufkonzentrationen von 0,5 mg P / l oder darunter angestrebt werden; gleichzeitig wird auch die zu entsorgende Fällschlammmenge um diese Größenordnung reduziert.

#### 4.3.4 Erreichbare Ablaufwerte durch Verfahren der chemischen Fällung

Tabelle 4.3-1: Fällungsverfahren – Dosierstellen, Leistung, Flockenabtrennung (nach ATV-DVWK, A 202, 2004)

	Vorfällung	Simultanfällung	Nachfällung	Flockungsfiltration
<b>einhaltbarer Überwachungswert (mg P/l)</b>	2	1	1	0,5
<b>möglicher Betriebswert (mg P/l)</b>	1,0 - 1,8	0,3 - 0,8	0,3 - 0,8	0,2 - 0,3
<b>Dosierstelle(n)</b>	vor Vorklärbecken (z.B. Venturi, belüfteter Sandfang)	vor / in / nach Belebungsbecken	nach Nachklärbecken	zweifach wie bei Simultan- und Nachfällung
<b>Einmischung</b>	Stellen hoher Turbulenz	Stellen hoher Turbulenz	Mischer	wie bei Simultan- und Nachfällung
<b>Ort der Flockenabtrennung</b>	Vorklärbecken	Nachklärbecken, Absetzteich	zusätzliche Sedimentation oder Flotation	1. Stufe: vorhandenes Nachklärbecken, 2. Stufe: Filter

#### 4.3.5 Fällmitteldosierung, Ermittlung der Fällmittelmenge

Der zur Einhaltung eines Überwachungswertes erforderliche Fällmittelbedarf wird beeinflusst durch (nach TMLNU, 2009, ergänzt):

- die in einer mechanischen Vorbehandlung eliminierte Phosphatfracht,
- das Ausmaß der biologischen Phosphorbindung,
- das Mess-, Steuerungs- und Regelungskonzept,
- die Dosierstelle,
- die Höhe des Überwachungswertes,
- den pH-Wert des Rohabwassers,
- die Konzentration an Substanzen, die mit den verwendeten Fällmitteln Komplexe bilden, z.B. zwischen Eisenionen und Huminstoffen,
- die Konzentration an Verbindungen, die sich als „schuttschichtartige“ Umhüllungen an Feststoffe anlagern können und damit die Wirkung von Flockungshilfsmitteln erschweren.

Außerdem muss die Fällmitteldosierung den schwankenden Zulauf- bzw. Ablauffrachten angepasst werden können. Wegen konkurrierender Reaktionen ist dabei i.d.R. überstöchiometrisch zu dosieren. Jede Überdosierung führt jedoch zu einer Bildung von Hydroxiden oder Carbonaten, die wegen der damit verbundenen vermehrten Schlamm Bildung unerwünscht sind. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass durch die Fällmitteldosierung andere Reinigungsziele, insbesondere die Nitrifikation, nicht nachteilig beeinflusst werden. Insbesondere sind die Abnahme von pH-Wert und Säurekapazität von Bedeutung (TMLNU, 2009, vgl. ATV-DVWK-M 206, 2001).

Die erforderliche zu dosierende Fällmittelmenge wird zweckmäßigerweise über den  $\beta$ -Wert abgeschätzt. Dieser ist definiert als Molverhältnis zwischen dosiertem Metall und zu fällendem Phosphor:

$$\beta = \text{mol Me/mol } X_{P,\text{Fäll}}$$

Der zu fällende Phosphor  $X_{P,\text{Fäll}}$  entspricht dem Phosphor im Zulauf minus dem Phosphor im Ablauf der jeweiligen Stufe, vermindert um den heterotrophen und um den durch eine biologische Phosphatentfernung gebundenen Phosphor.

Bezüglich der Berechnung der erforderlichen Dosiermengen das Berechnungsbeispiel im Anhang A des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 202 nachfolgend hier wieder gegeben:

#### **Berechnung des zu fällenden Phosphors $X_{P,\text{Fäll}}$ :**

$$X_{P,\text{Fäll}} = C_{P,\text{ZB}} - C_{P,\text{aM,AN}} - X_{P,\text{BM}} - X_{P,\text{BioP}} \quad [\text{mg/l}]$$

mit:

$X_{P,\text{Fäll}}$	Konzentration des zu fällenden Phosphors,
$C_{P,\text{ZB}}$	Konzentration des Phosphors in der homogenisierten Probe im Zulauf
$C_{P,\text{aM,AN}}$	Konzentration des Phosphors in der homogenisierten Probe im Ablauf des Nachklärbeckens, Ansatz aus Sicherheitsgründen ca. 60 – 70 % des Überwachungswertes,
$X_{P,\text{BM}}$	zum Zellaufbau benötigter Phosphor bei Kohlenstoffabbau und Nitrifikation,
$X_{P,\text{BioP}}$	durch biologische P-Elimination (Denitrifikation und anaerobes Vorbecken) entfernbarer Phosphor.

Die nachfolgende Abbildung 4.3-7 (aus TMLNU, 2009) zeigt exemplarisch den Aufbau einer Phosphor-Bilanz einer Kläranlage mit Nitrifikation, Denitrifikation und Anaerobbecken.  $C_{P,\text{ZB}}$  wird mit 18 mg/l und  $C_{\text{BSB}_5}$  wird mit 570 mg/l angesetzt, der Überwachungswert liegt bei 2 mg/l.



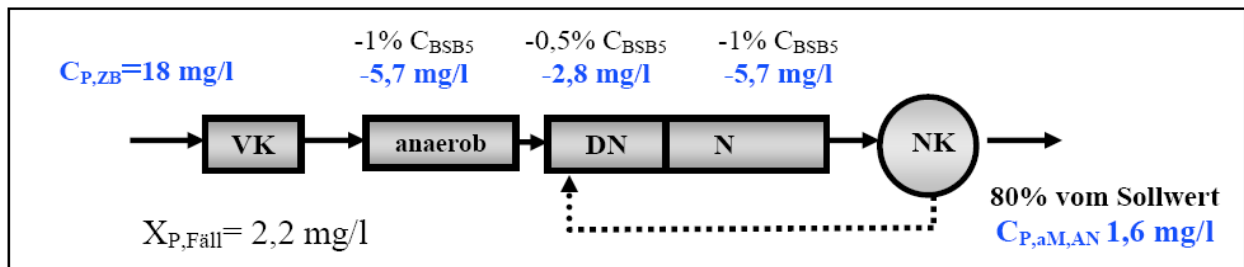


Abbildung 4.3-7: Beispiel für eine Phosphorbilanz nach STEINKE, 2006 (in TMLNU, 2009)

### Phosphorbindung im belebten Schlamm:

nur Zellaufbau:

$$X_{P,BM} = PB_{BM} \cdot C_{BSB,ZB}$$

bei Denitrifikation:

$$X_{P,BioP} = PB_{Deni} \cdot C_{BSB,ZB}$$

mit Anaerobbecken:

$$X_{P,BioP} = (PB_{Deni} + PB_{Ana}) \cdot C_{BSB,ZB}$$

mit den Bindungsarten:

- $PB_{BM}$  = 1,0 % (Nitrifikation)
- $PB_{Deni}$  = 0,5 % (Denitrifikation)
- $PB_{Ana}$  = 1,0 % (anaerobes Vorbecken)

### Wahl der relativen Fällmittelmenge $\beta_{Fäll}$ :

Der  $\beta$ -Wert stellt die relative Fällmittelmenge in der Einheit [mol Me/mol  $X_{P,Fäll}$ ] dar. Dabei bedeutet  $\beta = 1,5$ , dass 50 % mehr dosiert werden als für die P-Fällung stöchiometrisch erforderlich wären.

$$\beta_{FÄLL} = \frac{X_{Me} / AM_{Me}}{X_{P,FÄLL} / AM_P}$$

mit:

$X_{Me}$  erforderliche Fällmittelmenge (Metall) (mg Me / l Abwasser),

$X_{P,Fäll}$  zu fällender Phosphor (mg P / l Abwasser),

$AM_{Me}$  Atommasse des Metalls (mg / mmol),

$AM_P$  Atommasse des Phosphors (mg / mmol)

und den Molmassen:

(P) Phosphor 31

(Fe) Eisen 56

(Al) Aluminium 27

Als erster Anhaltswert für den  $\beta$ -Wert ist bei der Vorfällung, der Simultanfällung und der Nachfällung je nach angestrebter P-Ablaufkonzentration sowie in Abhängigkeit des Mess-, Steuerungs- und Regelungskonzepts sowie der Dosierung ein Wert von  $\beta = 1,2$  bis  $1,8$  anzusetzen. Zu beachten ist, dass die notwendigen  $\beta$ -Werte mit strengerem Überwachungswert und abnehmender zu fällender Phosphatkonzentration steigen. Bei der Flockungsfiltration und der Nachfällung als zweite Stufe ist demgemäß ein  $\beta$ -Wert von ca.  $2,5$  zu verwenden.

Tabelle 4.3-2: Übliche  $\beta$ -Werte bei unterschiedlichen Verfahren der P-Elimination (nach BARJENBRUCH, 2007, in TMLNU, 2009)

Verfahren	$\beta$ -Wert	$C_P$ [mg/l]
Vorfällung	2 - 3	2
Simultanfällung	1,2 - 1,5	1 - 1,5, teilweise < 1
Nachfällung	2 - 3	0,8 – 1,5
Filtration	2 - 2,5	< 0,5

### Wirkungsbeiwert z:

Aus den Angaben der Hersteller der Fällmittel für den Gehalt an Eisen  $WS_{Fe}$  und Aluminium  $WS_{Al}$  wird ein Wirkungsbeiwert  $z$  mit Hilfe der relativen Atommassen ( $AM_X$ ) berechnet:

$$z = \frac{AM_P}{AM_{Fe}} \cdot WS_{Fe} + \frac{AM_P}{AM_{Al}} \cdot WS_{Al} = 0,555 \cdot WS_{Fe} + 1,148 \cdot WS_{Al}$$

### Dosiermenge des Fällmittels:

- **mittlere zu dosierende absolute Fällmittelmenge  $B_{d,FM}$  (g Fällmittel/d):**

$$B_{d,FM} = X_{P,FÄLL} \cdot \beta_{Fäll} \cdot \frac{Q_{T,d}}{z} \text{ [g/d]}$$

mit:

$Q_{T,d}$  der täglichen Abwassermenge bei Trockenwetter ( $m^3/d$ ),

$X_{P,Fäll}$  zu fällender Phosphor (mg/l),

$\beta_{Fäll}$  zu wählende relative Fällmittelmenge (mol Me/mol  $X_{P,Fäll}$ ),

$z$  dem Wirkungsbeiwert (siehe unten)

- **maximale stündliche Dosierung  $B_{h,FM}$  (g Fällmittel/h):**

$$B_{h,FM} = B_{d,FM} \cdot \frac{f_P}{24} \text{ [g/h]}$$

mit

$B_{d,FM}$  der absoluten Fällmittelmenge in (g Fällmittel/d) und

$f_P$  Stoßfaktor analog zu ATV-DVWK-A 131

### Fällmitteldosierung bei flüssigen (gelösten) Fällmitteln

Da das Fällmittel in den meisten Fällen als Lösung dosiert wird, wird mit der Dichte  $\rho_{\text{FML}}$  aus den Herstellerangaben der zu dosierende Volumenstrom  $Q_{\text{FM}}$  des gelösten Fällmittels wie folgt berechnet (als Tagesdosiermenge  $Q_{\text{d,FM}}$  bzw. als stündliche Dosiermenge  $Q_{\text{h,FM}}$ ):

$$Q_{\text{d,FM}} = \frac{B_{\text{d,FM}}}{\rho_{\text{FML}}} \quad [\text{l/d}]$$

$$Q_{\text{h,FM}} = \frac{B_{\text{h,FM}}}{\rho_{\text{FML}}} \quad [\text{l/h}]$$

#### 4.3.6 Dosiertechnik, Regelungstechnik

An dieser Stelle werden nur orientierende Hinweise zur Dosiertechnik gegeben. Genaue Hinweise sind dem ATV-DVWK-Merkblatt M 206, 2001, zu entnehmen.

Rohrleitungen in Fällmittelstationen werden in der Regel aus korrosionsbeständigem Kunststoff (PVC oder HDPE) ausgeführt. Komplette und vorschriftsmäßige Dosierstationen werden von einschlägigen Fachfirmen und den Fällmittellieferanten angeboten. Es ist darauf zu achten, dass die Behälter einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis besitzen, d.h. entweder nach Bauregelliste A, Teil 1, Nr. 15 geeignet sind oder nach allgemein bauaufsichtlicher Zulassung. Fällmittel sind Gefahrstoffe im Sinne § 3 des Gesetzes zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG) und des § 4 der Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) (ATV-DVWK-A 202, 2002).

Wesentliche Einrichtungen und Ausrüstungsgegenstände von Fällmitteldosierstationen sind (ohne Anspruch auf Vollständigkeit gemäß den gesetzlichen Anforderungen):

- Abfüllplatz, sofern die Chemikalien auf dem Gelände der Kläranlage abgefüllt werden, mit getrenntem Auffangen von Fällungschemikalien, ausgeführt in der Regel als undurchlässige, säurefeste Gussasphaltdecke mit korrosionsfester Oberflächenwasserfassung und Kanaleinlauf,
- Vorratsbehälter, ggf. Lösebehälter (für feste Fällmittel wie Eisen(II)sulfat  $\text{FeSO}_4$ ), mit Auffangwanne und zum Teil Leckagewarnung, Volumen abhängig vom Fällmittelbedarf (bei kleinen Anlagen häufig als 1-m<sup>3</sup>-Wechselbehältern (mit Prüfzeiche), IBC), bei größeren Anlagen bei Tankwagenbefüllung ca. 20 - 30 % größer als eine Tankwagenladung,
- Mess- und Analysentechnik (Probenahmestellen und Analysentechnik bzw. –sonden),
- Dosiertechnik, bestehend aus Dosierpumpen, Rohrleitungen, Armaturen,
- Einmischung des Fällmittels,

- Sicherheitsvorkehrungen, z.B. Absicherung der Lager- und Dosierbehälter sowie der Dosiereinrichtungen,
- Kennzeichnung der Lager- und Dosierbehälter sowie der Dosiereinrichtungen,
- Not-Aus-Schalter,
- Augenspülung oder Schutzausrüstung,
- Produktdatenblätter, Sicherheitsdatenblätter, Sicherheitsvorschriften, Unfallverhütungsvorschriften, anlagenspezifischer Alarmplan sind vor Ort bereitzuhalten.

Als Übergangslösung insbesondere für Dosierversuche kann die Dosierung des Fällmittels direkt aus einem Lager- und Transportbehälter erfolgen. Die Dosierpumpe wird hierbei häufig direkt auf dem Dosier- und Lagerbehälter angebracht. Bei dieser Dosiertechnik wird in der Regel nur mit einer konstanten Einstellung (konstante Dosiermenge) gearbeitet; eine Steuerung der Dosierpumpe ist zwar möglich, aber selten realisiert. Aufgrund der vergleichsweise geringen Fällmittelmenge in den Lagerbehältern findet eine solche Technologie auch nur bei kleinen Kläranlagen Anwendung.

Zu der notwendigen Ausstattung einer Anlage zum Lagern und Dosieren flüssiger Fällmittel wird auf das Merkblatt ATV-DVWK M 206 verwiesen. Werden Lagerbehälter nicht doppelwandig ausgeführt sind sie in abflusslosen Auffangwannen mit zumindest dem gleichen Rauminhalt des Lagevolumens aufzustellen.

Auf die für die Vorfällung, die Simultanfällung und die Nachfällung sinnvollen Dosier- und Messstellen für die Fällmittelzugabe in Abschnitt 6.2 des ATV-DVWK-Merkblatt M 206 wird hingewiesen.

Die Fällmitteldosierung selbst erfolgt nach verschiedenen Mess- und Regelungskonzepten. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

### **1. konstante Dosierung (nur zu Versuchszwecken und bei kleinen Kläranlagen)**

Die konstante Dosierung mit fest eingestellter Fördermenge stellt die einfachste Variante der Fällmitteldosierung dar. Eine Regelung nach Mengen oder Frachten unter Berücksichtigung von Tagesganglinien oder tatsächlichen Messwerten erfolgt nicht. Eine derartige konstante Dosierung kann zwangsläufig keine Anpassung an tatsächliche Zu- oder Ablaufkonzentrationen beinhalten und bietet daher auch keine Sicherheit in Bezug auf ggf. einzuhaltenen  $P_{ges.}$ -Ablaufgrenzwerte.

Diese Dosiervariante kann daher nur empfohlen werden, um eine Reduzierung der P-Ablauffracht zu erreichen, ohne dass Anforderungen an die P-Ablaufkonzentrationen als Überwachungswerte festgelegt sind.

Die Ermittlung der Dosiermenge erfolgt nach folgendem Vorgehen (gemäß ATV-DVWK A 202, 2004):

- Ermittlung der mittleren Trockenwetter-Zulaufmenge aus Messungen bzw. der Auswertung des Betriebstagebuches.
- Entnahme von Tagesmischproben von Zu- und Ablauf und Analyse auf die Parameter  $\text{PO}_4\text{-P}$  und  $\text{P}_{\text{ges}}$  (in der Regel im Rahmen der Eigenüberwachung).
- Berechnung der theoretischen Phosphor-Zulauf- und Ablauftagesfracht.
- Festlegung einer anzustrebenden P-Ablaufkonzentration.
- Festlegung der zu fällenden P-Fracht.
- Festlegung des  $\beta$ -Wertes als Molverhältnis  $\text{Me} / \text{P}$ .
- Errechnung der Tagesdosiermenge an Wirksubstanz (Eisen- oder Aluminium).
- Errechnung der Tagesdosiermenge an Fällmittel unter Heranziehung des prozentualen Anteils der Wirksubstanz an dem gewählten Fällmittel.
- Umrechnung auf die stündliche zu dosierende Fällmittelmenge und Einstellung der Dosierpumpe.

Die Dosiertechnik erfordert nur sehr geringe Investitionen, die sich auf den Vorlagebehälter für das Fällmittel und eine regelbare Dosierpumpe beschränken. Hersteller und Vertreiber von Fällmitteln bieten derartige „Dosierstationen“ häufig auch als Mietanlagen an, die dann über den spezifischen Fällmittelpreis finanziert werden.

## **2. Dosierung nach einem vorgegebenen Zeitplan (sinnvoll nur bei kleinen Kläranlagen ohne Online-P-Messtechnik)**

Für die Fällmitteldosierung nach einem vorgegebenen Zeitplan ist eine Zulauf-Mengenganglinie und Zulauf-Frachtganglinie vorzugeben. Diese Ganglinien, in der Regel als Vorgabe von Stunden-Werten, müssen in die Regelung der Dosierpumpen einprogrammiert werden. Eine programmierbare Dosierpumpe ist daher erforderlich.

Eine Anpassung an tatsächliche gemessene P-Zulauf- oder Ablaufkonzentrationen ist mit dieser Dosierung nicht möglich.

Die Ermittlung der Tagesganglinie der Dosiermenge erfolgt nach folgendem Vorgehen (gemäß ATV-DVWK A 202, 2004):

- Ermittlung einer repräsentativen Trockenwetter-Zulaufganglinie; vorgeschlagen wird die Festlegung der Zulauf-Ganglinie als Stunden-Werte (oder ggf. 2-h-Werte) in  $[\text{m}^3/\text{h}]$ .
- Entnahme von Stunden- (oder ggf. 2-h) -Mischproben von Zu- und Ablauf und Analyse auf die Parameter  $\text{PO}_4\text{-P}$  und  $\text{P}_{\text{ges}}$ ; vorgeschlagen wird die Probenahme an mindestens 5 repräsentativen Trockenwettertagen.
- Errechnung einer repräsentativen P-Konzentrations-Ganglinie für Zulauf und Ablauf.

- Berechnung der sich aus den Mengen-Ganglinien und den Konzentrations-Ganglinien ergebenden Phosphor-Zulauf- und Abauffrachten als Stunden- (oder 2-h)-Ganglinien.
- Festlegung einer anzustrebenden P-Ablaufkonzentration (ggf. in Anlehnung eines vorgegebenen Überwachungswertes).
- Festlegung der zu fällenden P-Stundenfracht.
- Festlegung des  $\beta$ -Wertes als Molverhältnis Me / P.
- Errechnung der Dosiermenge pro Stunde an Wirksubstanz (Eisen- oder Aluminium).
- Errechnung der Dosiermenge pro Stunde an Fällmittel unter Heranziehung des prozentualen Anteils der Wirksubstanz an dem gewählten Fällmittel.
- Einstellung der Dosierpumpe.

Um den Unterschieden zwischen Werktagen und Wochenenden sowie Einflüsse industrieller Einleiter Rechnung zu tragen, können hierfür unterschiedliche Datensätze ermittelt und programmiert werden.

Soll mit einer derartigen Dosierung ein Überwachungswert sicher eingehalten werden, muss im Allgemeinen eine erhebliche Überdosierung der Fällmittel vorgenommen werden, da sonst Frachtspitzen nicht sicher abgedeckt werden können. Im Hinblick auf die Fällmittelkosten und den mit der Fällmittelzugabe verbundenen höheren Schlammanfall ist diese Strategie nur bei kleinen Anlagen zu empfehlen.

Diese Variante der Fällmitteldosierung soll nur bei kleinen Anlagen erfolgen, bei denen keine Messeinrichtungen für Abwassermengen bzw. P-Konzentrationen verfügbar sind, die als Steuersignale für die Dosierpumpen genutzt werden können.

### **3. Dosierung nach dem Abwasserfluss (sinnvoll nur bei kleinen Kläranlagen ohne Online-P-Messtechnik)**

In diesem Fall erfolgt die Fällmitteldosierung nach der Abwassermenge. Eine Online-Erfassung der Abwassermenge (in der Regel Zuflussmenge) ist auf allen Kläranlagen installiert. Die Dosierung setzt voraus, dass die P-Konzentrationen nur gering schwanken. In diesem Fall wird die Zufluss-Mengenmessung mit der Dosierpumpe gekoppelt und die Dosiermenge zuflussproportional durchgeführt.

Auf kleineren und mittleren Anlagen lässt sich mit dieser Strategie ohne zusätzlichen messtechnischen Aufwand ein vergleichsweise effektiver und wirtschaftlicher Fällmitteleinsatz realisieren. Eine Optimierung und vor allem eine Anpassung an schwankende P-Konzentrationen sind mit dieser Regelstrategie nicht möglich.

### **4. Dosierung nach der P-Zulaufmenge**

Bei diesem Verfahren wird die P-Zulaufkraft als Produkt aus dem Abwasserfluss am Ort der P-Messung und der Phosphorkonzentration für die Steuerung der Dosiereinrichtung genutzt. (siehe Abbildung 4.3-8).

Die Fällmitteldosiermenge  $Q_{FM}$  ergibt sich dabei zu:

$$Q_{FM} = k \cdot Q \cdot C_P \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

mit:

$Q_{FM}$  Fällmittelfluss, z.B. in m<sup>3</sup>/h

$k$  Proportionalitätsfaktor, z.B. in l/mg

$Q$  Abwasserfluss am Ort der P-Konzentrationsmessung, z.B. m<sup>3</sup>/h

$C_P$  gemessene Phosphorkonzentration, z.B. mg/l

Der Proportionalitätsfaktor  $k$  (hier z.B. für eisenhaltige Fällmittel) wird wie folgt ermittelt:

$$k = f \cdot \beta \cdot \frac{55,8}{30,9} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{m_{Me}}$$

mit

$f$ : Sicherheitsfaktor (anlagenspezifisch, i.d.R. zwischen 1 und 1,5)

$\beta$   $\beta$ -Wert, z.B. 1,2 mol Me / mol P

$\rho$  Dichte der Fällmittellösung, z.B. 1200 kg/m<sup>3</sup>

$m_{Me}$  wirksamer Metallgehalt, z.B. 87 kg Fe/1000 kg Fällmittellösung (aus Datenblatt)

55,8/30,9 Verhältnis der Molmassen von Eisen und Phosphor.

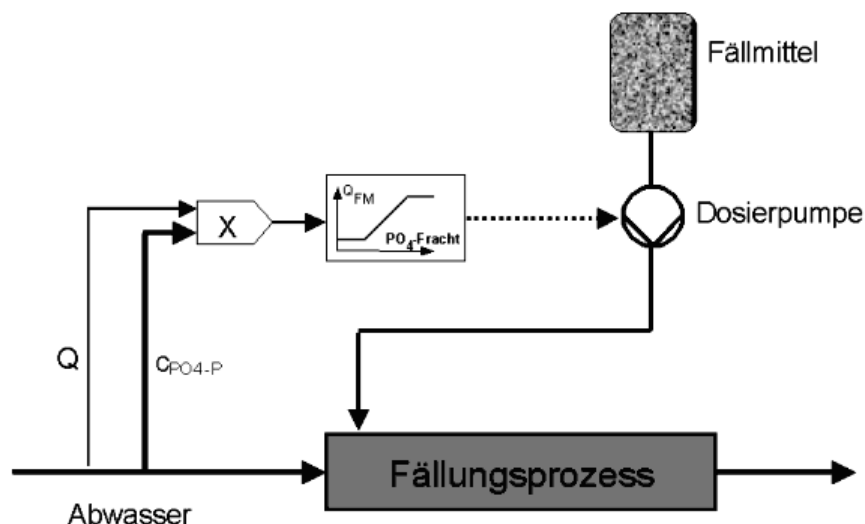


Abbildung 4.3-8: Steuerung der Fällmitteldosierung nach der P-Fracht (ATV-DVWK M 206, 2001)

## 5. Dosierung nach der P-Konzentration im Ablauf des Belebungsbeckens

Die in Bezug auf die Ausnutzung des Fällmittels und den Fällmittelverbrauch regelungstechnisch günstigste Lösung ist eine Fällmittelzugabe in den Ablauf oder den Ablaufbereich des Belebungsbeckens, wobei die Dosierung des Fällmittels in Abhängigkeit von der dort gemessenen Orthophosphat-Konzentration vorgenommen wird. Durch eine zusätzliche Koppelung mit der Abwassermenge (und damit der P-Fracht) kann diese Regelung noch verbessert werden. In beiden Fällen ist eine kontinuierliche  $S_{PO_4}$ -Messung (gelöstes Phosphat-P) erforderlich, die bei guter Durchmischung einige Meter, sonst bis zu 20 m oder mehr hinter der Dosierstelle liegen kann. (TMLNU, 2009)

Um die Einhaltung des Überwachungswertes für die  $P_{ges}$ -Konzentration ( $C_P$ ) im Ablauf der Kläranlage zu gewährleisten, muss der Sollwert für  $S_{PO_4}$  am Messort geringer sein als der Überwachungswert, da im Überwachungswert für  $P_{ges}$  auch der Phosphor in den Feststoffen im Ablauf der Kläranlage enthalten ist.

Ggf. ist noch ein Sicherheitszuschlag für Rücklösevorgänge in nachgeschalteten Behandlungsstufen (wie Nachklärbecken) zu berücksichtigen.

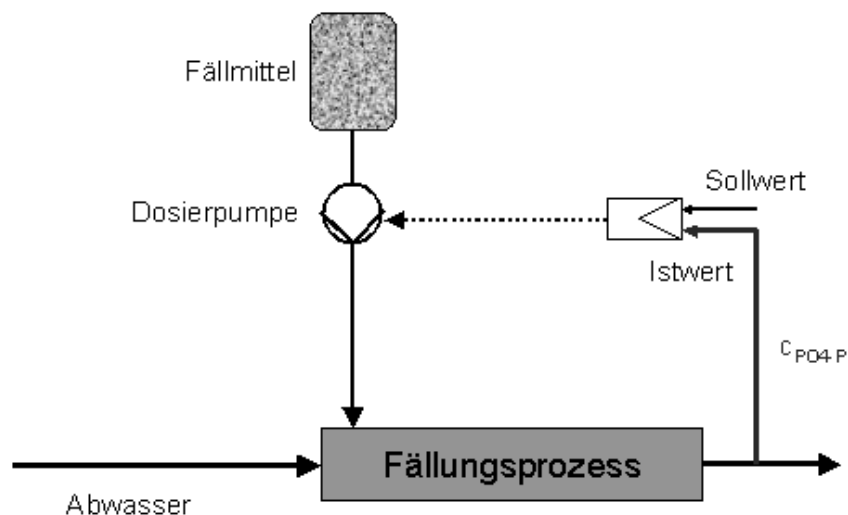


Abbildung 4.3-9: Regelung der Ortho-Phosphatkonzentration im Ablauf (ATV-DVWK M 206, 2001)

Eine Optimierung ist durch die zusätzliche Aufschaltung der Abwassermenge möglich, wodurch bei hydraulischen Stößen ggf. in der anaeroben Zone rückgelöstes Phosphat abgefangen werden kann (siehe Abbildung 4.3-10)



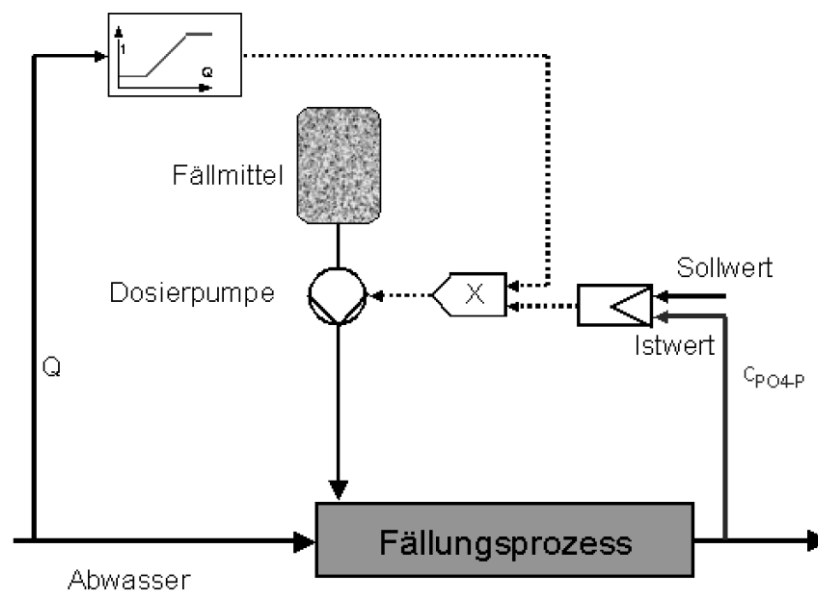


Abbildung 4.3-10: Regelung der Ortho-Phosphatkonzentration im Ablauf mit Aufschaltung des Abwasserflusses (ATV-DVWK M 206, 2001)

Welche Regelungsstrategie eingesetzt werden sollte, hängt in erster Linie von der Anlagengröße, von den vorhandenen oder einfach umzusetzenden Messtechnik sowie von den angestrebten bzw. geforderten Ablaufwerten ab.

Die Wirtschaftlichkeit einer Prozessregelung ist bei alleiniger chemischer P-Elimination maßgeblich von den Schwankungen der P-Konzentration an der Dosierstelle abhängig. Grundsätzlich kann aber festgehalten werden, dass bei Regelung der Dosiermenge über die Phosphat-Ablaufkonzentrationen in Koppelung mit der Abwassermenge die geringste Dosierung möglich ist, allerdings ist in diesem Fall auch ein erhöhter Mess- und Regelungsaufwand erforderlich (siehe Tabelle 4.3-3).

Tabelle 4.3-3: Entscheidungsmatrix für Steuerungs- und Regelungskonzepte der Fällmitteldosierung (nach TMLNU, 2009, verändert)

Verfahrenstechnik	Anlagengröße	Relative Fällmittelmenge
Steuerung nach Zeitplan	nicht zu empfehlen (bzw. nur kleine Anlagen)	--
Steuerung nach Ganglinie	kleine Anlagen	-
Steuerung nach dem Abwasserfluss	mittelgroße Anlagen	+/-
Steuerung nach der P-Fracht	große Anlagen	++
Regelung von $S_{PO_4}$	große Anlagen	++

### 4.3.7 Betriebliche Auswirkungen der Fällung

Die biologischen Mechanismen in der Belebungsanlage (Abbau organischer Inhaltsstoffe sowie Stickstoffelimination) werden durch die Fällmitteldosierung sowie durch die Bildung des Fällungsschlammes beeinflusst. Dabei sind die Einflüsse abhängig von dem eingesetzten Fällungsverfahren.

#### Vorfällung:

- Durch die mit der P-Fällung einhergehende Fällung von organischen Abwasserinhaltsstoffen (CSB, BSB<sub>5</sub>) kommt es zu einer Reduzierung des BSB<sub>5</sub>/N-Verhältnisses im Zulauf zur nachgeschalteten Belebungsstufe. Dadurch wird die nachfolgende Nitrifikation erleichtert, die Denitrifikation aber erschwert.
- Änderung der Säurekapazität des Abwassers,
- Aufgrund der Reduzierung organischer Inhaltsstoffe (CSB, BSB) wird in der nachgeschalteten Belebungsstufe das Schlammalter erhöht.

#### Simultanfällung

- In der Regel Verbesserung der Absetz- und Eindickeigenschaften,
- Erhöhung des anorganischen Anteils des belebten Schlammes, dadurch erhöhter Überschussschlammanfall,
- Reduzierung der Säurekapazität,
- Absenkung des Schlammalters,
- je nach Fällmittelart stimulierende oder hemmende Wirkung auf die Nitrifikation

#### Nachfällung

- keine Beeinflussung bei getrennter Abtrennung des Fällungsschlammes oder nur unbedeutende Beeinflussung bei Rückführung von Schlamm der Nachfällungsstufe in den Anlagenzulauf.

Bei allen Fällungsverfahren ist es wichtig, dass eine nachfolgende biologische Stufe ausreichend mit Phosphor versorgt bleibt (0,7 – 1 mg/l P je 100 mg/l BSB<sub>5</sub>) (vgl. ATV-DVWK-A 202, 2002).

Der Einsatz von Fällungschemikalien kann zudem Auswirkungen auf die Nitrifikation haben. Während der Einsatz von Eisen-(II)-Salzen zu einer Reduzierung der Nitrifikationsrate führen kann, kann der Einsatz von Eisen-(III)-Salzen das Wachstum von Nitrifikanten stimulieren.

## 4.4 Biologische Phosphor-Elimination

### 4.4.1 Grundsätzliche Mechanismen der biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P)

Bakterienwachstum in biologischen Kläranlagen ist stets mit einer Phosphorinkorporation in die Zelle verbunden.

Unter der vermehrten biologischen Phosphorelimination, im Folgenden „Bio-P“ genannt, versteht man eine über das normale, wachstumsbedingte Maß hinausgehende Phosphoraufnahme und -bindung durch den belebten Schlamm (TEICHFISCHER, 1994).

Unter bestimmten Prozess-Verfahrensbedingungen ist es möglich, Bakteriengruppen im belebten Schlamm anzureichern, die dann eine erhöhte Phosphoraufnahme besitzen. Durch diese Art der biologischen Phosphorelimination („luxury uptake“) erhöht sich daher der Phosphorgehalt des abgezogenen Überschussschlammes. Ein P-Gehalt von 30 g P/kg TS wird im Normalfall erreicht. Um die erforderlichen Prozessbedingungen für die Bio-P zu erzielen, ist ein ständiger Wechsel von anaeroben zu aeroben Verhältnissen für die Mikroorganismen erforderlich.

Vereinfacht können die Mechanismen der erhöhten biologischen P-Elimination wie folgt zusammengefasst werden (siehe Abbildung 4.4-1 und Abbildung 4.4-2):

- 1. Stufe, Anaerob-Becken:  
Es ist kein gelöster Sauerstoff ( $O_2$ ) und auch kein gebundener Sauerstoff ( $NO_x$ ) vorhanden,
  - „Spezial“-Bakterien bauen Zell-Speicherstoffe auf,
  - in den Bakterien als Energiespeicher eingelagertes Phosphat wird freigesetzt,
  - der Phosphorgehalt im Wasser steigt an (Phosphat-Rücklösung).
- 2. Stufe, Aerob-Becken:
  - Höherer Anteil „Spezial“-Bakterien,
  - Phosphor-Speicher wird wieder gefüllt, Phosphat-Aufnahme, Bindung als organisch gebundener Phosphor.
- 3. Stufe:  
Überschussschlammmentnahme (enthält einen erhöhten Anteil von P)

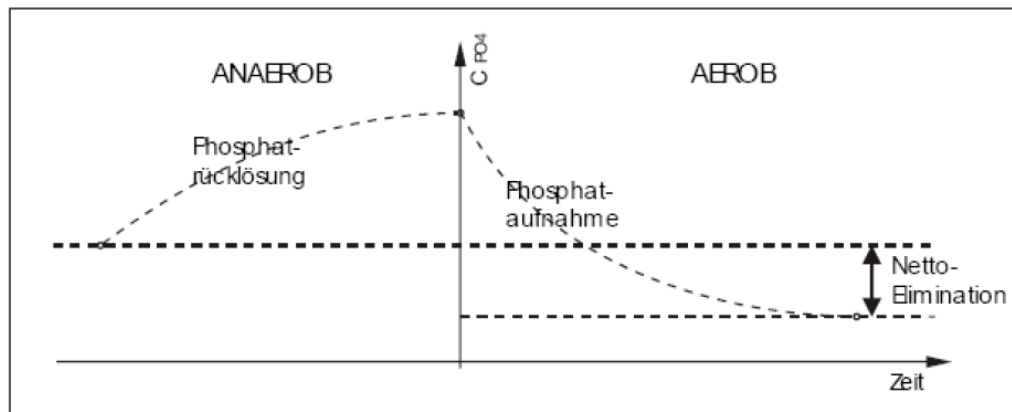


Abbildung 4.4-1: Prinzipieller Verlauf der P-Konzentration in einer Anlage zur biologischen Phosphorelimination (SCHÖNBERGER, 1990)

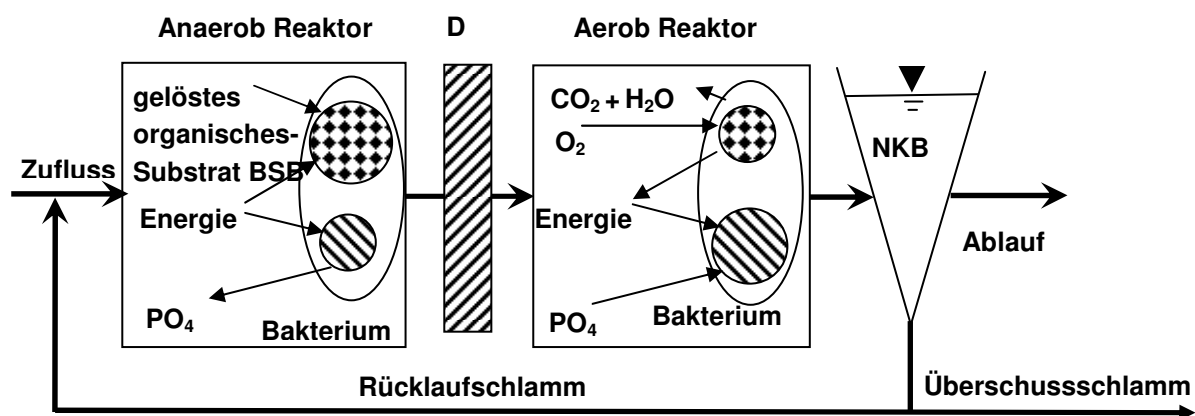


Abbildung 4.4-2: Vereinfachte Darstellung der Stoffwechselprozesse bei der biologischen Phosphorelimination (HELMER und KUNST, 1996)

Auf eine detaillierte Erläuterung der biochemischen Mechanismen der erhöhten biologischen P-Elimination wird in dieser Arbeitshilfe verzichtet.

Von besonderer Bedeutung für die erhöhte biologische P-Elimination ist der Grad der P-Rücklösung unter anaeroben Bedingungen. Je höher die Phosphatrücklösung und damit die Speicherstoffbildung, umso besser ist die anschließende Phosphoraufnahme in der aeroben Zone.

Folgende Faktoren wirken sich positiv auf die erhöhte Bio-P-Elimination aus:

- Der Eintrag von gelöstem Sauerstoff und/oder Nitrat in die anaerobe Zone muss so gering wie möglich sein. Eine direkte Rückführung aus der Nitrifikation ist daher ungüns-

tig, vorteilhaft ist ein zusätzliches Denitrifikationsbecken ausschließlich für den Rücklaufschlamm (siehe ISAH-Verfahren).

- Der Gehalt an leicht abbaubaren Substraten (z.B. leicht abbaubarer BSB<sub>5</sub>, organische Säuren) im Zulauf zum Anaerob-Becken ist förderlich. Vorteilhaft kann daher eine Zuführung von versäuertem Primärschlamm aus der Vorklärung in das Anaerobbecken sein; dieser Zusammenhang wird teilweise in Frage gestellt, so dass einige großtechnische Anlagen diese Primärschlammversäuerung wieder außer Betrieb genommen haben.
- Das Schlammalter sollte möglichst gering sein. Auf Nitrifikation bemessene kommunale Kläranlagen ( $t_{TS} = 8 - 10$  d) bringen jedoch noch günstige Voraussetzungen für die Bio-P-Elimination mit. Auch in aerob stabilisierenden Belebungsanlagen lässt sich eine Bio-P-Elimination etablieren, allerdings können der Wirkungsgrad und damit die biologisch eliminierbare P-Fracht absinken.

Folgende Faktoren wirken sich negativ auf die erhöhte Bio-P-Elimination aus:

- Die anaerobe Kontaktzeit wird auf Werte  $< 0,5$  h vermindert. Übliche Kontaktzeiten liegen zwischen 0,5 und 2,0 h, wobei Werte  $> 1,0$  h dann erforderlich sind, wenn zunächst noch eine Rest-Denitrifikation und ggf. noch eine Versäuerung und Bildung von organischen Säuren erforderlich ist.
- In das Anaerob-Becken wird gelöster Sauerstoff und / oder Nitrat eingeleitet. In diesem Fall werden die Phosphat-Rücklösung und damit der gesamte biochemische Mechanismus der vermehrten Biologischen P-Elimination gehemmt.
- Hohe Fremdwassermengen führen zu verringerten P-Konzentrationen im Zulauf sowie zum Teil zu höheren Sauerstoffkonzentrationen im Zulauf zum Anaerobbecken, was ebenfalls zu einer Reduzierung der vermehrten Biologischen P-Elimination führt.
- Bei absinkenden Temperaturen vermindert sich die Rate der Phosphataufnahme durch die Biomasse; dennoch ist nach Adaption auch bei Temperaturen  $< 10$  °C mit einer ausreichende Phosphorentfernung zu rechnen.

Die erhöhte biologische P-Elimination reicht jedoch nicht immer aus, um die geforderten Überwachungswerte im Ablauf sicher einzuhalten. Dies gilt vorwiegend dann, wenn Überwachungswerte  $< 3$  mg/l eingehalten werden müssen. Deshalb wird die erhöhte biologische P-Elimination in der Regel mit einer Fällmitteldosierung gekoppelt, die die Einhaltung des Überwachungswertes ermöglicht.

Es besteht bei der biologischen P-Elimination die Gefahr der P-Rücklösung in den nachgeschalteten Verfahrensstufen insbesondere der Schlammbehandlung. In Vor- oder Nacheindickern sowie im Faulbehälter erfolgt bei den dort herrschenden anaeroben Bedingungen eine P-Rücklösung, so dass es zu einer Rückbelastung über das Schlammwasser kommt.

Bei Klärschlammvererdungsanlagen ist die Gefahr der Rücklösung nicht so ausgeprägt, da dort nur lokal anaerobe Bedingungen eintreten.

Insbesondere im Bereich der Schlammwasser-Leitungen kann es zur Reaktion von Magnesium und Ammonium mit Phosphat unter Bildung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) kommen. Diese spontane MAP-Bildung kann zu Inkrustationen in Rohrleitungen und Maschinenteilen führen (TMLNU, 2009).

#### **4.4.2 Einfluss der erhöhten biologischen P-Elimination auf den Schlamm**

Bei der erhöhten biologischen P-Entfernung ist nach dem ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 202 mit einer Zunahme der Feststofffracht von ca. 3 g TS/g P, bezogen auf den entfernten Phosphor, zu rechnen.

Über den Einfluss der erhöhten biologischen P-Elimination auf die Absetz- und Entwässerungseigenschaften liegen widersprüchliche Aussagen vor. So wurde einerseits ein vermehrtes Auftreten von fädigen Organismen (Microthrix) in Anlagen mit Bio-P festgestellt (u.a. BARJENBRUCH, 2002), andererseits aber auch in Untersuchungen eine Verbesserung des Absetzverhaltens durch die Umstellung auf Bio-P festgestellt (SCHEER, 1998).

Es wird empfohlen, beim Einsatz der vermehrten biologischen P-Elimination besonderes Augenmerk auf die Effizienz der Nachklärung zu legen.

#### **4.4.3 Bemessung der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P)**

Bezüglich der Bemessung des Volumens des Anaerob-Beckens wird auf die Literatur verwiesen. In den meisten Fällen werden folgende Bemessungsansätze verfolgt:

- Bemessung nach der anaeroben Kontaktzeit (nach BOLL, 1988):

$$t_{K,AN} = 0,75 - 1,0 \text{ h (günstige Randbedingungen)}$$

$$t_{K,AN} = 1,5 - 2,0 \text{ h (ungünstige Randbedingungen)}$$

$$V_{AN} = Q_{TW} * t_{K,AN} * (f + RV_{AN})$$

mit  $f$  = Anteil des Zuflusses ins Anaerobbecken

- Bemessung nach der anaeroben Kontaktzeit bezogen auf den maximalen Trockenwetterzufluss plus den Rücklaufschlammstrom (nach ATV-DVWK A 131, 2000)

$$V_{AN} = t_{K,AN} * (Q_{TW} + Q_{RS})$$

- Bemessung nach dem prozentualen Volumenanteil (nach ATV, 1990)

$$V_{AN} = 0,2 \text{ bis } 0,35 * (V_{DN} + V_N)$$

Weitere Ansätze von WENTZEL et.al. (1990), SCHEER (1998) und ROSENWINKEL et.al (2002) sollen hier nur erwähnt werden.

#### 4.4.4 Verfahren der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P), Hauptstromverfahren

Aufgrund der oben angeführten Randbedingungen haben sich verschiedene Verfahrenstechniken entwickelt, die nachfolgend in Abbildung 4.4-3 bis Abbildung 4.4-5 dargestellt sind. Auf eine detaillierte Erläuterung der einzelnen Verfahren wird in diesem Rahmen verzichtet.

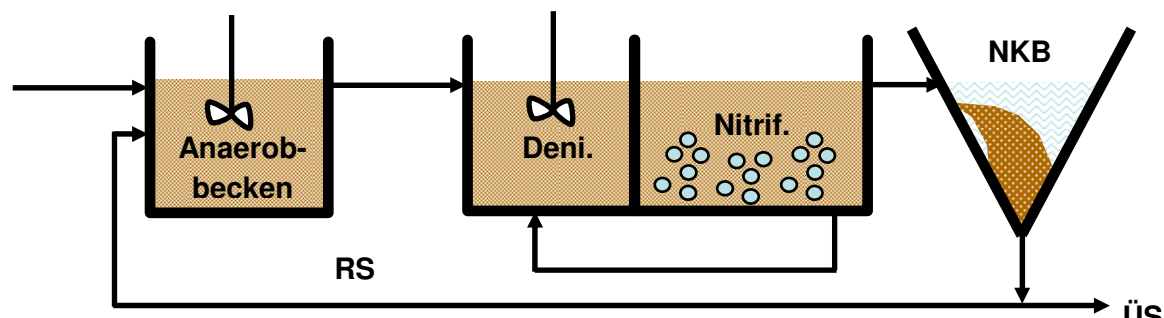


Abbildung 4.4-3: Hauptstromverfahren mit vorgeschaltetem Anaerobbecken und Rückführung des Rücklaufschlammes direkt in das Anaerobbecken

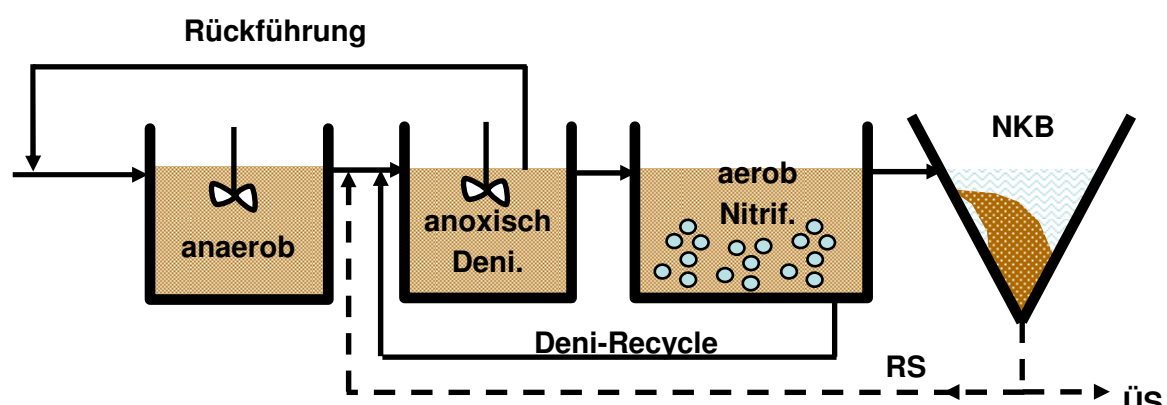


Abbildung 4.4-4: UCT-Verfahren (University of Cape-Town) mit Rückführung des Rücklaufschlammes in ein Denitrifikationsbecken und Rückführung des Schlamm-/Wasser-Gemisches aus dem Denitrifikationsbecken in das vorgeschaltete Anaerobbecken

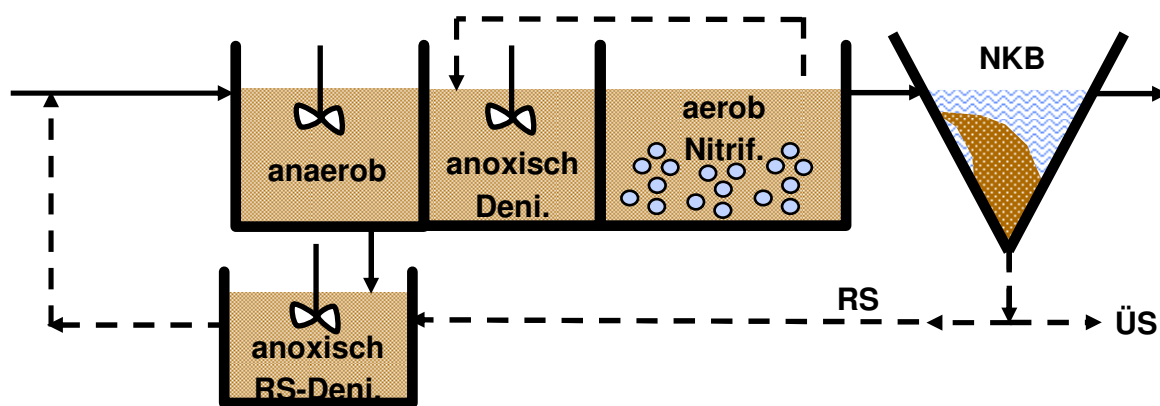


Abbildung 4.4-5: ISAH-Verfahren (Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover) mit Rückführung des Rücklaufschlammes in ein Rücklaufschlamm-Denitrifikationsbecken und Weiterleitung in das vorgeschaltete Anaerobbecken

Die oben beschriebenen Hauptstromverfahren lassen sich auf allen bisher für die weitgehende Stickstoffelimination ausgelegten Belebungsanlagen nachträglich einrichten, wenn ein zusätzliches Anaerobbecken in den Prozess eingebunden werden kann. Dieses kann erfolgen durch

- den Bau eines neuen Anaerobbeckens unter Beachtung der einschlägigen Bemessungsempfehlungen,
- die Nutzung verfügbarer aber ungenutzter Volumina als Anaerobbecken.

Die überwiegende Anzahl der Belebungsbecken im ländlichen Raum werden mit der Verfahrenstechnik der simultanen Nitrifikation / Denitrifikation betrieben. Belüftete (aerobe) Phasen wechseln sich mit unbelüfteten, ausschließlich umgewälzten (anoxischen) Phasen ab. Die Steuerung der Belüftung und Umwälzung erfolgt entweder über Betrieb / Pause der Belüftungsaggregate oder über kombinierte Redox- / Sauerstoff-Messung und Steuerung über diese beiden Parameter.

Die Redox-Ganglinie zeigt dabei charakteristische Merkmale, die sich zur Regelung des Nitrifikations- / Denitrifikations-Prozesses verwenden lassen. Von besonderer Bedeutung ist für die hier beschriebene Regelung das Auftreten eines Knicks beim Erreichen des Nitrat-Nullpunktes (siehe Abbildung 4.4-7). Bei ausschließlicher Regelung der Nitrifikation / Denitrifikation wird nach Erreichen des Knickpunktes ( $\text{NO}_3\text{-N} = 0 \text{ mg/l}$ ) und einer kurzen Wartezeit die Belüftung wieder in Betrieb genommen; diese Regelung kann für eine biologische P-Elimination derart genutzt werden, dass die anaerobe Phase gezielt mit einer Dauer von z.B. 0,5 – 0,75 h eingehalten wird.

Das in den oben genannten Hauptstromverfahren räumliche Anaerob-Becken wird durch ein virtuelles zeitliches Anaerob-Becken ersetzt.



Diese Verfahrenstechnik eignet sich vor allem für kleinere Kläranlagen, bei der ohnehin die simultane Nitrifikation / Denitrifikation betrieben wird; es muss aber ausreichend Belegungsvolumen verfügbar sein, um die Anaerob-Phase realisieren zu können.

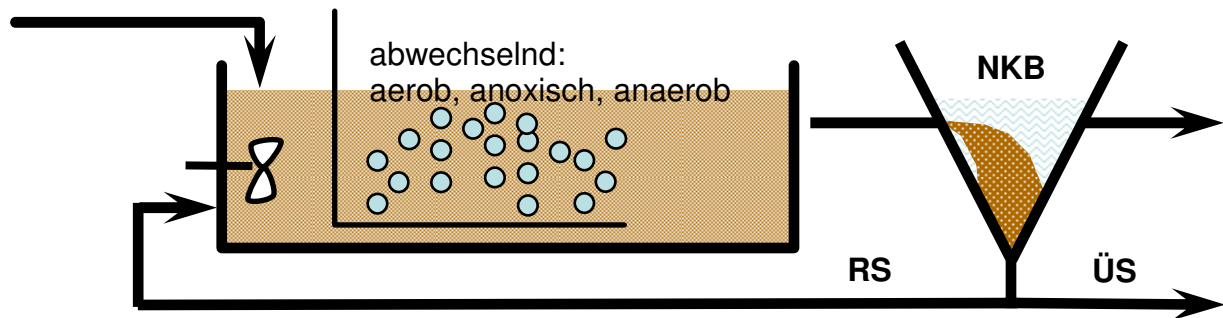


Abbildung 4.4-6: Simultane Nitrifikation / Denitrifikation / Biologische P-Elimination (Steuerung in der Regel über Redox- / O<sub>2</sub>-Messung)

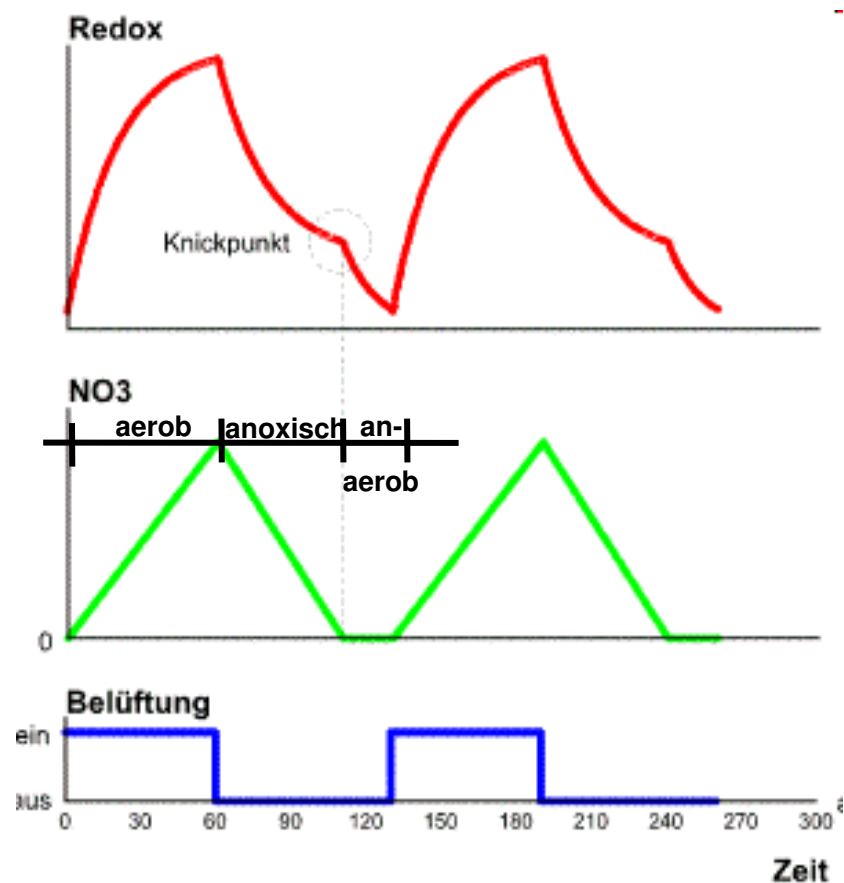


Abbildung 4.4-7: Steuerung einer simultanen Nitrifikation / Denitrifikation / Biologische P-Elimination (exemplarische Darstellung, Homepage Fa. aqua data GmbH, verändert)

#### 4.4.5 Verfahren der erhöhten Biologischen Phosphor-Elimination (Bio-P), Nebenstromverfahren

Beim Nebenstromverfahren wird ein Teil des Rücklaufschlammes über ein anaerobes Becken geführt, in dem die Rücklösung des Phosphates erfolgt. Dieses Anaerob-Becken ist als Eindicker und damit als Absetzbecken ausgebildet, so dass sich das gelöste Phosphat in der Klarphase befindet. Diese Klarphase wird anschließend mit Fällmittel versetzt; der sich bildende Fällschlamm wird in einem nachgeschalteten Abscheider (Absetzbecken oder Lamellenklärer) abgezogen.

Da in diesem Fall das ausgefällte Phosphat nicht vermischt mit dem Überschussschlamm abgezogen wird, bestehen hier bei Mono-Abtrennung und -Aufbereitung sehr gute Voraussetzungen für eine P-Rückgewinnung aus dem Fällschlamm.

Bei Einsatz von Kalk als Fällmittel entsteht Calciumphosphat, welches nahezu frei von organischen Beimengungen ist und  $P_2O_5$ -Gehalte von ca. 33 bis 40 % in der Trockensubstanz erreichen kann. Dieses Calciumphosphat lässt sich direkt wieder in der Landwirtschaft einsetzen.

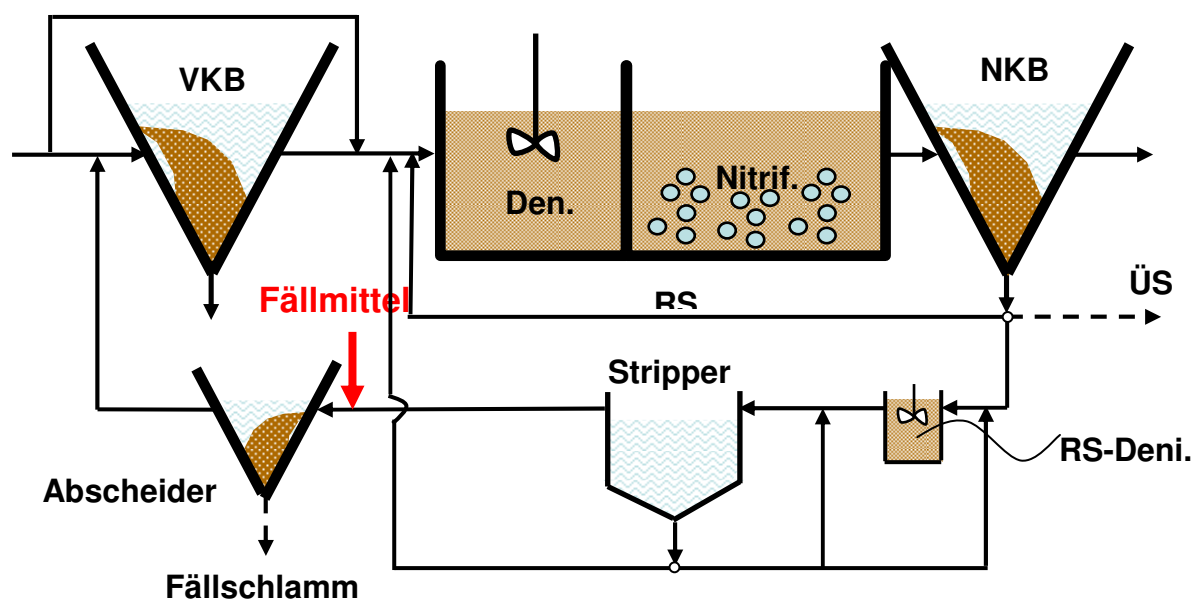


Abbildung 4.4-8: Nebenstromverfahren

## 5 Exemplarische Darstellung und Bewertung von Maßnahmen zur P-Elimination

### 5.1 Allgemeines, Fallbetrachtung

Nachfolgende werden auf der Basis der theoretischen Betrachtungen und der im Rahmen des *"Gutachten zur Ertüchtigung von Kläranlagen ab 1.000 EW zur verbesserten Phosphor-Elimination"* durchgeführten Versuche zur P-Elimination Vorschläge zur Realisierung bzw. zur Optimierung von P-Eliminationsverfahren für folgende Fälle beschrieben:

- Ausrüstung kleiner belüfteter Teichanlagen (häufig in Kombination mit (Scheiben-) Tauchkörperanlagen) mit einfacher kontinuierlicher Fällmittel-Dosiertechnik
- Ausrüstung von kleinen Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (konventionell und SBR) (bis ca. 5.000 EW) mit:
  - einfacher kontinuierlicher Fällmittel-Dosiertechnik oder
  - frachtengesteuerter Dosiertechnik
- Optimierung von Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (konventionell und SBR) (bis ca. 40.000 EW) mit:
  - frachtengesteuerter Dosiertechnik
  - Einstellung von biologischer P-Elimination durch Umstellung der MSR-Technik
- Optimierung der P-Elimination bei Belebungsanlagen bis 100.000 EW mit getrennter anaerober Schlammbehandlung (Faulung) mit:
  - frachtengesteuerter Dosiertechnik
  - Einrichtung / Bau einer biologischen P-Elimination
  - Einrichtung einer 2-Punkt-Fällung
- Optimierung der P-Elimination bei Belebungsanlagen größer 100.000 EW mit getrennter anaerober Schlammbehandlung (Faulung) durch Flockungsfiltration

Folgende Fragestellungen werden dabei unter anderem betrachtet:

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

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

Nr.	Anlagen- typ	Größe	Schlamm- behandlung	Eingesetzte Technologie zur P-Elimination	Zukünftige Zielwerte (ggf. ÜW)	Betriebs- Mittelwerte	β-Wert (angen.)	Eingesetzte MSR-Technik und Lagerbehälter
<b>1</b>	<b>Varianten für sehr kleine Anlagen (ca. 400 bis 2.000 EW), Teichanlagen, z.T. mit TTK., keine vorh. Fällung, Beispiel 1.000 EW</b>							
1.1	Teich / z.T. TTK	1.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Keine P-Elimination	keine	7,0 mg/l	-	
1.2	Teich / z.T. TTK	1.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> – 40 %-ige Lösung	keine	2,0 mg/l	1,8	kontinuierliche Dosierung 1 – m <sup>3</sup> Wechsel- Lagerbehälter
<b>2</b>	<b>Varianten für kleine Anlagen (ca. 1.000 bis 5.000 EW), simultane aerobe Schlammstab., keine vorh. Fällung, Beispiel 4.000 EW</b>							
2.1	Belebung	4.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Keine P-Elimination	Keine	7,0 mg/l	-	
2.2	Belebung	4.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Kont. Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> – 40 %-ige Lösung	2,0 mg/l	1,0 mg/l	2,0	kontinuierliche Dosierung, 10 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
2.3	Belebung	4.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Fällmitteldosierung (Simul- tan-F.), frachtabhängig	2,0 mg/l	1,0 mg/l	1,6	frachtabhängige Dosierung 10 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
<b>3</b>	<b>Varianten für mittlere Anlagen (ca. 10.000 bis 40.000 EW), simultane aerobe Schlammstab., vorh. Fällung, Beispiel 20.000 EW</b>							
3.1	Belebung	20.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> (Simultan-F.)	2,0 mg/l	1,0 mg/l	1,6	frachtabhängige Dosierung, 20 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
3.2	Belebung	20.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> (Simultan-F.)	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,8	frachtabhängige Dosierung, 20 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
3.3	Belebung	20.000 EW	aerobe Sta- bilisierung	Bio-P, zusätzlich Fällmit- teldosierung, (Simultan-F.)	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,5	frachtabhängige Dosierung 20 m <sup>3</sup> Lagerbehälter, Bio-P

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

Nr.	Anlagen-typ	Größe	Schlamm-behandlung	Eingesetzte Technologie zur P-Elimination	Zukünftige Zielwerte (ggf. ÜW)	Betriebs-Mittelwerte)	β-Wert (angen.)	Eingesetzte MSR-Technik und Lagerbehälter
<b>4</b>	<b>Varianten für große Anlagen (bis ca. 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorhandene Fällung, Beispiel 50.000 EW</b>							
4.1	Belebung	50.000 EW	Vorklärung, Faulung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> (Simultan-F.)	2,0 mg/l (aktuell)	1,0 mg/l	1,6	frachtabhängige Dosierung 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
4.2	Belebung	50.000 EW	Vorklärung, Faulung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> (Simultan-F.)	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,8	frachtabhängige Dosierung 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
4.3	Belebung	50.000 EW	Vorklärung, Faulung	Bio-P, zusätzlich Fällmitteldosierung (Simultan-F.)	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,5	frachtabhängige Dosierung, 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
4.4	Belebung	50.000 EW	Vorklärung, Faulung	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung	1,0 mg/l	4,0 mg/l (VK) 0,5 mg/l (NK)	1,0 (Vorf.) 1,8 (SimF.)	frachtabhängige Dosierung, 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
<b>5</b>	<b>Varianten für sehr große Anlagen (größer 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorh. Fällung, Bio-P, Beispiel 100.000 EW</b>							
5.1	Belebung	100.000 EW	Vorklärung, Faulung	Bio-P vorhanden, zusätzl. Fällmittel (Simultan-F.)	1,0 mg/l (aktuell)	0,5 mg/l	1,5	frachtabhängige Dosierung 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
5.2	Belebung	100.000 EW	Vorklärung, Faulung	Bio-P vorhanden, zusätzl. Fällmittel (Simultan-F.)	0,5 mg/l	0,3 mg/l	2,0	frachtabhängige Dosierung 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter
5.3	Belebung	100.000 EW	Vorklärung, Faulung	Bio-P vorhanden, zusätzl. Fällmittel, 2-Punkt-Fällung (Flockungsfiltration, Tuchf.)	0,5 mg/l	1,7 mg/l (NK) 0,2 mg/l (FF)	1,0 (SimF.) 2,5 (FF)	frachtabhängige Dosierung, 2-Punkt-Fällung, Flockungsfiltration (Tuchfilter), 50 m <sup>3</sup> Lagerbehälter

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

- 1) Die für die einzelnen betrachteten Anlagenkonfigurationen genannten Ablaufwerte stellen Betriebswerte dar. Die zugeordneten Überwachungswerte ergeben sich wie folgt:

<b>Anlage</b>	<b>ÜW</b>	<b>Betriebsmittel</b>
1.000 EW:		2,0 mg/l
4.000 EW:	2,0 mg/l,	1,0 mg/l
20.000 EW:	1,0 mg/l,	0,5 mg/l
50.000 EW:	1,0 mg/l,	0,5 mg/l
100.000 EW:	0,5 mg/l,	0,3 mg/l (0,2 mg/l bei FF)

- 2) Bei den  $\beta$ -Werten handelt es sich um abgeschätzte Werte, die in der Praxis abweichen können.
- 3) Bei Anlagen mit 2-Punkt-Fällung wird für die erste Dosierstelle ein  $\beta$ -Wert von 1,0 angesetzt, für die 2. Dosierstelle ein erhöhter  $\beta$ -Wert.
- 4) Für Anlagen mit > 100.000 EW und einem angenommenen Überwachungswert von 0,5 mg/l wird ein erhöhter Fällmittelbedarf angenommen, was sich in einem erhöhten  $\beta$ -Wert zeigt.
- 5) Es ist fraglich, ob ein Ablaufwert von 0,3 mg/l stabil ausschließlich durch Simultanfällung erreichbar ist. Dennoch wird diese Anlagenkonfiguration hier aufgenommen und bewertet.
- 6) Für die Flockungsfiltration (FF) wird ein  $\beta$ -Wert von 2,5 angesetzt.

## 5.2 Kostenbetrachtungen

Grundsätzlich sind folgende Kosten zu betrachten:

### a) Investitionen bzw. die sich daraus ergebenden Kapitalkosten für

- Dosierstation
- Analysentechnik
- Elektro-, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik
- Um- und Neubauten, bei Bio-P auch ggf. erforderliches Anaerob-Volumen
- ggf. Filtrationsanlagen

### b) Betriebskosten

- Fällmittel
- Reparatur-, Wartungs- und Unterhaltungskosten
- Analysenkosten
- Kosten für Schlamm entwässerung (Energie, Chemikalien) und -entsorgung
- Energiekosten
- Abwasserabgabe (Reduzierung durch geringere Ablaufwerte)

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

führt werden.

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

Die nachfolgenden Kostenangaben wurden von verschiedenen Unternehmen zur Verfügung gestellt und basieren auf dem Kostenstand Juni 2010.

Die auf dieser Basis getroffenen Angaben und Aussagen können nur einen ersten Anhaltspunkt darstellen und sind im Einzelfall anzupassen.

Es werden folgende Randbedingungen in den Jahreskostenbetrachtungen herangezogen:

#### **Kapitalkosten:**

- Zinssatz: 5 %
- Nutzungsdauer Bautechnik: 30 Jahre  
Annuitätenfaktor  $a = 0,06505$
- Nutzungsdauer Maschinenteknik: 15 Jahre  
Annuitätenfaktor  $a = 0,09634$

#### **Betriebskosten:**

- spezifischer Strompreis: 0,18 €/kWh
- allgemeine Wartung Bautechnik: 1 % / a bezogen auf die Investition
- allgemeine Wartung M- und E-Technik: 3 % / a bezogen auf die Investition
- Fällmittelkosten: 200,00 €/t bei Lieferung von 20 m<sup>3</sup>  
390,00 €/t bei Lieferung von 1 m<sup>3</sup> IBC
- Personalkosten 25,00 €/h
- Klärschlamm Entsorgung 50,00 €/t bei 25 % TS

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

Beim Einsatz von Fällmitteln ist der sich ergebende Fällschlamm zu berücksichtigen. Die Zusammensetzung des belebten Schlammes in der Belebungsanlage ändert sich durch den Fällschlamm, was Einfluss auf die biologischen Vorgänge hat. Vor Einsatz von Fällmitteln ist also die Funktionsweise der Belebungsanlage nachzuweisen, was mittels Bemessungs- und Nachweisprogrammen (z.B. nach A131) erfolgen sollte.

Grundsätzlich müssen folgende Investitionsanteile betrachtet bzw. ermittelt werden:

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

### 5.2.1.1 Investitionen für Fällmittellager und Dosierstationen

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

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

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

Diese Dosiertechnik sollte allenfalls auf kleinen Kläranlagen bis max. 5.000 EW ein-gesetzt werden.



- Behälter inkl. Auffangwanne, 1 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung ca. 4.200 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung ca. 2.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 1.800 €
- Wetterschutz ca. 2.500 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 2.500 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 2.500 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 5.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 21.000 €

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

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 10 m<sup>3</sup>
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpe auf Palette, Dosiermenge max. 4 l/h
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

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

- Behälter inkl. Auffangwanne, 10 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung ca. 12.000 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung ca. 6.500 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 6.000 €
- Wetterschutz ca. 3.000 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 2.500 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 5.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 18.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 53.000 €

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

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 10 m<sup>3</sup>
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpe auf Palette, Dosiermenge max. 4 l/h
- Online-P-Messung im Ablauf, kombiniert mit Zulaufmengenmessung

- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

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

- |  |              |
|--|--------------|
| • Behälter inkl. Auffangwanne, 10 m <sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung | ca. 12.000 € |
| • Pumpenpalette inkl. Verrohrung   | ca. 6.500 €  |
| • Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung  | ca. 6.000 €  |
| • Messtechnik (Online-P)   | ca. 21.500 € |
| • Wetterschutz   | ca. 3.000 €  |
| • Montage, Inbetriebnahme  | ca. 2.500 €  |
| • Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage   | ca. 5.000 €  |
| • <u>Bautechnik, Dosierleitung allgemein</u> (ortsspezifisch)  | ca. 18.500 € |
| • Gesamt-Investitionen (geschätzt)   | ca. 75.000 € |

d) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 20 m<sup>3</sup>, redundante Dosiertechnik (zwei Pumpen), Steuerung über zwei Parameter (Ablaufwassermenge, Ablaufkonzentration, frachtproportionale Dosierung), Dosierung in den Zulauf zur Belebung (Simultanfällung) oder Zulauf zur Vorklärung (Vorfällung), bestehend aus:

- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 20 m<sup>3</sup>, inkl. Leiter
- Verrohrung, Leitungssystem
- Pumpen auf Palette, Dosiermenge max. 10 l/h (redundante Ausführung)
- Überfüllsicherung, Leckagewarnung
- Online-Messtechnik (Phosphor-Ablaufkonzentration), es wird davon ausgegangen, dass eine Online-Messung des Durchflusses ohnehin auf den Anlagen verfügbar ist.
- Schaltschrank (Vor-Ort)
- Wetterschutz

Diese Dosiertechnik kann auf Kläranlagen jeder Größenordnung eingesetzt werden.

- |   |              |
|---|--------------|
| • Behälter inkl. Auffangwanne, 20 m <sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Leiter und Bedienpodest | ca. 22.500 € |
| • Pumpenpalette inkl. Verrohrung (redundante Ausführung)  | ca. 9.000 €  |
| • Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung   | ca. 8.500 €  |
| • Messtechnik (Online-P)  | ca. 21.500 € |
| • Wetterschutz  | ca. 6.000 €  |

- Montage, Inbetriebnahme ca. 3.500 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 9.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 30.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 110.000 €

Da auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 bereits Dosierstationen zur P-Fällung vorhanden sind, werden hier Kosten für die Erweiterung der Dosierstation sowie der erforderlichen MSR-Technik für die frachtabhängige-Fällung von ca. 30.000 € angesetzt.

- e) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 20 m<sup>3</sup>, redundante Dosiertechnik (zwei Pumpen), Dosierung an Steuerung über zwei Parameter (frachtproportionale Dosierung über Zulauf- und Ablauffrachten), Dosierung an zwei Stellen (Zweipunktfällung):
- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 20 m<sup>3</sup>, inkl. Leiter
  - Verrohrung, Leitungssystem
  - Pumpen auf Palette, Dosiermenge max. 10 l/h (redundante Ausführung), doppelte Ausführung für Zweipunktfällung
  - Überfüllsicherung, Leckagewarnung
  - Online-Messtechnik (Phosphor-Zulaufkonzentration und Phosphor-Ablaufkonzentration), es wird davon ausgegangen, dass eine Online-Messung des Durchflusses ohnehin auf den Anlagen verfügbar ist.
  - Schaltschrank (Vor-Ort)
  - Wetterschutz

Diese Dosiertechnik kann grundsätzlich auf Kläranlagen jeder Größenordnung eingesetzt werden.

- Behälter inkl. Auffangwanne, 20 m<sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Leiter und Bedienpodest ca. 22.500 €
- Pumpenpalette inkl. Verrohrung (redundante Ausführung) ca. 9.000 €
- Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung ca. 8.500 €
- Messtechnik (Online-P, 2 Messstellen) ca. 43.000 €
- Wetterschutz ca. 6.000 €
- Montage, Inbetriebnahme ca. 3.500 €
- Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage ca. 14.000 €
- Bautechnik, Dosierleitung allgemein (ortsspezifisch) ca. 30.000 €
- Gesamt-Investitionen (geschätzt) ca. 136.500 €

Da auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 bereits Dosierstationen zur P-Fällung vorhanden sind, werden hier Kosten für die Erweiterung der Dosierstation sowie der erforderlichen MSR-Technik für die 2-Punkt-Fällung von ca. 55.000 € angesetzt.

- f) Dosieranlage mit ortsfestem Lagerbehälter ca. 50 m<sup>3</sup>, redundante Dosiertechnik (zwei Pumpen), Dosierung an Steuerung über zwei Parameter (frachtproportionale Dosierung über Zulauf- und Ablaufrachten), Dosierung an zwei Stellen (Zweipunktfällung):
- Lagerbehälter mit Auffangwanne, ca. 50 m<sup>3</sup>, inkl. Leiter
  - Verrohrung, Leitungssystem
  - Pumpen auf Palette, Dosiermenge max. 30 l/h (redundante Ausführung), doppelte Ausführung für Zweipunktfällung
  - Überfüllsicherung, Leckagewarnung
  - Online-Messtechnik (Phosphor-Zulaufkonzentration und Phosphor-Ablaufkonzentration), es wird davon ausgegangen, dass eine Online-Messung des Durchflusses ohnehin auf den Anlagen verfügbar ist.
  - Schaltschrank (Vor-Ort)
  - Wetterschutz

Diese Dosiertechnik kann grundsätzlich auf Kläranlagen jeder Größenordnung > 50.000 EW eingesetzt werden.

• Behälter inkl. Auffangwanne, 50 m <sup>3</sup> mit Prüfzeichen, Überfüllsicherung und Leckagewarnung, Leiter und Bedienpodest	ca. 35.500 €
• Pumpenpalette inkl. Verrohrung (redundante Ausführung)	ca. 14.500 €
• Schaltschrank und Vor-Ort-Verkabelung	ca. 10.000 €
• Messtechnik (Online-P, 2 Messstellen)	ca. 43.000 €
• Wetterschutz	ca. 6.000 €
• Montage, Inbetriebnahme	ca. 5.000 €
• Einbindung in E-MSR-Technik der Kläranlage	ca. 14.000 €
• <u>Bautechnik, Dosierleitung allgemein</u> (ortsspezifisch)	<u>ca. 42.000 €</u>
• Gesamt-Investitionen (geschätzt)	ca. 170.000 €

Da auf Kläranlagen der Größenklassen 4 und 5 bereits Dosierstationen zur P-Fällung vorhanden sind, werden hier Kosten für die Erweiterung der Dosierstation sowie der erforderlichen MSR-Technik für die 2-Punkt-Fällung von ca. 55.000 € angesetzt.

### 5.2.1.2 Investitionen für Einmischung des Fällmittels

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

- Absturzbauwerke,
- Dosierstellen vor Pumpwerken,

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

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

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

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

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

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

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

## **5.2.2 Investitionen für Biologische Phosphor-Elimination**

Wie in Abschnitt 4.4 ausführlich erläutert ist für eine vermehrte biologische Phosphor-Aufnahme bei verschiedenen Bakterien-Gruppen der stetige Wechsel zwischen aeroben und anaeroben Zuständen erforderlich.

Bei größeren Kläranlagen wird das in der Regel durch getrennte Anaerob-Becken realisiert. Kosten hierfür sind sehr standort- und größenspezifisch und können in diesem Rahmen nicht angegeben werden.

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

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

Bei vielen kleinen und mittleren Kläranlagen ist aber eine simultane Stickstoffelimination mit einer Steuerung der Phasen von Nitrifikation (Belüftung) und Denitrifikation (ohne Belüftung, nur Umwälzung) über Redox-/O<sub>2</sub>-Regelung oder einer Regelung über Ammonium-, Nitrat- und Sauerstoff-Sonden realisiert.

In diesem Fall kann ggf. eine zusätzliche Anaerob-Phase in den Prozessablauf eingebaut werden.

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

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

Für die Umprogrammierung einer vorhandenen Mess- und Regelungstechnik mit Stickstoff-Regelung zur biologischen P-Elimination sind Kosten zwischen 5.000 € und 12.000 € erforderlich.

Die Kosten für eine neu einzurichtende Messstelle inkl. der Einbindung in die E-MSR-Technik der Kläranlage liegen bei ca. 24.000 €.

### 5.2.3 Investitionen für weitergehende Suspensa-Entnahme

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

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

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

Für die Nachfiltration können grob folgende Investitionen angenommen werden, wobei hier festgehalten werden muss, dass die nachfolgend genannten Kosten grobe Schätzkosten sind und im Einzelfall detailliert überprüft werden müssen. Die Investitionen für die erforderliche Bautechnik (Betonbauweise) sind sehr vom Standort abhängig und bedürfen einer detaillierten Prüfung (Baugrund, Grundwasser etc.). Sie können hier nur als sehr grobe Richtwerte angegeben werden

#### I. **Tuchfiltration:**

Filtrationseinheiten mit Mikrofasertüchern, Steuerung, Einbau, Inbetriebnahme, Fällmitteldosierung mit erforderlicher Messtechnik, Flockungsreaktor.

- 50.000 EW ( $Q_{M,h}$  ca. 1.000 m<sup>3</sup>/h)
 

Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 300.000 €
<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 775.000 €</u>
Summe	ca. 1.075.000 €
  
- 100.000 EW ( $Q_{M,h}$  ca. 2.000 m<sup>3</sup>/h):
 

Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 500.000 €
<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 1.500.000 €</u>
Summe	ca. 2.000.000 €

-	200.000 EW: ( $Q_{M,h}$ ca. 4.000 m <sup>3</sup> /h)	
	Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 775.000 €
	<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 2.800.000 €</u>
	Summe	ca. 3.575.000 €

## II. Kontinuierliche Sandfiltration:

Filtrationseinheiten mit Druckluftheber, Sandwäscher, Verteilereinrichtungen, Steuerung, Einbau, Inbetriebnahme, Fällmitteldosierung mit erforderlicher Messtechnik, Flockungsreaktor.

-	50.000 EW ( $Q_{M,h}$ ca. 1.000 m <sup>3</sup> /h), ca. 14 Einheiten	
	Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 400.000 €
	Sand	ca. 17.000 €
	<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 550.000 €</u>
	Summe	ca. 967.000 €
-	100.000 EW ( $Q_{M,h}$ ca. 2.000 m <sup>3</sup> /h), ca. 30 Einheiten:	
	Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 750.000 €
	Sand	ca. 35.000 €
	<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 1.040.000 €</u>
	Summe	ca. 1.825.000 €
-	200.000 EW: ( $Q_{M,h}$ ca. 4.000 m <sup>3</sup> /h), ca. 60 Einheiten	
	Bautechnik (standortspezifisch):	ca. 1.450.000 €
	Sand	ca. 70.000 €
	<u>Maschinen- und E-Technik</u>	<u>ca. 2.000.000 €</u>
	Summe	ca. 3.520.000 €

Signifikante Unterschiede bei den Investitionen sind nicht zu erkennen. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Sandfilteranlagen aufgrund der größeren Bautiefe (ca. 6,50 m Tiefe) und des größeren umbauten Raumes höhere Baukosten, die Tuchfilteranlagen dagegen höhere Kosten bei der Maschinen- und Elektrotechnik haben. Es ist zudem zu erwarten, dass kontinuierliche Sandfiltrationsanlagen einen höheren Energiebedarf aufweisen als Tuchfilteranlagen.

Mit Tuchfiltrationsanlagen und kontinuierlich betriebenen Sandfilteranlagen sind P-Ablaufkonzentrationen < 0,5 mg/l sicher einzuhalten.

Kosten für **Mehrschicht-Filtrationsanlagen** und **Membranfiltrationsanlagen** können hier nicht angegeben werden, da diese sehr standortspezifisch sind. Der Einsatz einer Membranfiltration ausschließlich zur Verringerung der Phosphat-Ablaufwerte ist nicht wirtschaftlich, da neben den vergleichsweise hohen Investitionen für eine Membranfiltration vor allem die Betriebskosten (elektrische Energie, Reinigungschemikalien) sowie Membraner-



satzkosten in Betracht zu ziehen sind. Sollten weitere Maßnahmen z.B. zur Entkeimung oder zur Reduzierung endokrin wirksamer Inhaltsstoffe erforderlich sein, kann der Einsatz einer Membranfiltration sinnvoll und wirtschaftlich sein.

Allerdings kann mit einer Membranfiltration aufgrund des vollständigen Rückhalts von Suspensa ein P-Ablaufwert von  $< 0,3$  mg/l sicher eingehalten werden. Bei Optimierung der Fällung lassen sich mit der Membranfiltration auch Ablaufwerte von  $< 0,05$  mg/l (50 µg/l) erreichen (z.B. GNIRSS, 2007).

### 5.3 Ermittlung der zu verrechnenden Abwasserabgabe

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

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

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

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

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

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

Tabelle 5.3-1: Abschätzung der möglicherweise zu verrechnenden Abwasserabgabe

	<b>Anschlussgröße der Kläranlage, siehe Tabelle 5.1-1</b>				
	<b>Nr. 1</b>	<b>Nr. 2</b>	<b>Nr. 3</b>	<b>Nr. 4</b>	<b>Nr. 5</b>
	<b>1.000 EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>20.000 EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>100.000 EW</b>
<b>q<sub>h</sub></b>	100 l/(EW*d)	100 l/(EW*d)	120 l/(EW*d)	140 l/(EW*d)	140 l/(EW*d)
<b>q<sub>f</sub></b>	50 l/(EW*d)	50 l/(EW*d)	60 l/(EW*d)	70 l/(EW*d)	70 l/(EW*d)
<b>Q<sub>T,d</sub></b>	150 m <sup>3</sup> /d	600 m <sup>3</sup> /d	3.600 m <sup>3</sup> /d	10.500 m <sup>3</sup> /d	21.000 m <sup>3</sup> /d
<b>Q<sub>T,a</sub></b>	54.750 m <sup>3</sup> /a	219.000 m <sup>3</sup> /a	1.314.000 m <sup>3</sup> /a	3.832.500 m <sup>3</sup> /a	7.665.000 m <sup>3</sup> /a
<b>Überwachungswerte bzw. erklärte Ablaufwerte (Annahmen) und Schadeinheiten vor Durchführung einer Maßnahme</b>					
<b>CSB</b>	100 mg/l	70 mg/l	50 mg/l	40 mg/l	40 mg/l
	5.475 kg/a	15.330 kg/a	65.700 kg/a	153.300 kg/a	306.600 kg/a
1 SE = 50 kg	110 SE	307 SE	1.314 SE	3.066 SE	6.132 SE
<b>P</b>	7 mg/l	5 mg/l	2 mg/l	2 mg/l	1 mg/l
	383 kg/a	1.095 kg/a	2.628 kg/a	7.665 kg/a	7.665 kg/a
1 SE = 3 kg	128 SE	365 SE	876 SE	2.555 SE	2.555 SE
<b>N</b>	40 mg/l	20 mg/l	12 mg/l	12 mg/l	10 mg/l
	2.190 kg/a	4.380 kg/a	15.768 kg/a	45.990 kg/a	76.650 kg/a
1 SE = 25 kg	88 SE	175 SE	631 SE	1.840 SE	3.066 SE
<b>Summe SE</b>	325 SE	847 SE	2.821 SE	7.461 SE	11.753 SE
<b>Ermittlung der zu zahlenden Abwasserabgabe vor Durchführung einer Maßnahme</b>					
<b>Abwasserabgabe pro Jahr (17,90 €/SE)</b>	5.814,82 €/a	15.157,72 €/a	50.490,89 €/a	133.544,74 €/a	210.378,70 €/a
<b>Abwasserabgabe in 3 Jahren</b>	<b>17.444,45 €</b>	<b>45.473,16 €</b>	<b>151.472,66 €</b>	<b>400.634,22 €</b>	<b>631.136,10 €</b>

## 5.4 Betriebskosten

### 5.4.1 Allgemeines

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

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

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

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

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

### 5.4.3 Betriebskosten der Biologischen P-Elimination

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

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

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

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

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

## 5.6 Modellrechnungen

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

- Abwasserabgabe:
  - 3,0 kg P / Schadeinheit
  - 17,90 € / Schadeinheit (halbierter Satz)
- Investitionen von Fällmitteldosierstationen und Fällmittellagerbehältern (Ansätze siehe oben).
- Investitionen für Anaerob-Becken (Bio-P-Becken) wurden nur bei der Anlagengröße 50.000 EW (Nr. 4.3) berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass bei Anlagen mit 100.000 EW ohnehin ein Anaerob-Becken für Bio-P vorhanden ist und bei Anlagen mit 20.000 EW und kleiner die biologische P-Elimination über eine Umstellung in der Steuerung (Einführung einer Anaerob-Phase im Prozess) realisiert wird.
- Investitionen für eine Flockungsfiltration bei der Anlagenkonfiguration 5.3 als Tuchfiltration (Ansätze siehe oben)
- Kapitalkosten entsprechend oben angegebenen Zinssätzen und Abschreibungszeiträumen
- Betriebskosten für Reparatur, Wartung, Unterhalt entsprechend den o.a. Ansätzen (1 % / a für Bautechnik, 3 % / a für Maschinen- und E-MSR-Technik)
- $\beta$ -Werte wurden anhand von Erfahrungen sowie Betriebsergebnissen abgeschätzt; hier bestehen erhebliche Unsicherheiten
- Fällmittelverbräuche sowie anfallende und zu entsorgende Schlammengen: errechnet mit Hilfe des EXCEL-Programms aus dem Thüringer „Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranlagen“ (TMLNU, 2009).
- spezifische Kosten für Fällmittel:  
für die Modellrechnungen werden Kosten für Eisen(III)chlorid-Lösung 40 % verwen-

det, die erfahrungsgemäß im mittelhessischen Raum gezahlt werden::

- bei der Anlage mit 1.000 EW Dosierung aus 1 m<sup>3</sup>-Wechselbehälter (390,-- € / t)
- bei größeren Anlagen Dosierung aus größeren Lagerbehältern (200,-- € / t)
- Betriebskosten für Schlamm Entsorgung:
  - Annahme: Entwässerung auf 25 % TS
  - Entsorgungskosten: 50 € / t entwässerter Schlamm
- Betriebskosten für elektrische Energie: 0,18 € / kWh
  - für Dosierstationen: je nach Größe und Dosiermenge: 20 – 750 kWh / a
  - für Anaerobbecken: je nach Größe: 2 bis 5 kW install. Leistung à 8.760 h/a
  - für Flockungsfiltration: 2 kW install. Leistung à 8.760 h / a

Die Kostenbetrachtungen sind anliegenden Excel-Berechnungen (Anlage 1) zu entnehmen. In diesen Kostenbetrachtungen sind Investitionen, Betriebskosten und Abwasserabgabe berücksichtigt und daraus Jahreskosten ermittelt. Aus diesen Tabellen können auch die nachfolgend aufgeführten Einzelergebnisse sowie deren Herleitung entnommen werden, die in der Tabelle 5.6-1 zusammengefasst sind. Bei allen Kosten handelt es sich um Bruttokosten inklusive der gesetzlichen MwSt. von 19 %. Um eine Vergleichbarkeit zu erzielen, wurden in der Tabelle 5.6-1 die sich aus den Jahreskosten ergebenden spezifischen Kosten in € pro Einwohnerwert und Jahr (€ / (EW\*a)) angegeben.

Folgende Anlagen bzw. Anlagenkonfigurationen wurden betrachtet:

### 1. Anlagentyp 1:

#### **Teichanlagen der Größenklassen 1 und 2, ggf. kombiniert mit Tauchtropfkörperanlage, Beispiel 1.000 EW**

Dieser Anlagentyp symbolisiert kleine Teichanlagen, die in der Regel in Größen von einigen 100 EW bis ca. 2.000 EW realisiert sind und häufig mit Tauchtropfkörperanlagen kombiniert sind. Diese Anlagen sind in der Regel nicht mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet und leiten häufig in sehr schwache Vorfluter ein.

Hier werden miteinander verglichen:

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

- P-Ablaufwerte liegen häufig zwischen ca. 5 und 8 mg/l, (angesetzt sind hier 7 mg/l), siehe auch Tabelle 5.1-1,
- die Abwasserabgabe ist dementsprechend hoch.

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

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

**2. Anlagentyp 2:  
Kleine Belebungsanlagen der Größenklasse 2 mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und simultaner Nitrifikation / Denitrifikation; in Bezug auf die P-Elimination vergleichbar mit SBR-Anlage oder Biocos-Anlage, Beispiel 4.000 EW**

Dieser Anlagentyp symbolisiert kleine technische Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, die häufig in Größen von ca. 1.000 EW bis ca. 5.000 EW realisiert; in Bezug auf die Phosphorelimination und die eingesetzten Verfahrenstechniken sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen klassischen Belebungsanlagen und SBR-Anlagen vorhanden; häufig werden einfache Fällmitteldosierungen installiert (häufig kontinuierliche ungesteuerte Dosierungen oder mengenproportionale Dosierungen); Bio-P-Anlagen sind selten. Diese Anlagen leiten häufig in schwache bis sehr schwache Vorfluter ein.

Als Ziel wird gesetzt, bei Anlagen dieser Größenordnung der Größenklasse 2 zukünftig einen P-Betriebsmittelwert von 1 mg/l einzuhalten. Hier werden miteinander verglichen:

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

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

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

- um einen P-Betriebsmittelwert von  $< 2$  mg/l erreichen zu können, muss bei einer kontinuierlichen Dosierung überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 2,0 wird angesetzt

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

- P-Betriebsmittelwert angesetzt mit 1,0 mg/l,
- aufgrund optimierter Dosier- und Einmisch-Technik wird mit einem  $\beta$ -Wert von 1,6 gerechnet,

### 3. Anlagentyp 3

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

Dieser Anlagentyp symbolisiert technische Belebungsanlagen oder SBR-Anlagen, die häufig in Größen von ca. 10.000 EW bis ca. 40.000 EW realisiert sind; in Bezug auf die Phosphorelimination und die eingesetzten Verfahrenstechniken sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen klassischen Belebungsanlagen und SBR-Anlagen vorhanden.

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

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

Als Ziel wird gesetzt, auf Anlagen dieser Größen zukünftig einen P-Betriebsmittelwert von 0,5 mg/l einzuhalten. Hier werden miteinander verglichen:

3.1: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit zulaufproportionaler Dosierung (Betriebsmittelwert von 1,0 mg/l) (als Referenzwert):

- Diese Konfiguration wird zum Vergleich der nachfolgenden Kombinationen betrachtet.
- Um P-Überwachungswert von < 2 mg/l (angesetzt als Betriebsmittelwert 1,0 mg/l) mit einer zulaufproportionalen Dosierung erreichen zu können, wird ein  $\beta$ -Wert von 1,6 angesetzt.

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



- Um einen P-Betriebsmittelwert von 0,5 mg/l mit frachtabhängiger Dosierung erreichen zu können, muss überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 1,8 wird angesetzt.
- 3.3: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik, Biologische P-Elimination durch entsprechende Programmierung einer Anaerob-Phase
- Ein P-Betriebsmittelwert von 0,5 mg/l wird mit einer Kombination aus biologischer P-Elimination und Simultanfällung erreicht.
  - Aufgrund weitgehender biologischer P-Elimination und optimierter Dosier- und Einmisch-Technik wird mit einem  $\beta$ -Wert von 1,5 gerechnet.

#### 4. Anlagentyp 4

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

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

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

Eine weitergehende biologische P-Elimination (Bio-P-Anlage) ist allerdings auch in dieser Größenklasse selten, daher wird davon ausgegangen, dass zur Realisierung der biologischen P-Elimination ein neues Anaerob-Becken gebaut werden muss.

Als Ziel wird gesetzt, auf Anlagen dieser Größen zukünftig einen P-Überwachungswert von < 1 mg/l einzuhalten. Hier werden neben der Referenzanlage Variante 4.1 (mit  $P_{\text{ges,AN}} = 1,0$  mg/l) weitere 3 verschiedene Varianten mit einem Betriebsmittelwerte von  $P_{\text{ges,AN}} = 0,5$  mg/l miteinander verglichen:

- 4.1: Belebungsanlage, simultane aerobe Schlammstabilisierung, mit zulaufproportionaler Dosierung und Betriebsmittelwert von 1,0 mg/l (als Referenzwert):

- diese Konfiguration wird zum Vergleich der nachfolgenden Kombinationen betrachtet.
  - um einen P-Betriebsmittelwert  $P_{\text{ges,AN}} = 1,0$  mg/l mit einer zulaufproportionalen Dosierung erreichen zu können, ein  $\beta$ -Wert von 1,6 wird angesetzt
- 4.2: Belebungsanlage, Simultanfällung ohne biologische P-Elimination, mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik:
- um einen P-Betriebsmittelwert von 0,5 mg/l erreichen zu können, muss überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 1,8 wird angesetzt
- 4.3: Belebungsanlage, Neubau eines Anaerob-Beckens zur weitergehenden Biologischen P-Elimination, Ergänzung der P-Elimination durch Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik,
- aufgrund weitgehender biologischer P-Elimination und optimierter Dosier- und Einmisch-Technik wird zum Erreichen eines Betriebsmittelwertes von 0,5 mg/l für die Fällmitteldosierung mit einem  $\beta$ -Wert von 1,5 gerechnet,
- 4.4: Belebungsanlage, Einsatz der 2-Punkt-Fällung mit
- Vorfällung und Dosierung des Fällmittels vor dem Vorklärbecken,
  - Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik,
  - bei der Vorfällung wird von einem Wirkungsgrad von ca. 50 % in der Vorklärung ausgegangen (Konzentration im Zulauf zur Vorklärung: ca. 8 mg P/l, Konzentration im Ablauf der Vorklärung 4 mg/l); hier wird ein  $\beta$ -Wert von 1,0 angesetzt,
  - für die Simultanfällung in der Belebungsanlage wird zum Einhalten des angestrebten P-Betriebsmittelwertes von 0,5 mg/l ein  $\beta$ -Wert von 1,8 angesetzt.

## 5. Anlagentyp 5

### Belebungsanlage mit Vorklärung und Faulung, Beispiel 100.000 EW

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

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

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

Als zukünftiges Ziel wird gesetzt, auf Anlagen dieser Größen zukünftig einen P-Betriebsmittelwert von 0,3 mg/l einzuhalten. Dieses Ziel ist durch die Kombination Bio-P und Simultanfällung in Verbindung mit einer gut funktionierenden Nachklärung einzuhalten. Sollten allerdings Prozessstörungen z.B. bei der biologischen P-Elimination auftreten oder sich der belebte Schlamm nicht optimal in der Nachklärung absetzt, ist das Einhalten eines Betriebsmittelwertes von 0,3 mg/l nicht immer sicher.

Bei Einsatz noch nachgeschalteten Filtrationsstufen (Flockungsfiltration) lässt sich auch ein Betriebsmittelwert von 0,2 – 0,3 mg/l einhalten (siehe Anlage 5.3).

Es werden hier folgende Varianten miteinander verglichen:

- 5.1: Belebungsanlage, biologische P-Elimination, Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik; Referenzbetrachtung  $P_{\text{ges,AN}} = 0,5 \text{ mg/l}$ ; ein  $\beta$ -Wert von 1,5 wird angesetzt
- 5.2: Belebungsanlage, biologische P-Elimination, Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik:
  - um einen P-Betriebsmittelwert von 0,3 mg/l erreichen zu können, muss überstöchiometrisch dosiert werden; ein  $\beta$ -Wert von 2,0 wird angesetzt;
- 5.3: Belebungsanlage, biologische P-Elimination, Simultanfällung mit frachtabhängiger Steuerung und entsprechender Messtechnik, nachgeschaltete Flockungsfiltration über Tuchfilter:
  - aufgrund der nachgeschalteten Flockungsfiltration wird für den Ablauf der Belebungsanlage lediglich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 1,7 mg/l angesetzt; hierfür ist ein  $\beta$ -Wert von 1,0 ausreichend, der Fällmittelbe-

darf in der Belebung ist vergleichsweise gering; häufig lässt sich der hier angestrebte Ablaufwert nach der Nachklärung allein durch biologische P-Elimination erreichen;

- durch die nachgeschaltete Flockungsfiltration (Tuchfilteranlage) lässt sich ein  $P_{\text{ges}}$ -Betriebsmittelwert von 0,2 mg/l einhalten; hierfür ist dann allerdings eine überstöchiometrische Dosierung erforderlich, angesetzt wird hier ein  $\beta$ -Wert von 2,5.

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

Nr.	Anlagentyp	Größe	Eingesetzte Technologie zur P-Elimination	P-Ablauf-Konz. (ÜWW oder erklärt)	P-Ablauf-Konz. (Betrieb)	β-Wert (angen.)	Fällmittelmenge (FeCl <sub>3</sub> -40%)	Schlammmenge	Abwasserabgabe	Spez. Kosten
<b>1</b>	<b>Varianten für sehr kleine Anlagen (ca. 400 bis 2.000 EW), Teichanlagen, z.T. mit TTK., keine vorh. Fällung, Beispiel 1.000 EW</b>									
1.1	Teich / TTK	1.000 EW	Keine P-Elimination	10,0 mg/l	7,0 mg/l	-	0,0 t/a	0,0 t/a	3.266 €/a	3,27 €/(EW*a)
1.2	Teich / TTK	1.000 EW	Kont. Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub>	4,0 mg/l	2,0 mg/l	1,8	5,1 t/a	8,4 t/a	1.306 €/a	6,14 €/(EW*a)
<b>2</b>	<b>Varianten für kleine Anlagen (ca. 1.000 bis 5.000 EW), simultane aerobe Schlammstabilisierung, keine vorh. Fällung, Beispiel 4.000 EW</b>									
2.1	Belebung oder SBR	4.000 EW	Keine P-Elimination	10,0 mg/l	7,0 mg/l	-	0,0 t/a	0,0 t/a	13.063 €/a	3,27 €/(EW*a)
2.2	Belebung oder SBR	4.000 EW	Kont. Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub>	2,0 mg/l	1,0 mg/l	2,0	28,6 t/a	44,7 t/a	2.613 €/a	3,50 €/(EW*a)
2.3	Belebung oder SBR	4.000 EW	frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	2,0 mg/l	1,0 mg/l	1,6	22,9 t/a	36,8 t/a	2.613 €/a	4,05 €/(EW*a)
<b>3</b>	<b>Varianten für mittlere Anlagen (ca. 10.000 bis 40.000 EW), simultane aerobe Schlammstabilisierung, vorh. Fällung, Beispiel 20.000 EW</b>									
3.1	Belebung	20.000 EW	frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	2,0 mg/l	1,0 mg/l	1,6	109,7 t/a	177,7 t/a	15.676 €/a	2,51 €/(EW*a)
3.2	Belebung	20.000 EW	frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,8	135,7 t/a	213,6 t/a	7.838 €/a	2,56 €/(EW*a)
3.3	Belebung	20.000 EW	Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,5	30,0 t/a	120,2 t/a	7.838 €/a	1,49 €/(EW*a)

Tabelle 5.5-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellrechnungen (Teil 2)

Nr.	Anlagen-typ	Größe	Eingesetzte Technologie zur P-Elimination	P-Ablauf-Konz. (ÜWW oder erklärt)	P-Ablauf-Konz. (Betrieb)	β-Wert (angen.)	Fällmittelmenge (FeCl <sub>3</sub> -40%)	Schlamm-menge	Abwasser-abgabe	Spez. Kosten
<b>4</b>	<b>Varianten für große Anlagen (bis ca. 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorhandene Fällung, Beispiel 50.000 EW</b>									
4.1	Belebung	50.000 EW	frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	2,0 mg/l	1,0 mg/l	1,6	272,3 t/a	425,1 t/a	45.722 €/a	2,53 €/(EW*a)
4.2	Belebung	50.000 EW	frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,8	351,4 t/a	534,1 t/a	22.861 €/a	2,50 €/(EW*a)
4.3	Belebung	50.000 EW	Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,5	132,1 t/a	330,1 t/a	22.861 €/a	1,76 €/(EW*a)
4.4	Belebung	50.000 EW	Fällmitteldosierung, FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung	1,0 mg/l	4,0 mg/l (VK) 0,5 mg/l (NK)	1,0 (Vorf.) 1,8 (SimF.)	206,6 t/a	334,4 t/a	22.861 €/a	1,78 €/(EW*a)
<b>5</b>	<b>Varianten für sehr große Anlagen (größer 100.000 EW), Vorklärung und Faulung, vorh. Fällung, Bio-P, Beispiel 100.000 EW</b>									
5.1	Belebung	100.000 EW	Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	1,0 mg/l	0,5 mg/l	1,5	264,2 t/a	660,3 t/a	45.722 €/a	1,46 €/(EW*a)
5.2	Belebung	100.000 EW	Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub>	0,5 mg/l	0,3 mg/l	2,0	392,3 t/a	837,0 t/a	22.861 €/a	1,57 €/(EW*a)
5.3	Belebung	100.000 EW	Bio-P vorhanden, zusätzl. Fällmitteldosierung FeCl <sub>3</sub> , 2-Punkt-Fällung (Flockungsfiltration, Tuchfilter)	0,5 mg/l	1,7 mg/l (NK) 0,2 mg/l (FF)	1,0 (SimF.) 2,5 (FF)	428,7 t/a	887,3 t/a	22.861 €/a	3,38 €/(EW*a)

## 5.7 Wertungen, Ergebnisse

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

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

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

### 5.7.1 Anlagentyp 1: Teichanlagen, ggf. kombiniert mit Tauchtropfkörperanlagen, Beispiel 1.000 EW

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

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

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

Barjenbruch et. al. (2004) berichten von Betriebsergebnissen aus behördlichen Überwachungen in Mecklenburg-Vorpommern von insgesamt 163 Teichanlagen aus dem Jahr 2003, aus denen hervorgeht, dass die  $P_{ges}$ -Ablaufmittelwerte der natürlich belüfteten Teichanlagen etwas besser ausfallen als die der technisch belüfteten Anlagen (siehe Abbildung

5.7-1). Hinsichtlich der P-Elimination wird von den Abwasserteichen insgesamt nur ein geringer Wirkungsgrad erzielt (ca. 30 % bezogen auf den 85 %-Wert und einer Zulaufkonzentration von 10 bis 13 mg/l).

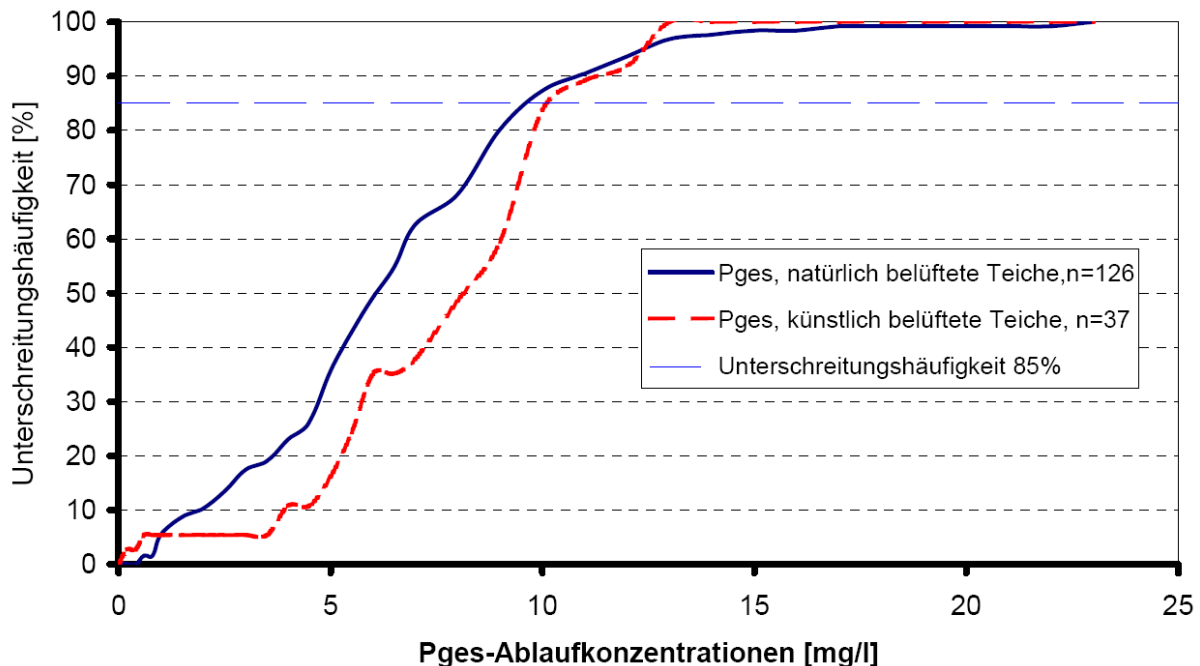


Abbildung 5.7-1: Unterschreitungshäufigkeit von  $P_{ges}$  der natürlich und technisch belüfteten Abwasserteichanlagen Mecklenburg-Vorpommern aus den Mittelwerten der behördlichen Überwachung, Stand 2003 (Barjenbruch et al., 2004)

### Einzusetzende Verfahrenstechnik:

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

- Als Fällmittel können ausschließlich 3-wertige Eisen- oder Aluminium-Salze eingesetzt werden, die nicht mehr oxidiert werden müssen; für die Oxidation von 2-wertigen Eisenverbindungen ist in Abwasserteichen häufig nicht ausreichend Sauerstoff vorhanden.
- Aufgrund der geringen erforderlichen Fällmittelmengen ist der Einsatz von zugelassenen 1-m<sup>3</sup>-Wechselbehältern (mit Prüfzeichen) mit darunter installierter Auffangwanne angezeigt. Der spezifische Fällmittelpreis ist zwar deutlich höher als bei Abnahme einer ganzen Tankwagenladung (ca. 390 €/t gegenüber ca. 200 €/t bei 40%-



iger  $\text{FeCl}_3$ -Lösung), allerdings sind die erforderlichen Investitionen deutlich geringer. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass eine Lagerung des Fällmittels über einen Zeitraum von ca. 1 Jahr vermieden werden sollte.

- Die Dosierung muss in einem möglichst turbulenten Bereich erfolgen. Hier bieten sich die Zulaufbereiche der Anlagen, z.B. Pumpwerke, Gerinne hinter Rechenanlagen oder Überfälle an.
- Die Fällmitteldosierung kann entweder als Vorfällung erfolgen oder – wenn eine ausreichende Turbulenz gegeben ist – als Nachfällung im Überlauf eines belüfteten Abwasserteichs zu einem nachgeschalteten Absetzteich. Beim Einsatz der Vorfällung erfolgt neben der P-Reduzierung auch eine Reduzierung der organischen Abwasserinhaltsstoffe; damit ergibt sich ein schlechteres BSB5/N-Verhältnis, was negative Auswirkungen auf die Denitrifikation haben kann.
- Um die Fällmittelmenge und damit die Betriebskosten möglichst gering zu halten, sollte die Dosierung zuflussmengenproportional erfolgen. Dies erfordert einen entsprechenden Eingriff in die E-MSR-Technik, der unterschiedlich aufwendig sein kann.

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

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

### **Wirtschaftlichkeit:**

Die geringen erforderlichen Investitionskosten für eine einfache Fällmitteldosieranlage können zu 100 % durch die zu verrechnende Abwasserabgabe von 3 Jahren finanziert werden. Dennoch sind die Kosten für den personellen Aufwand für Wartung und Instandhaltung der Dosieranlage sowie auch die Fällmittelkosten höher als die durch die geringeren P-Ablaufwerte eingesparte Abwasserabgabe, die Mehraufwendungen sind mit 2,87 €/ (EW\*a) oder ca. 2.870 €/a bzw. 0,078 €/m<sup>3</sup> Abwasser sehr gering.

## Spezifische Kosten

Mehrkosten von ca. 2.870 €/a stehen einer reduzierten P-Emission in die Gewässer von  $(383 - 109) = 274 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a}$  gegenüber. Die sich daraus ergebenden spezifischen Kosten errechnen sich somit zu:

$$2.870 \text{ €/a} / 274 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = 10,50 \text{ € / kg P}_{\text{el}}$$

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

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

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

#### Wirtschaftlichkeit:

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

- ca. 13.063 €/a entspr. bzw. ca. 3,27 €/EW.

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

- bei Anlage mit einfacher kontinuierlicher Fällmitteldosierung:  
ca. 14.000 €/a entspr. ca. 3,50 €/(EW\*a)
- bei Anlagen mit frachtenabhängiger Fällmitteldosierung:  
ca. 16.193 €/a entspr. ca. 4,05 €/(EW\*a)

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

Wird eine Fällmitteldosierung installiert, fallen zwar Betriebskosten für Fällmittel, Personalaufwand, Wartung und Unterhalt sowie erhöhte Schlammmentsorgung an, andererseits kann sich aber die Abwasserabgabe deutlich reduzieren, sofern ein entsprechender Bescheid ergeht. Unter Betrachtung aller Kapital- und Betriebskosten lassen sich die Gesamtkosten zwar nicht senken, aber insgesamt wird die in die Gewässer emittierte P-Fracht von ca. 1.533 kg/a auf ca. 219 kg/a, also um ca. 1.314 kg P / a deutlich reduziert.

Durch eine frachtabhängige Fällmitteldosierung mit entsprechend aufwendigerer Mess- und Regelungstechnik lassen sich zudem Betriebskosten (Fällmittelmengen und Schlammentsorgungskosten) reduzieren; stattdessen fallen aber höhere Kosten für die Wartung und den Betrieb der Mess- und Regelungstechnik an. Die Erst-Investitionen können beim Vorliegen der Voraussetzungen über die Abwasserabgabe verrechnet werden.

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

### Spezifische Kosten

Diese Reduzierung der Emissionen um ca. 1.314 kg P / a stehen Mehrkosten von ca. 1.000 – 2.150 €/a gegenüber. Es ergeben sich daraus spezifische Kosten:

- bei einfacher Dosiertechnik:  $\text{ca. } 1.000 \text{ €/a} / 1.314 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = 0,76 \text{ €} / \text{kg P}_{\text{el}}$
- bei frachtabhängiger Dosierung  $\text{ca. } 2.150 \text{ €/a} / 1.314 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = 1,64 \text{ €} / \text{kg P}_{\text{el}}$

### 5.7.3 Anlagentyp 3: Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung und Größenordnungen zwischen ca. 10.000 und 50.000 EW, Beispiel: 20.000 EW

Belebungsanlagen in der Größenordnung von ca. 10.000 EW bis ca. 50.000 EW werden zum Teil als aerob stabilisierende Anlagen ohne Schlammfäulung betrieben. Als Mindestanforderung für  $P_{\text{ges}}$  muss gemäß Anhang 1 der AbwV ein Wert von 2 mg/l eingehalten werden; dieser Wert ist auch in den meisten Erlaubnisbescheiden als Überwachungswert festgelegt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der im Betrieb realisierte P-Ablaufwert dieser Anlagen im Mittel in der Größenordnung 1,0 mg/l liegt.

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird eine Ablaufkonzentration von 1 mg/l (Betriebswert ca. 0,5 mg/l) angestrebt. Eine derartige Reduktion (von ca. 1,0 mg/l auf 0,5 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 20.000 EW in etwa einer P-Fracht von ca.  $(1.314 - 657) = 657 \text{ kg P} / \text{a}$ , die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Daraus ergibt sich für Anlagen dieser Größenordnung die Frage:

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

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Ablaufkonzentrationen und der damit einhergehenden Reduzierungen im Überwachungswert könnten in diesem Fall aus der Abwasserabgabe bis zu ca. 150.000 € mit Investitionen verrechnet werden. Die Investitionen einer frachtabhängigen Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik sowie auch Kosten für die Umprogrammierung der Steuerung und ggf. der Installation zusätzlicher Messwertaufnehmer sind deutlich geringer und lassen sich über eine Verrechnung der Abwasserabgabe finanzieren; Kapitalkosten fallen daher zunächst nicht an.

### **Wirtschaftlichkeit einer biologisch intensivierten P-Elimination in Kombination mit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 1,0 mg/l $P_{ges}$**

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

- Var. 3.1: 20.000 EW, zulaufproportionale Steuerung,  
 $P_{ges,AN} = 1,0 \text{ mg/l}$  ca. 50.260 €/a, 2,51 €/EW\*a)
- Var. 3.3: 20.000 EW, Bio-P (Steuerung),  
 $P_{ges,AN} = 0,5 \text{ mg/l}$  ca. 29.800 €/a, 1,49 €/EW\*a)

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

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

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

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

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

### **Wirtschaftlichkeit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 1,0 mg/l $P_{ges}$**

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

- Var. 3.1: 20.000 EW, zulaufproportionale Steuerung,  
 $P_{ges,AN} = 1,0$  mg/l                      ca. 50.260 €/a, 2,51 € /EW\*a)
- Var. 3.2: 20.000 EW, frachtproportionale Steuerung,  
 $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l                      ca. 51.225 €/a, 2,56 €/(EW\*a)

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

### **Spezifische Kosten**

#### Variante 3.2 (Fällung):

Die sich bei der Installation einer frachtabhängigen Fällmitteldosierung ergebenden Mehrkosten zum Einhalten eines Ablaufwertes von 0,5 mg P / l sind etwas höher als die geringen

gere Abwasserabgabe, so dass in der Summe ca. 1.000 €/a bzw. ca. 0,05 €/(EW\*a) höhere Aufwendungen zu tragen sind als bei der Variante 3.1 ( $P_{\text{ges,AN}} = 1,0 \text{ mg/l}$ ).

Diese Mehrkosten stehen dann aber einer Verringerung der P-Ablaufkraft um ca. 576 kg P / a entgegen, so dass sich daraus folgende spezifische Kosten in € / kg  $P_{\text{el}}$  ergeben:

$$1.000 \text{ €/a} / 657 \text{ kg } P_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 1,52 \text{ € / kg } P_{\text{el}}.$$

### Variante 3.3 (Bio-P)

Da sich im Vergleich zur Anlage mit einem Ablaufwert von 1,0 mg/l durch die Einbeziehung einer Anaerob-Phase in den Prozess eine deutliche Reduzierung der Betriebskosten (verringerte Fällmittelkosten, Entsorgungskosten, Abwasserabgabe) ergibt, fallen hier keine spezifischen Kosten bezogen auf die eliminierte P-Fracht an.

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

## **5.7.4 Anlagentyp 4: Belebungsanlagen mit Vorklärung sowie Schlammbehandlung durch Faulung für Anlagen in Größenordnungen bis 100.000 EW, Beispiel: 50.000 EW**

Anlagen dieser Größenordnung sind üblicherweise mit Vorklärung und Faulung ausgerüstet. Als Mindestanforderung für  $P_{\text{ges}}$  muss gemäß Anhang 1 der AbwV ein Wert von 2 mg/l eingehalten werden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der im Betrieb realisierte P-Ablaufwert (Betriebsmittelwert) dieser Anlagen in der Größenordnung 1,0 mg/l liegt.

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

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird eine Ablaufkonzentration von 1 mg/l (Betriebsmittelwert ca. 0,5 mg/l) angestrebt. Eine derartige Reduktion (von ca. 1,0 mg/l auf 0,5 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 50.000 EW in etwa einer P-Fracht von ca.  $(3.832 - 1.916) = 1.916 \text{ kg P / a}$ , die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Daraus ergeben sich für Anlagen dieser Größenordnung die Fragen:

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

*Lohnt sich der nachträgliche Bau eines Anaerob-Beckens zur biologischen Phosphor-Elimination?*

*Führt eine 2-Punkt-Fällung zu relevanten geringeren Fällmittelmengen und zu entsorgenden Schlamm-mengen? Ist die Installation einer 2-Punkt-Fällung wirtschaftlich?*

Es werden 3 verschiedene Varianten beschrieben und beurteilt, mit denen ein Überwachungswert von 1,0 mg/l (Betriebsmittelwert von 0,5 mg/l) erreicht werden kann.

- Variante 4.2: optimierte frachtabhängige Fällmitteldosierung (Simultanfällung)
- Variante 4.3: Bau eines Anaerob-Beckens zur Bio-P, zusätzlich frachtabhängige Dosierung
- Variante 4.4: 2-Punkt-Fällung mit Vorfällung und Simultanfällung

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Ablaufkonzentrationen (von 1,0 mg/l auf 0,5 mg/l) können in diesem Fall aus der Abwasserabgabe ca. 400.000 € mit Investitionen verrechnet werden. Die Investitionen einer aufwendigeren frachtabhängigen Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik sowie auch Kosten für die Umprogrammierung der Steuerung und ggf. der Installation zusätzlicher Messwertnehmer sind deutlich geringer und können ggf. mit der Abwasserabgabe verrechnet werden. Dies gilt ebenfalls für die Investitionen für eine 2-Punkt-Fällung inkl. einer zweiten Messstelle (Variante 4.4) oder für den Bau eines zusätzlichen Anaerob-Beckens.

Die bereits bei der Variante 3.3 (20.000 EW mit biologischer P-Elimination durch Anpassung der Steuerung) beschriebenen sehr positiven Auswirkungen der biologischen P-Elimination kommt hier ebenfalls sehr deutlich zum Tragen.

### **Wirtschaftlichkeit einer biologisch intensivierten P-Elimination (Neubau eines Bio-P-Beckens) in Kombination mit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 1,0 mg/l $P_{ges}$**

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Tabelle 5.6-1 zeigt sich, dass insbesondere in dem Fall, in dem durch den Bau eines Anaerob-Beckens die biologisch intensiviert P-Elimination möglich wird (Variante 4.3), eine deutliche Reduzierung der Fällmittelkosten sowie eine Reduzierung der zu entsorgenden Schlamm-mengen eintritt, obwohl die P-Ablauf-Konzentration von 1,0 mg/l auf 0,5 mg/l abgesenkt wird. Im Vergleich zur Ausgangssituation (50.000 EW, Ablaufkonzentration 1,0 mg/l) reduzieren sich die Jahreskosten und auch die spezifischen Kosten bei der Bio-P-Variante 4.3 erheblich:

- Var. 4.1: 50.000 EW,  $P_{ges,AN} = 1,0$  mg/l  
ca. 126.500 €/a, 2,53 €/EW\*a)
- Var. 4.3: 50.000 EW, Bio-P (Anaerob-Becken),  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l  
ca. 88.000 €/a, 1,76 €/(EW\*a)

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

### **Wirtschaftlichkeit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 1,0 mg/l $P_{ges}$**

Sollte auch dies nicht möglich sein, lässt sich durch eine optimierte Fällmitteldosierung, ggf. Ergänzung der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik (frachtabhängige Steuerung) ein Ablaufwert  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l erreichen (Variante 4.2). Die sich dann ergebenden Jahreskosten werden sich nicht wesentlich von den bisherigen Kosten (bei P-Ablaufwert 1,0 mg/l) unterscheiden, da sich die Mehraufwendungen für Fällmittel und Schlamm Entsorgung mit der geringeren Abwasserabgabe finanzieren lassen.

- Var. 4.1: 50.000 EW,  $P_{ges,AN} = 1,0$  mg/l  
ca. 126.500 €/a, 2,53 €/EW\*a)
- Var. 4.2: 50.000 EW, optimierte Fällung,  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l  
ca. 124.900 €/a, 2,50 €/EW\*a)

Eine Verringerung der P-Ablauffracht um ca. 1.916 kg P / a (bei der hier betrachteten Anlage mit 50.000 EW) lässt sich also mit ähnlichen Jahreskosten bzw. spezifischen Kosten erreichen.

### **Spezifische Kosten einer 2-Punkt-Fällung**

Bei dem hier betrachteten Anlagentyp 4 „Belebungsanlage bis ca. 100.000 EW“ wurde die Fragestellung untersucht, ob eine 2-Punkt-Fällung wirtschaftlich einsetzbar ist. Untersucht wurde die 2-Punkt-Fällung mit den Dosierstellen „Zulauf zur Vorklärung“ (Vorfällung) sowie „Ablauf Belebungsbecken“ (Simultanfällung). Nach den Modellrechnungen für diesen Fall wird die 2-Punkt-Fällung tendenziell folgende Auswirkungen haben:

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



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

- Var. 4.1: 50.000 EW,  $P_{ges,AN} = 1,0$  mg/l  
ca. 126.500 €/a, 2,53 €/EW\*a)
- Var. 4.2: 50.000 EW, optimierte Fällung,  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l  
ca. 124.900 €/a, 2,50 €/(EW\*a)
- Var. 4.4: 50.000 EW, 2-Punkt-Fällung,  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l  
ca. 89.000 €/a, 1,78 €/(EW\*a)

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

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

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

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

Bei Anlagen, die bereits jetzt mit einer Filtration ausgerüstet sind, liegt der Betriebsmittelwert bei ca. 0,2 - 0,3 mg/l.

Um hier eine nennenswerte Reduzierung der Phosphor-Emissionen erreichen zu können, wird eine Zielwert (ggf. Überwachungswert) von 0,5 mg/l (Betriebswert ca. 0,3 mg/l) ange-

strebt. Eine derartige Reduktion (von ca. 0,5 mg/l auf 0,3 mg/l) entspricht bei einer Anlage von 100.000 EW in etwa einer P-Fracht von ca. 5.475 kg P / a, die dann nicht mehr in die Gewässer emittiert wird.

Daraus ergeben sich für Anlagen dieser Größenordnung die Fragen:

*Kann mit der auf Anlagen dieser Größenordnung bereits vorhandenen Technologie (Bio-P und Fällung) durch Optimierung der Fällmitteldosierung stabil der angestrebte Ablaufwert  $P_{ges,AN} < 0,5$  mg/l eingehalten werden?*

*Lohnt sich die nachträgliche Installation einer Flockungsfiltration?*

Es werden 2 verschiedene Varianten beschrieben und beurteilt, mit denen ein Überwachungswert von 0,5 mg/l (Betriebsmittelwert von 0,3 mg/l) erreicht werden kann.

- Variante 5.2: Bio-P vorhanden, optimierte frachtabhängige Fällmitteldosierung (Simultanfällung)
- Variante 5.3: Bio-P vorhanden, Bau einer Flockungsfiltration, 2-Punkt-Fällung mit Simultanfällung und Nachfällung

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der P-Ablaufkonzentrationen (von einem Überwachungswert von 1,0 mg/l (Betriebsmittel 0,5 mg/l) auf 0,5 mg/l (Betriebsmittel 0,3 mg/l)) können in diesem Fall aus der Abwasserabgabe ca. 630.000 € mit Investitionen verrechnet. Die Investitionen einer aufwendigeren frachtabhängigen Fällmitteldosierung und der erforderlichen Mess- und Regelungstechnik sowie auch Kosten für die Umprogrammierung der Steuerung und ggf. der Installation zusätzlicher Messwertnehmer sind deutlich geringer und lassen sich über eine Verrechnung der Abwasserabgabe vollständig finanzieren (Variante 5.2).

### **Wirtschaftlichkeit einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von 0,5 mg/l $P_{ges}$**

Um einen Überwachungswert von 0,5 mg/l sicher zu unterschreiten ist bei Einsatz einer Simultanfällung eine deutlich überstöchiometrische Fällmitteldosierung erforderlich. Hier wurde mit einem  $\beta$ -Wert von 2,0 gerechnet.

Es ergeben sich folgende Jahreskosten für die Referenz-Variante 5.1 (Überwachungswert 1,0 mg/l, Betriebsmittelwert 0,5 mg/l) und der Variante 5.2 mit optimierter Fällung (Überwachungswert 0,5 mg/l, Betriebsmittelwert 0,3 mg/l)

- Var. 5.1: 100.000 EW,  $P_{ges,AN} = 0,5$  mg/l  
ca. 145.800 €/a, 1,46 €/EW\*a)
- Var. 5.2: 100.000 EW, optimierte Fällung,  $P_{ges,AN} = 0,3$  mg/l  
ca. 157.400 €/a, 1,57 €/(EW\*a)

Eine Verringerung der P-Ablaufkraft um ca.  $(3.830 - 2.300) = 1.530 \text{ kg P / a}$  (bei der hier betrachteten Anlage mit 100.000 EW) lässt sich also mit vergleichsweise geringfügig erhöhten Jahreskosten (ca. 11.600 €/a) bzw. spezifischen Kosten (ca.  $0,10 \text{ € / (EW*a)}$ ) erreichen.

### **Spezifische Kosten einer optimierten Fällung zum Einhalten eines Überwachungswertes von $0,5 \text{ mg/l P}_{\text{ges}}$**

Es ergibt sich daraus für die Variante 5.2 spezifische Kosten von

$$11.600 \text{ €/a} / 1.530 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 7,58 \text{ € / kg P}_{\text{el}}.$$

### **Wirtschaftlichkeit einer Flockungsfiltration zum Einhalten eines Überwachungswertes von $0,5 \text{ mg/l P}_{\text{ges}}$**

Die im Rahmen dieses Vorhabens ermittelten Kosten für eine nachgeschaltete Filtration sind allerdings mit ca. 1,9 Mio. € deutlich höher (siehe Kap. 5.2.3), so dass in diesem Fall eine Summe von ca. 1,27 Mio. € durch den Betreiber zu finanzieren ist.

Es ergeben sich folgende Jahreskosten für die Referenz-Variante 5.1 (Überwachungswert  $1,0 \text{ mg/l}$ , Betriebsmittelwert  $0,5 \text{ mg/l}$ ) im Vergleich mit der Variante 5.3 Flockungsfiltration (Überwachungswert  $0,5 \text{ mg/l}$ , Betriebsmittelwert  $0,2 \text{ mg/l}$ )

- Var. 5.1: 100.000 EW,  $P_{\text{ges,AN}} = 0,5 \text{ mg/l}$   
ca. 145.800 €/a,  $1,46 \text{ € / (EW*a)}$
- Var. 5.3: 100.000 EW, Flockungsfiltration,  $P_{\text{ges,AN}} = 0,2 \text{ mg/l}$   
ca. 338.400 €/a,  $3,38 \text{ € / (EW*a)}$

### **Spezifische Kosten einer Flockungsfiltration**

Insgesamt ergeben sich für die Variante 5.3 „Flockungsfiltration“ Mehrkosten von ca. 192.600 €/a. Daraus errechnen sich bei einer reduzierten P-Fracht in die Gewässer von  $(3.832 - 1.533) = \text{ca. } 2.300 \text{ kg P/a}$  spezifische Kosten von

$$192.600 \text{ €/a} / 2.300 \text{ kg P}_{\text{el}} / \text{a} = \text{ca. } 83,74 \text{ € / kg P}_{\text{el}}.$$

## **6 Abschätzung des Potentials der verbesserten P-Elimination für die Kläranlagen im Bereich des RP Gießen als Basis für eine Abschätzung für ganz Hessen**

### **6.1 Allgemeines**

Auf der Basis der theoretischen Betrachtungen sowie von ergänzend durchgeführten Versuchen zur P-Elimination wird das Potential einer verbesserten P-Elimination sowie einer Verringerung der Phosphor-Emissionen in die Gewässer für die Kläranlagen im Bereich des RP Gießen ermittelt. Basis hierfür waren Daten von Kläranlagen aus dem Bereich des Regierungspräsidiums Gießen. Folgende Daten wurden aus den EKVO-Berichten von 2009 bereitgestellt:

- Kläranlagenname und Betreiber
- Größenklasse
- natürlich angeschlossene Einwohner
- Ausbaugröße
- Mischwassermenge
- Trockenwettermenge
- Reinigungsverfahren
- Jahresschmutzwassermenge
- Phosphor-Zulaufkonzentration
- Phosphor-Ablaufkonzentration

Um das Potential einer verbesserten P-Elimination für die Kläranlagen in Bezug auf die Reduzierung der emittierten P-Fracht in die Gewässer zu ermitteln, wurden die nachfolgend beschriebenen Zielsetzungen herangezogen (vgl. auch Kap. 1.3) und so die zu erwartende Phosphor-Ablauffracht für jede einzelne Kläranlage errechnet:

- Ausrüstung von Kläranlagen der Größenklasse 1 (<1.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination in einzelnen Fällen und Einleitung in besonders schützenswerte Gewässer (z.B. Seen oder Talsperren),
- Ausrüstung der Kläranlagen der Größenklasse 2 und 3 (1.000 – 10.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination zum Einhalten eines Überwachungswertes für  $P_{\text{ges.}}$  von mindestens 2,0 mg/l, was einem Betriebsmittelwert von ca. 1,0 mg/l entspricht,
- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 4, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 1,0 mg/l einzuhalten, was einem Betriebsmittelwert von ca. 0,5 mg/l entspricht,

- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 5, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von 0,5 mg/l einzuhalten, was einem Betriebsmittelwert von ca. 0,2 bis 0,3 mg/l entspricht.

Tabelle 6.1-1: Übersicht über das in Kap. 1.3 genannte Zielsetzung (Szenario) mit ggf. zukünftigen Überwachungswerten und sich daraus ergebenden zu erwartenden Betriebsmittelwerte

	<b>zukünftiger Überwachungswert</b>	<b>zukünftiger Betriebsmittelwert</b>
Größenklasse 1:	nur Einzelfälle	
Größenklasse 2:	2,0 mg/l	1,0 mg/l
Größenklasse 3:	2,0 mg/l	1,0 mg/l
Größenklasse 4:	1,0 mg/l	0,5 mg/l
Größenklasse 5:	0,5 mg/l	0,3 mg/l

## 6.2 Auswertung für den Bereich des Regierungspräsidium Gießen

Die nachstehende Tabelle 6.2-1 zeigt eine Zusammenstellung von 197 im Bereich des RP Gießen betriebenen kommunalen Kläranlagen, für die die erforderlichen Daten seitens des RP Gießen zur Verfügung gestellt werden konnten. Insgesamt werden 222 Anlagen betrieben, von einigen Anlagen - vorrangig kleine Anlagen der Größenklasse 1 und 2 - liegen die für die Auswertung erforderlichen Daten nicht vor. Die ausgewerteten Daten wurden aufgeteilt nach Größenklassen mit den sich rechnerisch ergebenden P-Emissionen und jeweils für jede Größenklasse summiert. Daraus errechnet sich eine spezifische P-Emission je angeschlossenen Einwohner.

In der Summe ergibt sich für diese 197 Anlagen eine P-Emission von ca. 198 t P pro Jahr. Davon werden ca. 30 % über die Anlagen der Größenklasse 2 sowie 44 % über Anlagen der Größenklasse 4 emittiert.

Tabelle 6.2-1: Übersicht über die rechnerischen P-Emissionen von Kläranlagen im Bereich des RP Gießen (nach aktuellen EKVO-Berichten)

GK	Anzahl der Anlagen	Summe angeschlossene Einwohner und EW	Summe EW (Ausbaugröße)	Summe P-Emission	Anteil an der gesamten P-Emission	spez. P-Emission
-	-	E / EW	EW	t P / a	%	kg P / (E*a)
1	67	30.469	32.247	14,15	7,1%	0,464
2	81	166.148	200.090	60,20	30,4%	0,362
3	15	103.360	118.490	24,63	12,4%	0,238
4	33	629.746	971.400	87,44	44,2%	0,139
5	2	264.000	455.000	11,59	5,9%	0,044
<b>Summe</b>	<b>198</b>	<b>1.193.723</b>	<b>1.777.227</b>	<b>198,00</b>		<b>0,166</b>

Tabelle 6.2-2: Berechnete mittlere P-Ablaufkonzentration von Anlagen im Bereich des RP Gießen (bei Einhalten der Ablaufwerte nach o.g. Szenario)

GK	Anzahl der Anlagen	Summe angeschlossene Einwohner und EW	Summe P-Emission (Ist-Zustand)	angestrebter Ablaufwert (Betriebsmittel)	Summe P-Emission (möglich)	mögliche Reduzierung
-	-	E / EW	t P / a	mg/l	t P / a	%
1	67	30.469	14,15	-	14,15	0,0%
2	81	166.148	60,20	1,0	30,79	48,9%
3	15	103.360	24,63	1,0	16,25	34,0%
4	33	629.746	87,44	0,5	55,17	36,9%
5	2	264.000	11,59	0,3	8,99	22,4%
<b>Summe</b>	<b>198</b>	<b>1.193.723</b>	<b>198,00</b>		<b>125,35</b>	<b>36,7%</b>

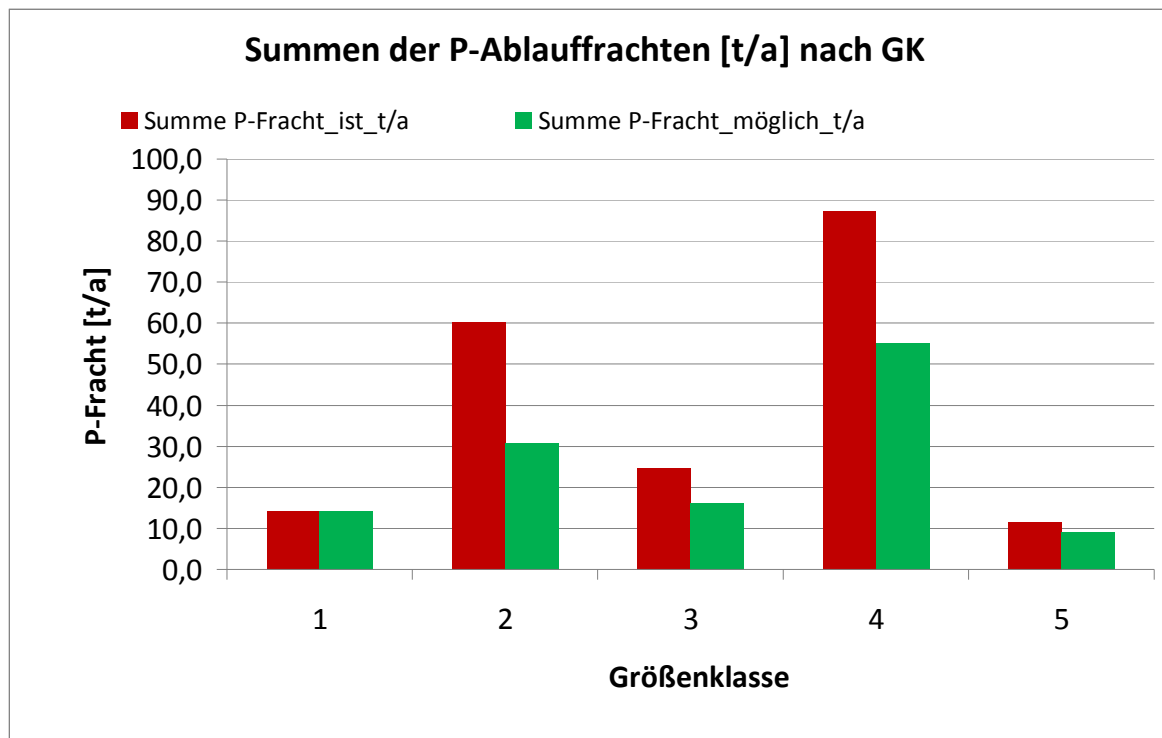


Abbildung 6.2-1: Summen der P-Ablaufmengen (Bereich RP-Gießen)

Rot: Ist-Zustand gemäß EKVO-Berichten

Grün: Mögliche Ablaufmengen unter Berücksichtigung der im Szenario genannten Ablaufkonzentrationen

Unter Berücksichtigung des o.g. Szenarios ergäben sich für den hier vorgenommene Auswertung zukünftig folgende Phosphor-Emissionen in die Gewässer:

- P-Ablaufmengen Ist-Zustand: 198,0 t P / a
- P-Ablaufmengen möglich (Szenario): 125,4 t P / a
- mögliche jährliche Verringerung der P-Emission 72,6 t P / a  
36,7 %

Es zeigt sich, dass sich die prozentual größte Verringerung bei den Anlagen der Größenklasse 2, die bisher häufig nicht mit Anlagen zur P-Elimination ausgerüstet sind.

Die größte Verringerung der P-Ablaufmengen steuern die Kläranlagen der Größenklasse 4 bei mit über 55 t P / a.

### 6.3 Auswertung für Hessen

Neben einer Gesamt-Betrachtung für den Bereich des RP Gießen wurde nach Bereitstellung der entsprechenden Daten auch eine Aussage für ganz Hessen durchgeführt. Für die Potentialermittlung wird das gleiche Szenario herangezogen wie im Kapitel 6.1 erläutert. Es standen Daten von 638 Kläranlagen in Hessen zur Verfügung.

In der Summe ergibt sich aktuell für Hessen eine P-Emission von ca. 752 t P pro Jahr. Davon werden ca. 46 % über die Anlagen der Größenklasse 4 emittiert.

Tabelle 6.3-1: Übersicht über die rechnerischen P-Emissionen von Kläranlagen in Hessen (nach aktuellen EKVO-Berichten 2009)

GK	Anzahl der Anlagen	Summe angeschlossene Einwohner und EW	Summe P-Emission (Ist-Zustand)	prozentuale P-Emission	spez. P-Emission
-	-	E / EW	t P / a	%	kg P / (E*a)
1	168	86.630	32,59	4,3%	0,376
2	238	567.170	158,62	21,1%	0,280
3	64	471.820	86,22	11,5%	0,183
4	158	5.060.740	346,56	46,1%	0,068
5	10	3.863.000	127,64	17,0%	0,033
<b>Summe</b>	<b>638</b>	<b>10.049.360</b>	<b>751,63</b>		<b>0,075</b>



Tabelle 6.3-2: Berechnete mittlere P-Ablaufkonzentration von Anlagen in Hessen (bei Einhalten der Ablaufwerte nach o.g. Szenario)

GK	Anzahl der Anlagen	Summe angeschlossene Einwohner und EW	Summe P-Emission (Ist-Zustand, 2009)	angestrebter Ablaufwerte	Summe P-Emission (möglich)	mögliche Reduzierung
-	-	E / EW	t P / a	mg/l	t P / a	%
1	168	86.630	32,59		31,71	0,00%
2	238	567.170	158,62	1,0	79,71	49,75%
3	64	471.820	86,22	1,0	52,71	38,86%
4	158	5.060.740	346,56	0,5	205,67	40,65%
5	10	3.863.000	127,64	0,3	61,98	51,44%
<b>Summe</b>	<b>638</b>	<b>10.049.360</b>	<b>751,63</b>		<b>431,78</b>	<b>42,55%</b>

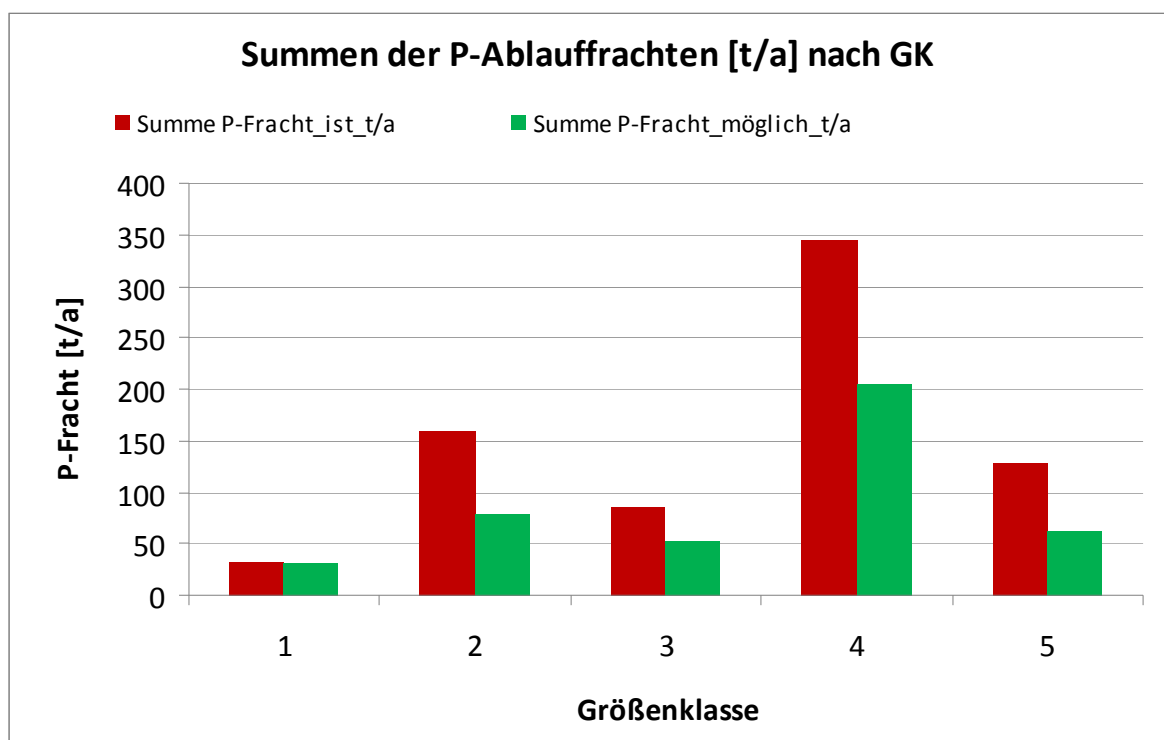


Abbildung 6.3-1: Summen der P-Ablaufmengen (Hochrechnung für Hessen):  
 Rot: Ist-Zustand gemäß EKVO-Berichten  
 Grün: Mögliche Ablaufmengen unter Berücksichtigung der im Szenario genannten Ablaufkonzentrationen

Folgende Ergebnisse zeigen sich für Hessen:

Unter Berücksichtigung des o.g. Szenarios ergäben sich für den hier vorgenommene Auswertung zukünftig folgende Phosphor-Emissionen in die Gewässer (Basis der Berechnung 638 Kläranlagen):

- P-Ablauffracht Ist-Zustand: 751,6 t P / a
- P-Ablauffracht möglich (Szenario): 431,8 t P / a
- mögliche jährliche Verringerung der P-Emission: 319,8 t P / a  
42,5 %

Es zeigt sich, dass bei den Größenklassen 2 bis 5 eine erhebliche Reduzierung der P-Emission erreichbar ist. Details müssen für jede Anlage im Einzelnen überprüft werden.

## 7 Zusammenfassung

Im Maßnahmenprogramm Hessen (HMUELV, 2009) werden zu Punktquellen sechs Maßnahmengruppen unterschieden (diese Maßnahmengruppen enthalten jeweils eine Reihe von zugeordneten Maßnahmenarten). Eine dieser Gruppen stellen Maßnahmen auf kommunalen Kläranlagen dar, die bei Einleitung in Talsperren und Seen sowie in den Fällen durchzuführen, in denen die Wasserkörper der Fließgewässer hinsichtlich des Trophie-Index Kieselalgen nicht zumindest in einem guten Zustand sind und die Orientierungswerte für Ortho-Phosphat um mehr als das Zweifache überschritten werden.

Grundsätzlich sollen nach dem Maßnahmenkatalog in diesen Fällen

- Kläranlagen von 1.000 bis 10.000 EW mit Einrichtungen zur Elimination von Phosphor-Verbindungen ausgerüstet werden, soweit solche Einrichtungen noch nicht vorhanden sind und
- bei Kläranlagen > 10.000 EW die vorhandenen Einrichtungen zur Elimination von Phosphor-Verbindungen optimiert werden.

Die Arbeitshilfe schlägt Maßnahmen nach folgender Kategorisierung vor:

- Ausrüstung von Kläranlagen der Größenklasse 1 (<1.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination in einzelnen Fällen und Einleitung in besonders schützenswerte Gewässer (z.B. Seen oder Talsperren),
- Ausrüstung der Kläranlagen der Größenklasse 2 und 3 (1.000 – 10.000 EW) mit Anlagen zur P-Elimination zum Einhalten eines Überwachungswertes für  $P_{ges.}$  von mindestens 2,0 mg/l, was einem Betriebsmittelwert von ca. 1,0 mg/l entspricht,

- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 4, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von mindestens 1,0 mg/l einzuhalten, was einem Betriebsmittelwert von ca. 0,5 mg/l entspricht,
- Optimierung von vorhandenen Anlagen und Verfahrenstechniken zur P-Elimination auf Kläranlagen der Größenklasse 5, um einen Überwachungswert für  $P_{\text{ges.}}$  von mindestens 0,5 mg/l einzuhalten, was einem Betriebsmittelwert von ca. 0,2 bis 0,3 mg/l entspricht.

Die Prüfung dieser prioritär durchzuführenden Maßnahmen erfolgt auf der Basis dieser Arbeitshilfe, nach der sich die Möglichkeiten und die Verhältnismäßigkeit im Einzelfall ermitteln lassen.

Die Betreiber der betroffenen Abwasseranlagen sind von der Wasserbehörde aufzufordern, die Möglichkeiten zur Verbesserung der Phosphorelimination zu prüfen. Die Folgerungen aus den entsprechenden Planungen sind mit dem Zeitplan für die Umsetzung von ggf. möglichen und sinnvollen Maßnahmen mit der Wasserbehörde zu erörtern.

In dieser Arbeitshilfe wurde durch entsprechende Modellrechnungen dargelegt, dass die für viele Maßnahmen erforderlichen Investitionen häufig über die Verrechnung mit der gezahlten Abwasserabgabe vollständig oder zum überwiegenden Teil finanziert werden können.

Die erforderlichen Betriebskosten lassen sich in der Regel über die geringere zukünftig zu zahlende Abwasserabgabe erheblich reduzieren.

Bei konsequenter Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen erscheint eine Reduzierung der in die Gewässer Hessens emittierten Phosphorfracht um bis zu 42,5 % denkbar.

## 8 Literaturverzeichnis

- AbwAG                      Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz – AbwAG) vom 18. Januar 2005, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. August 2010, BGBl. I S. 1163
- ATV-DVWK A 131        ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 131 - Bemessung von Belebungsanlagen, GFA, Hennef, 2000
- ATV-DVWK A 202        ATV-DVWK-Arbeitsblatt A 202 - Chemisch-physikalische Verfahren zur Elimination von Phosphor aus Abwasser, GFA, Hennef, 2004
- ATV-DVWK M 206        ATV-DVWK-Merkblatt M 206 - Automatisierung der chemischen Phosphatelimination, GFA, Hennef, 2001
- BARJENBRUCH, M.      Maßnahmen zur Verringerung von Problemen bei Blähschlamm – Schwimmschlamm – Schaum, Magdeburger Abwassertage 10./11.10.2002
- Barjenbruch, M.;  
Erler, C.  
Steinke, M.              und Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Optimierung von Abwasserteichanlagen“. Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz, Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft, April 2004 (zitiert in TMLNU, 2009)
- BOLL, R.                 Zur erhöhten biologischen Phosphorelimination mit dem Belebungsverfahren, Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Braunschweig, Heft 46, 1988
- GNIRSS, R.              Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung in Berlin, DWA Landesverbandstagung 2007 – Wasserwirtschaft, ein gesellschaftliches und umweltpolitisches Räderwerk. Berlin, 31. Mai bis 1. Juni 2007, zitiert in TMLNU, 2009
- HELMER, S.  
KUNST, S.                Grundlagen der vermehrten biologischen Phosphorelimination, ATV Schriftenreihe, Hennef, 1996
- HENZE, M.,  
HARREMOES, P.,  
LA COUR JANSEN, J.,  
ARVIN, E.                Wastewater treatment – biological and chemical processes, 3rd Ed. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 2000

- HMUELV Maßnahmenprogramm 2009 – 2015 zur Umsetzung der Wasser-  
rahmenrichtlinie in Hessen, Hessisches Ministerium für Umwelt,  
Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 1. Aufl. 2009,  
siehe auch: Feststellung und Veröffentlichung des Bewirtschaf-  
tungsplans und des Maßnahmenprogramms nach § 4 Abs. 2 des  
Hessischen Wassergesetzes im Rahmen der Umsetzung der EG-  
Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG), StAnz. 2009 S. 3112,  
([www.flussgebiete.hessen.de](http://www.flussgebiete.hessen.de) )
- HWG Hessisches Wassergesetz (HWG) vom 6. Mai 2005 GVBl. I S.  
305), zuletzt geändert durch Gesetz vom 4. März 2010 (GVBl. I S.  
85)
- ROSENWINKEL, K. Handbuch des Softwarepaketes DENIKAplus, Hannover 2002  
WICHERN, M.,  
LIPPELT, C.,  
ARNOLD, B.  
FENGLER, T.
- SCHEER, H. Bemessung von Kläranlagen auf Stickstoff- und Phosphorelimina-  
tion im internationalen Vergleich, Veröffentlichungen des Institutes  
für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität  
Hannover ISAH, Heft 102, Hannover 1998
- SCHÖNBERGER, R. Optimierung der biologischen Phosphorelimination bei der kommu-  
nalen Abwasserreinigung, Berichte aus Wassergütewirtschaft und  
Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Nr. 93, 1990
- SIEGRIST, H., Auswirkungen des Phosphatverbots in den Waschmitteln auf die  
BOLLER, M. Abwasserreinigung in der Schweiz, Korrespondenz Abwasser, 46  
(1), S. 57-65, 1999
- TEICHFISCHER, T. Der Einfluss schwankender Abwasserzusammensetzung auf die  
vermehrte biologische Phosphatelimination und Möglichkeiten zur  
Prozessstabilisierung, Institut für Siedlungswasserwirtschaft Tech-  
nische Universität Braunschweig, Heft 57, Braunschweig 1994
- TMLNU Leitfaden zur Verminderung des Phosphoreintrags aus Kläranla-  
gen Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und  
Umwelt TMLNU (Hrsg.) , Juli 2009,  
([www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1044.pdf](http://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1044.pdf) )

- VAwS                      Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung -VAwS), vom 16. September 1993, Gesamtausgabe in der Gültigkeit vom 17.12.2009 bis 31.12.2011, zuletzt geändert durch Verordnung vom 7. Dezember 2009 (GVBl. I S. 516)
- WENTZEL, M.            „Biological Excess Phosphorus Removal – Steady State Process  
EKAMA, G.; DOLD, P. Design“, Water South Africa, 16, 1990  
MARAIS, G.
- WHG                      Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163)

## **Anlage 1:**

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

		Variante 1.1 Anlage 1.000 EW ohne Fällung		Variante 1.2 Anlage 1.000 EW Fällung zuflussproportionale Steuerung	
<b>Größe der Kläranlage</b> spezifische Schmutzwassermenge spezifische Fremdwassermenge Trockenwettermenge $Q_T$ Biologische P-Elimination $\beta$ -Wert Fällung P-Ablaufkonzentration  P-Fracht mit Betriebsmittelwert P-Fracht für Abwasserabgabe Schadeinheiten	Betriebsmittelwert ggf. zukünftiger Überwachungswert oder erklärter Wert  3,00 kg P/SE	1.000 EW 100 l/(EW*d) 50% 150 m³/d  beta = 0,00 7,0 mg/l  10,0 mg/l  383,3 kg/a 547,5 kg/a 182,5 SE/a		1.000 EW 100 l/(EW*d) 50% 150 m³/d  beta = 1,80 2,0 mg/l  4,0 mg/l  109,5 kg/a 219,0 kg/a 73,0 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>					
<b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>	zur Verfügung		0,00 €		17.500,00 €
Bautechnik			0,00 €		9.500,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe					-9.500,00 €
Summe Bautechnik berücksichtigt			0,00 €		0,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik			0,00 €		11.500,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		0,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik berücksichtigt			0,00 €		-11.500,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>0,00 €</b>		<b>21.000,00 €</b>
<b>davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren</b>			<b>0,00 €</b>		<b>3.500,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>	Zinssatz 5,0%				
<b>Bautechnik und Umplanung</b> Abschreibungszeit 30 Jahre Zinssatz 5,0% Annuitätsfaktor a= 0,06505	volle Laufzeit halber Zinssatz		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>Maschinentechnik</b> Abschreibungszeit 15 Jahre Zinssatz 5,0% Annuitätsfaktor a= 0,09634	volle Laufzeit halber Zinssatz		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>	<b>Spez. Grundansätze</b>				
<b>Wartung/Reparatur</b> Bautechnik Maschinen- und E-MSR-Technik <b>Summe Wartung / Reparatur</b>	1,00 %/a der Investition 3,00 %/a der Investition		0,00 €/a 0,00 €/a 0,00 €/a		95,00 €/a 345,00 €/a 1.070,00 €/a
<b>Versicherung</b> Gebäudeversicherung Maschinenversicherung <b>Summe Versicherung</b>	0,07 % der Investitionen 0,20 % der Investitionen		0,00 €/a 0,00 €/a 0,00 €/a		6,65 €/a 23,00 €/a 29,65 €/a
<b>Laborchemikalien</b> <b>Personal</b>	25,00 €/h	pauschal 0 h/a	0,00 €/a 0,00 €/a	pauschal 52 h/a	0,00 €/a 1.300,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>2.399,65 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		<b>1.000 EW</b>	<b>0,00 €/EW</b>	<b>1.000 EW</b>	<b>2,40 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>2.399,65 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>					
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	182,5 SE/a	3.265,84 €/a	73,0 SE/a	1.306,34 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	0 kWh/a	0,00 €/a	20 kWh/a	3,60 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	390,00 €/t	0,00 t/a	0,00 €/a	5,14 t/a	2.005,28 €/a
Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)	50,00 €/t	0,00 t/a	0,00 €/a	8,41 t/a	420,48 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>3.265,84 €/a</b>		<b>3.735,69 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		<b>1.000 EW</b>	<b>3,27 €/EW</b>	<b>1.000 EW</b>	<b>3,74 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>3.265,84 €/a</b>		<b>6.135,34 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		<b>1.000 EW</b>	<b>3,27 €/EW</b>	<b>1.000 EW</b>	<b>6,14 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0895 €/m³</b>		<b>0,1681 €/m³</b>



		Anlage 4.000 EW keine Fällung		Anlage 4.000 EW Fällung kontinuierliche Dosierung		Anlage 4.000 EW Fällung, Bio-P frachtabhängige Steuerung	
Größe der Kläranlage		4.000 EW		4.000 EW		4.000 EW	
spezifische Schmutzwassermenge		100 l/(EW*d)		100 l/(EW*d)		100 l/(EW*d)	
spezifische Fremdwassermenge		50%		50%		50%	
Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>		600 m³/d		600 m³/d		600 m³/d	
Biologische P-Elimination		beta = 0,00		beta = 2,00		beta = 1,60	
β-Wert Fällung		7,0 mg/l		1,0 mg/l		1,0 mg/l	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert ggf. zukünftiger Überwachungswert oder erklärter Wert	10,0 mg/l		2,0 mg/l		2,0 mg/l	
P-Fracht mit Betriebsmittelwert		1.533,0 kg/a		219,0 kg/a		219,0 kg/a	
P-Fracht für Abwasserabgabe		2.190,0 kg/a		438,0 kg/a		438,0 kg/a	
Schadeinheiten	3,00 kg P/SE	730,0 SE/a		146,0 SE/a		146,0 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>							
Abwasserabgabe zur Verrechnung			0,00 €		45.500,00 €		45.500,00 €
Bautechnik			0,00 €		35.500,00 €		35.500,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		-35.500,00 €		-7.500,00 €
Summe Bautechnik			0,00 €		0,00 €		28.000,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik			0,00 €		17.500,00 €		38.000,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		-17.500,00 €		-38.000,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €		0,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>0,00 €</b>		<b>53.000,00 €</b>		<b>73.500,00 €</b>
davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren			<b>0,00 €</b>		<b>7.500,00 €</b>		<b>28.000,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>	Zinssatz 5,0%						
<b>Bautechnik und Umplanung</b>							
Abschreibungszeit 30 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,06505		0,00 €/a			0,00 €/a		1.821,44 €/a
<b>Maschinentechnik</b>							
Abschreibungszeit 15 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,09634		0,00 €/a			0,00 €/a		0,00 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>		<b>1.821,44 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>	<b>Spez. Grundansätze</b>						
<b>Wartung/Reparatur</b>							
Bautechnik	1,00 %/a der Investition		0,00 €/a		355,00 €/a		355,00 €/a
Maschinen- und E-MSR-Technik	3,00 %/a der Investition		0,00 €/a		525,00 €/a		1.140,00 €/a
<b>Summe Wartung / Reparatur</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>880,00 €/a</b>		<b>1.495,00 €/a</b>
<b>Versicherung</b>							
Gebäudeversicherung	0,07 % der Investitionen		0,00 €/a		24,85 €/a		24,85 €/a
Maschinenversicherung	0,20 % der Investitionen		0,00 €/a		35,00 €/a		76,00 €/a
<b>Summe Versicherung</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>59,85 €/a</b>		<b>100,85 €/a</b>
<b>Laborchemikalien</b>							
Personal	25,00 €/h	pauschal 0 h/a	0,00 €/a	pauschal 100 h/a	0,00 €/a 2.500,00 €/a	pauschal 150 h/a	0,00 €/a 3.750,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>3.439,85 €/a</b>		<b>5.345,85 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		<b>4.000 EW</b>	<b>0,00 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>0,86 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>1,34 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>3.439,85 €/a</b>		<b>7.167,29 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>							
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	730 SE/a	13.063,35 €/a	146 SE/a	2.612,67 €/a	146 SE/a	2.612,67 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	0 kWh/a	0,00 €/a	20 kWh/a	3,60 €/a	20 kWh/a	3,60 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	200,00 €/t	0,00 t/a	0,00 €/a	28,57 t/a	5.713,04 €/a	22,85 t/a	4.570,43 €/a
Klärschlammensorgung (zusätzlich)	50,00 €/t	0,00 t/a	0,00 €/a	44,68 t/a	2.233,80 €/a	36,79 t/a	1.839,60 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>13.063,35 €/a</b>		<b>10.563,11 €/a</b>		<b>9.026,30 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		<b>4.000 EW</b>	<b>3,27 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>2,64 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>2,26 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>13.063,35 €/a</b>		<b>14.002,96 €/a</b>		<b>16.193,59 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		<b>4.000 EW</b>	<b>3,27 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>3,50 €/EW</b>	<b>4.000 EW</b>	<b>4,05 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0895 €/m³</b>		<b>0,0959 €/m³</b>		<b>0,1109 €/m³</b>

		Anlage 20.000 EW Fällung, zulaufproportionale Dosierung		Anlage 20.000 EW Fällung, frachtabhängige Dosierung		Anlage 20.000 EW Fällung, frachtabhängige Steuerung, Bio-P	
<b>Größe der Kläranlage</b>		20.000 EW		20.000 EW		20.000 EW	
spezifische Schmutzwassermenge		120 l/(EW*d)		120 l/(EW*d)		120 l/(EW*d)	
spezifische Fremdwassermenge		50%		50%		50%	
Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>		3600 m³/d		3600 m³/d		3600 m³/d	
Biologische P-Elimination		beta = 1,60		beta = 1,80		beta = 1,50	
β-Wert Fällung		1,0 mg/l		0,5 mg/l		0,5 mg/l	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert ggf. zukünftiger Überwachungswert oder erklärter Wert	2,0 mg/l		1,0 mg/l		1,0 mg/l	
P-Fracht mit Betriebsmittelwert		1.314,0 kg/a		657,0 kg/a		657,0 kg/a	
P-Fracht für Abwasserabgabe		2.628,0 kg/a		1.314,0 kg/a		1.314,0 kg/a	
Schadeinheiten	3,00 kg P/SE	876,0 SE/a		438,0 SE/a		438,0 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>							
<b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>	zur Verfügung	keine Verrechnung	0,00 €		150.000,00 €		150.000,00 €
Bautechnik		Dosierung	0,00 €	Dosierung	0,00 €	Dosierung	0,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe		vorhanden		vorhanden	0,00 €	vorhanden	0,00 €
Summe Bautechnik			0,00 €		0,00 €		0,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik			0,00 €	ergänzte MSR- Technik	30.000,00 €	ergänzte MSR- Technik	55.000,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		-30.000,00 €		-55.000,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €		0,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>0,00 €</b>		<b>30.000,00 €</b>		<b>55.000,00 €</b>
<b>davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren</b>					<b>0,00 €</b>		<b>0,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>							
	Zinssatz 5,0%						
<b>Bautechnik und Umplanung</b>							
Abschreibungszeit 30 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,06505			0,00 €/a		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>Maschinenteknik</b>							
Abschreibungszeit 15 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,09634			0,00 €/a		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>							
	Spez. Grundansätze						
<b>Wartung/Reparatur</b>							
Bautechnik	1,00 %/a der Investition		0,00 €/a		0,00 €/a		0,00 €/a
Maschinen- und E-MSR-Technik	3,00 %/a der Investition		0,00 €/a		900,00 €/a		1.650,00 €/a
<b>Summe Wartung / Reparatur</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>900,00 €/a</b>		<b>1.650,00 €/a</b>
<b>Versicherung</b>							
Gebäudeversicherung	0,07 % der Investitionen		0,00 €/a		0,00 €/a		0,00 €/a
Maschinenversicherung	0,20 % der Investitionen		0,00 €/a		60,00 €/a		110,00 €/a
<b>Summe Versicherung</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>60,00 €/a</b>		<b>110,00 €/a</b>
<b>Laborchemikalien</b>		pauschal	0,00 €/a	pauschal	0,00 €/a	pauschal	0,00 €/a
<b>Personal</b>	25,00 €/h	150 h/a	3.750,00 €/a	150 h/a	3.750,00 €/a	200 h/a	5.000,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>3.750,00 €/a</b>		<b>4.710,00 €/a</b>		<b>6.760,00 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		20.000 EW	<b>0,19 €/EW</b>	20.000 EW	<b>0,24 €/EW</b>	20.000 EW	<b>0,34 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>3.750,00 €/a</b>		<b>4.710,00 €/a</b>		<b>6.760,00 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>							
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	876 SE/a	15.676,02 €/a	438 SE/a	7.838,01 €/a	438 SE/a	7.838,01 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	100 kWh/a	18,00 €/a	100 kWh/a	18,00 €/a	17.620 kWh/a	3.171,60 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	200,00 €/t	109,69 t/a	21.938,09 €/a	138,83 t/a	27.765,39 €/a	29,99 t/a	5.998,70 €/a
KlärschlammSORgung (zusätzlich)	50,00 €/t	177,65 t/a	8.882,64 €/a	217,86 t/a	10.893,06 €/a	120,23 t/a	6.011,55 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>46.514,75 €/a</b>		<b>46.514,46 €/a</b>		<b>23.019,86 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		20.000 EW	<b>2,33 €/EW</b>	20.000 EW	<b>2,33 €/EW</b>	20.000 EW	<b>1,15 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>50.264,75 €/a</b>		<b>51.224,46 €/a</b>		<b>29.779,86 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		20.000 EW	<b>2,51 €/EW</b>	20.000 EW	<b>2,56 €/EW</b>	20.000 EW	<b>1,49 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0574 €/m³</b>		<b>0,0585 €/m³</b>		<b>0,0340 €/m³</b>

		4.1 Anlage 50.000 EW Fällung frachtabhängige Steuerung		4.2 Anlage 50.000 EW Fällung frachtabhängige Steuerung	
<b>Größe der Kläranlage</b>		50.000 EW		50.000 EW	
spezifische Schmutzwassermenge		140 l/(EW*d)		140 l/(EW*d)	
spezifische Fremdwassermenge		50%		50%	
Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>		10500 m³/d		10500 m³/d	
Biologische P-Elimination					
β-Wert Fällung		beta = 1,60		beta = 1,80	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert	1,0 mg/l		0,5 mg/l	
	ggf. zukünftiger				
	Überwachungswert oder	2,0 mg/l		1,0 mg/l	
	erklärter Wert				
P-Fracht mit Betriebsmittelwert		3.832,5 kg/a		1.916,3 kg/a	
P-Fracht für Abwasserabgabe		7.665,0 kg/a		3.832,5 kg/a	
Schadeinheiten	3,00 kg P/SE	2.555,0 SE/a		1.277,5 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>					
<b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>	zur Verfügung		0,00 €		400.000,00 €
Bautechnik		Dosierung vorhanden	0,00 €	Dosierung vorhanden	0,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		0,00 €
Summe Bautechnik			0,00 €		0,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		0,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>0,00 €</b>		<b>0,00 €</b>
<b>davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren</b>			<b>0,00 €</b>		<b>0,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>					
	Zinssatz 5,0%				
<b>Bautechnik und Umplanung</b>					
Abschreibungszeit 30 Jahre	volle Laufzeit				
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz				
Annuitätsfaktor a= 0,06505			0,00 €/a		0,00 €/a
<b>Maschinentechnik</b>					
Abschreibungszeit 15 Jahre	volle Laufzeit				
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz				
Annuitätsfaktor a= 0,09634			0,00 €/a		0,00 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>					
	<b>Spez. Grundansätze</b>				
<b>Wartung/Reparatur</b>					
Bautechnik	1,00 %/a der Investition		0,00 €/a		0,00 €/a
Maschinen- und E-MSR-Technik	3,00 %/a der Investition		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>Summe Wartung / Reparatur</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>Versicherung</b>					
Gebäudeversicherung	0,07 % der Investitionen		0,00 €/a		0,00 €/a
Maschinenversicherung	0,20 % der Investitionen		0,00 €/a		0,00 €/a
<b>Summe Versicherung</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>Laborchemikalien</b>		pauschal	0,00 €/a	pauschal	0,00 €/a
<b>Personal</b>	25,00 €/h	200 h/a	5.000,00 €/a	200 h/a	5.000,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>5.000,00 €/a</b>		<b>5.000,00 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>0,10 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>0,10 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>5.000,00 €/a</b>		<b>5.000,00 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>					
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	2.555 SE/a	45.721,73 €/a	1.278 SE/a	22.860,86 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	100 kWh/a	18,00 €/a	100 kWh/a	18,00 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	200,00 €/t	272,32 t/a	54.464,35 €/a	351,35 t/a	70.270,43 €/a
Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)	50,00 €/t	425,08 t/a	21.253,95 €/a	534,14 t/a	26.707,05 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>121.458,02 €/a</b>		<b>119.856,35 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>2,43 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>2,40 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>126.458,02 €/a</b>		<b>124.856,35 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>2,53 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>2,50 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0495 €/m³</b>		<b>0,0489 €/m³</b>

		4.3 Anlage 50.000 EW Fällung (frachtabh. Steuerung), Neubau Bio-P-Becken		4.4 Anlage 50.000 EW Fällung frachtabh. Steuerung, 2-Punkt	
<b>Größe der Kläranlage</b>		50.000 EW		50.000 EW	
spezifische Schmutzwassermenge		140 l/(EW*d)		140 l/(EW*d)	
spezifische Fremdwassermenge		50%		50%	
Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>		10500 m³/d		10500 m³/d	
Biologische P-Elimination		Bio-P			
β-Wert Fällung		beta = 1,50		Vorfällung: beta = 1,00 Simultanfällung: beta = 1,50	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert ggf. zukünftiger Überwachungswert oder erklärter Wert	0,5 mg/l		0,5 mg/l	
P-Fracht mit Betriebsmittelwert		1.916,3 kg/a		1.916,3 kg/a	
P-Fracht für Abwasserabgabe		3.832,5 kg/a		3.832,5 kg/a	
Schadeneinheiten	3,00 kg P/SE	1.277,5 SE/a		1.277,5 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>					
<b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>	zur Verfügung		400.000,00 €		400.000,00 €
Bautechnik		Dosierung vorh. Bio-P-Becken	0,00 € 500.000,00 €	Dosierung vorhanden	0,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			-440.000,00 €		0,00 €
Summe Bautechnik			60.000,00 €		0,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik		Ausrüstung Bio-P	60.000,00 €	für 2-Punkt- Fällung	55.000,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 € -60.000,00 €		-55.000,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>560.000,00 €</b>		<b>55.000,00 €</b>
<b>davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren</b>			<b>160.000,00 €</b>		<b>0,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>					
	Zinssatz 5,0%				
<b>Bautechnik und Umplanung</b>					
Abschreibungszeit 30 Jahre	volle Laufzeit				
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz				
Annuitätsfaktor a= 0,06505			3.903,09 €/a		0,00 €/a
<b>Maschinentechnik</b>					
Abschreibungszeit 15 Jahre	volle Laufzeit				
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz				
Annuitätsfaktor a= 0,09634			0,00 €/a		0,00 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>3.903,09 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>					
	<b>Spez. Grundansätze</b>				
<b>Wartung/Reparatur</b>					
Bautechnik	1,00 %/a der Investition		5.000,00 €/a		0,00 €/a
Maschinen- und E-MSR-Technik	3,00 %/a der Investition		1.800,00 €/a		1.650,00 €/a
<b>Summe Wartung / Reparatur</b>			<b>6.800,00 €/a</b>		<b>1.650,00 €/a</b>
<b>Versicherung</b>					
Gebäudeversicherung	0,07 % der Investitionen		350,00 €/a		0,00 €/a
Maschinenversicherung	0,20 % der Investitionen		120,00 €/a		110,00 €/a
<b>Summe Versicherung</b>			<b>470,00 €/a</b>		<b>110,00 €/a</b>
<b>Laborchemikalien</b>		pauschal	0,00 €/a	pauschal	0,00 €/a
<b>Personal</b>	25,00 €/h	250 h/a	6.250,00 €/a	250 h/a	6.250,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>13.520,00 €/a</b>		<b>8.010,00 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>0,27 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>0,16 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>17.423,09 €/a</b>		<b>8.010,00 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>					
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	1.278 SE/a	22.860,86 €/a	1.278 SE/a	22.860,86 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	26.430 kWh/a	4.757,40 €/a	180 kWh/a	32,40 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	200,00 €/t	132,11 t/a	26.422,83 €/a	206,62 t/a	41.324,35 €/a
Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)	50,00 €/t	330,14 t/a	16.507,13 €/a	334,41 t/a	16.720,65 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>70.548,21 €/a</b>		<b>80.938,26 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>1,41 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>1,62 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>87.971,30 €/a</b>		<b>88.948,26 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		<b>50.000 EW</b>	<b>1,76 €/EW</b>	<b>50.000 EW</b>	<b>1,78 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0344 €/m³</b>		<b>0,0348 €/m³</b>

		5.1 Anlage 100.000 EW Fällung (frachtabh. Steuerung), Bio-P (vorh.)		5.2 Anlage 100.000 EW Fällung (frachtabh. Steuerung), Bio-P (vorh.)		5.3 Anlage 100.000 EW Fällung (frachtabh. Steuerung), Bio-P (vorh.), Flockungsfiltration	
<b>Größe der Kläranlage</b>		100.000 EW		100.000 EW		100.000 EW	
spezifische Schmutzwassermenge		140 l/(EW*d)		140 l/(EW*d)		140 l/(EW*d)	
spezifische Fremdwassermenge		50%		50%		50%	
Trockenwettermenge Q <sub>T</sub>		21000 m³/d		21000 m³/d		21000 m³/d	
Biologische P-Elimination		Bio-P		Bio-P		Bio-P	
β-Wert Fällung		beta = 1,50		beta = 2,00		Simultanfällung: beta = 1,00	
P-Ablaufkonzentration	Betriebsmittelwert ggf. zukünftiger Überwachungswert oder erklärter Wert	0,5 mg/l		0,3 mg/l		Flockungsfiltration: beta = 2,50	
		1,0 mg/l		0,5 mg/l		0,2 mg/l	
P-Fracht mit Betriebsmittelwert		3.832,5 kg/a		2.299,5 kg/a		1.533,0 kg/a	
P-Fracht für Abwasserabgabe		7.665,0 kg/a		3.832,5 kg/a		3.832,5 kg/a	
Schadeinheiten	3,00 kg P/SE	2.555,0 SE/a		1.277,5 SE/a		1.277,5 SE/a	
<b>INVESTITIONEN</b>							
<b>Abwasserabgabe zur Verrechnung</b>	zur Verfügung		0,00 €		0,00 €		630.000,00 €
<b>Bautechnik</b>		Dosierung vorhanden	0,00 €	Dosierung vorhanden	0,00 €	Dosierung vorh.	0,00 €
						Tuchfiltration	416.500,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		0,00 €		0,00 €
Summe Bautechnik			0,00 €		0,00 €		416.500,00 €
Komponenten der M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €		40.000,00 €
			0,00 €		0,00 €		47.500,00 €
Anteil Verrechnung mit Abwasserabgabe			0,00 €		0,00 €	Tuchfiltration	1.400.000,00 €
Summe M- und E-MSR-Technik			0,00 €		0,00 €		-630.000,00 €
Elektrotechnik			0,00 €		0,00 €		857.500,00 €
<b>SUMME INVESTITIONEN</b>			<b>0,00 €</b>		<b>0,00 €</b>		<b>1.904.000,00 €</b>
<b>davon nach Verrechnung mit Abwasserabgabe zu finanzieren</b>			<b>0,00 €</b>		<b>0,00 €</b>		<b>1.274.000,00 €</b>
<b>KAPITALKOSTEN</b>							
	Zinssatz 5,0%						
<b>Bautechnik und Umplanung</b>							
Abschreibungszeit 30 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,06505			0,00 €/a		0,00 €/a		27.093,92 €/a
<b>Maschinentechnik</b>							
Abschreibungszeit 15 Jahre	volle Laufzeit						
Zinssatz 5,0%	halber Zinssatz						
Annuitätsfaktor a= 0,09634			0,00 €/a		0,00 €/a		82.613,51 €/a
<b>KAPITALKOSTEN</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>		<b>109.707,43 €/a</b>
<b>FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>							
	Spez. Grundansätze						
<b>Wartung/Reparatur</b>							
Bautechnik	1,00 %/a der Investition		0,00 €/a		0,00 €/a		4.165,00 €/a
Maschinen- und E-MSR-Technik	3,00 %/a der Investition		0,00 €/a		0,00 €/a		44.625,00 €/a
<b>Summe Wartung / Reparatur</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>		<b>48.790,00 €/a</b>
<b>Versicherung</b>							
Gebäudeversicherung	0,07 % der Investitionen		0,00 €/a		0,00 €/a		291,55 €/a
Maschinenversicherung	0,20 % der Investitionen		0,00 €/a		0,00 €/a		2.975,00 €/a
<b>Summe Versicherung</b>			<b>0,00 €/a</b>		<b>0,00 €/a</b>		<b>3.266,55 €/a</b>
<b>Laborchemikalien</b>							
Personal	25,00 €/h	pauschal 250 h/a	6.250,00 €/a	pauschal 250 h/a	6.250,00 €/a	pauschal 500 h/a	12.500,00 €/a
<b>SUMME FESTE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>6.250,00 €/a</b>		<b>6.250,00 €/a</b>		<b>64.556,55 €/a</b>
<b>Spezifische feste Betriebskosten €/EW</b>		<b>100.000 EW</b>	<b>0,06 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>0,06 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>0,65 €/EW</b>
<b>SUMME FESTE KOSTEN</b>			<b>6.250,00 €/a</b>		<b>6.250,00 €/a</b>		<b>174.263,98 €/a</b>
<b>VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>							
Abwasserabgabe (halbierter Satz)	17,90 €/SE	2.555 SE/a	45.721,73 €/a	1.278 SE/a	22.860,86 €/a	1.278 SE/a	22.860,86 €/a
Strombedarf für P-Elimination	0,180 €/kWh	44.300 kWh/a	7.974,00 €/a	44.300 kWh/a	7.974,00 €/a	62.070 kWh/a	11.172,60 €/a
Fällmittelbedarf Fe(III)Cl <sub>3</sub> (40 %-ig)	200,00 €/t	264,23 t/a	52.845,65 €/a	392,30 t/a	78.459,13 €/a	428,72 t/a	85.743,26 €/a
Klärschlamm Entsorgung (zusätzlich)	50,00 €/t	660,29 t/a	33.014,25 €/a	837,02 t/a	41.850,90 €/a	887,28 t/a	44.363,93 €/a
<b>SUMME VARIABLE BETRIEBSKOSTEN</b>			<b>139.555,63 €/a</b>		<b>151.144,89 €/a</b>		<b>164.140,65 €/a</b>
<b>Spezifische variable Betriebskosten €/EW</b>		<b>100.000 EW</b>	<b>1,40 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>1,51 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>1,64 €/EW</b>
<b>SUMME JAHRESKOSTEN</b>			<b>145.805,63 €/a</b>		<b>157.394,89 €/a</b>		<b>338.404,63 €/a</b>
<b>SPEZIFISCHE KOSTEN €/EW</b>		<b>100.000 EW</b>	<b>1,46 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>1,57 €/EW</b>	<b>100.000 EW</b>	<b>3,38 €/EW</b>
<b>Spezifische Kosten €/m³ Schmutzwasser</b>			<b>0,0285 €/m³</b>		<b>0,0308 €/m³</b>		<b>0,0662 €/m³</b>

## Anlage 2: Liste der kommunalen Kläranlagen mit Angabe zur Priorität der Maßnahmen zur Phosphorreduzierung im Bewirtschaftungszeitraum 2009 bis 2015 (vgl. Abbildung 1.1-1)

Kreis	Name der Anlage	Betreiber	Ausbaugröße EW	Wasserkörpername	Priorität
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Darmstadt, Stadt</b>					
411	Darmstadt	HSE Abwasserreinigung GmbH & Co KG	240000	Darmbach/Darmstadt	rot
411	Darmstadt / Eberstadt	HSE Abwasserreinigung GmbH & Co KG	50000	obere Modau	gelb
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Frankfurt am Main, Stadt</b>					
412	Frankfurt am Main / Flughafen	Fraport AG	11000	Schwarzbach/Walldorf	grün
412	Frankfurt am Main / Niederrad/Griesheim	Stadtentwässerung Frankfurt am Main	1350000	Main	rot
412	Frankfurt am Main / Sindlingen	Stadtentwässerung Frankfurt am Main	470000	Main	rot
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Wiesbaden, Lds. Hauptstadt</b>					
414	Wiesbaden / Biebrich	Stadt Wiesbaden -ELW-	130000	Rhein von Main bis Nahe	grün
414	Wiesbaden / Mitte	Stadt Wiesbaden -ELW-	330000	Rhein von Main bis Nahe	grün
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Kreis Bergstrasse</b>					
431	Bensheim	KMB-Kommunalw. Mittlere Bergstraße	90000	unterer Winkelbach	gelb
431	Biblis	Gemeinde Biblis	19970	Halbmaasgraben	rot
431	Bürstadt	Stadt Bürstadt	27000	Rinne	rot
431	Groß-Rohrheim	Gemeinde Groß-Rohrheim	5000	unterer Winkelbach	gelb
431	Heppenheim (Bergstraße)	Stadtwerke Heppenheim	80000	Stadtbach	gelb
431	Lampertheim	Stadt Lampertheim	33000	Rhein von Neckar bis Main	gelb
431	Lampertheim / Hofheim	Stadt Lampertheim	8000	Rinne	rot
431	Lautertal / Schannenbach	KMB-Kommunalw. Mittlere Bergstraße	250	Meerbach/Bensheim	gelb
431	Lorsch	Stadt Lorsch	18000	untere Weschnitz	gelb
431	Mörlenbach	AV Oberes Weschnitztal	55000	obere Weschnitz	gelb
431	Wald-Michelbach / Kreidach	AV Überwald	800	obere Weschnitz	gelb
431	Wald-Michelbach / Unterschönmattenweg	AV Überwald	22000	Ulfenbach	gelb

<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Kreis Darmstadt-Dieburg</b>					
432	Alsbach-Hähnlein / Alsbach	AV Alsbach-Hähnlein-Zwingenberg	25000	unterer Fanggraben	rot
432	Babenhausen	Eigenbetrieb Babenhausen	36000	Gersprenz/Dieburg	rot
432	Bickenbach	AV Bickenbach, Seeheim-Jugenheim	32000	unterer Fanggraben	rot
432	Dieburg	EAB Dieburg	30000	Gersprenz/Dieburg	rot
432	Eppertshausen	Gemeinde Eppertshausen	8900	Hegwaldbach	rot
432	Griesheim	Stadt Griesheim	30000	Landgraben/Griesheim	rot
432	Gross-Umstadt / Richen	Stadtwerke Groß-Umstadt	35000	unterer Ohlebach	rot
432	Gross-Zimmern	Gemeinde Groß-Zimmern	16500	Gersprenz/Dieburg	rot
432	Messel	Gemeinde Messel	4800	Apfelbach	rot
432	Modautal / Brandau	Gemeinde Modautal	3500	obere Modau	gelb
432	Modautal / Ernsthofen	Gemeinde Modautal	2600	obere Modau	gelb
432	Mühltal / Nieder-Ramstadt	AV Modau	55000	obere Modau	gelb
432	Münster	Gemeinde Münster	15000	Gersprenz/Dieburg	rot
432	Münster, MUNA	Gemeinde Münster	600	Stillgraben	rot
432	Pfungstadt	Stadt Pfungstadt	45000	untere Modau	rot
432	Pfungstadt / Eschollbrücken	Stadt Pfungstadt	8000	Sandbach	gelb
432	Reinheim / Spachbrücken	AV Vorderer Odenwald	40000	Gersprenz/Reinheim	gelb
432	Rossdorf / Gundernhausen	Gemeindewerke Rossdorf	15500	Erbesbach	rot
432	Weiterstadt	Stadtwerke Weiterstadt	30000	Landgraben/Griesheim	rot
432	Weiterstadt / Gräfenhausen	Stadtwerke Weiterstadt	11000	Mühlbach/Großgerau	gelb
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Kreis Groß-Gerau</b>					
433	Büttelborn	Gemeinde Büttelborn	19800	Landgraben/Griesheim	rot
433	Gernsheim	Stadt Gernsheim	18000	Rhein von Neckar bis Main	gelb
433	Ginsheim-Gustavsburg	Abwasser - und Servicebetrieb Mainspitze	32500	Rhein von Neckar bis Main	gelb
433	Gross-Gerau	Stadtwerke Groß-Gerau	45000	Mühlbach/Großgerau	gelb
433	Mörfelden-Walldorf / Mörfelden	Stadtwerke Mörfelden-Walldorf	48000	Schwarzbach/Mörfelden	grün
433	Nauheim	Gemeinde Nauheim	14000	Schwarzbach/Mörfelden	grün
433	Raunheim	AV Rüsselsheim-Raunheim	98000	Main	rot
433	Riedstadt / Wolfskehlen	Stadt Riedstadt	31000	Landgraben/Griesheim	rot
433	Rüsselsheim / Bausenheim	AV Rüsselsheim-Raunheim	15000	Beinesgraben	gelb
433	Stockstadt	Gemeinde Stockstadt	7000	untere Modau	rot
433	Trebur	Gemeinde Trebur	9000	Schwarzbach/Astheim	grün
433	Trebur / Geinsheim	Gemeinde Trebur	5500	Hauptgraben	rot

**Regierungspräsidium Darmstadt****Hochtaunuskreis**

434	Bad Homburg / Ober Erlenbach	AV Oberes Erlenbachtal	59000	unterer Erlenbach	rot
434	Bad Homburg / Ober Eschbach	Stadt Bad Homburg v. d. Höhe	80000	oberer Eschbach	rot
434	Grävenwiesbach / Heinenzenberg	AV Oberes Weiltal	25000	obere Weil	grün
434	Grävenwiesbach / Mönstadt	Gemeinde Grävenwiesbach	7000	obere Weil	grün
434	Kronberg Im Taunus	AV Kronberg	25700	Schwalbach	rot
434	Oberursel / Weißkirchen	Eigenbetrieb Bau und Service Oberursel	75000	unterer Urselbach	grün
434	Usingen / Kransberg	AV Oberes Usatal	49000	obere Usa	rot
434	Usingen / Michelbach	AV Oberes Usatal	389	obere Usa	rot
434	Usingen / Wilhelmsdorf	AV Oberes Usatal	560	obere Weil	grün

**Regierungspräsidium Darmstadt****Main-Kinzig-Kreis**

435	Bad Orb	Eigenbetrieb Abwasserbeseitigung Bad Orb	25000	Orb	rot
435	Bad Orb, Schullandheim Wegscheide	Schullandheim Wegscheide, Bad Orb	800	Orb	rot
435	Bad Soden-Salmünster / Mernes	Stadtwerke Bad Soden-Salmünster	1400	Jossa/Burgjoss	gelb
435	Bad Soden-Salmünster / Salmünster	Stadtwerke Bad Soden-Salmünster	20700	untere Kinzig	gelb
435	Biebergemünd / Lanzingen	Gemeinde Biebergemünd	5800	Bieber/Biebergemünd	rot
435	Biebergemünd / Wirtheim	Gemeinde Biebergemünd	6000	untere Kinzig	gelb
435	Birstein / Hettersroth	Gemeinde Birstein	350	Bracht	gelb
435	Birstein / Lichenroth	Gemeinde Birstein	1200	Salz	gelb
435	Erlensee / Rückingen	Gemeinde Erlensee	27000	untere Kinzig	gelb
435	Flörsbachtal / Mosborn	Gemeinde Flörsbachtal	80	Lohrbach	gelb
435	Großkrotzenburg	Gemeinde Großkrotzenburg	11000	Main	rot
435	Gründau / Lieblos	AV Gelnhäusen	65000	untere Kinzig	gelb
435	Hammersbach / Marköbel	AV Oberes Krebsbachtal	12000	Fallbach	rot
435	Hanau / Nordwest	Eigenbetrieb Hanau Verkehr u. Entsorgung	270000	Main	rot
435	Hasselroth / Neuenhasslau	AV Freigericht	18000	Hasselbach	rot
435	Hasselroth / Niedermittlau	AV Freigericht	32500	untere Kinzig	gelb
435	Jossgrund / Burgjoß	Gemeinde Jossgrund	7000	Jossa/Burgjoss	gelb
435	Langenselbold	Eigenbetrieb Stadt Langenselbold	18000	untere Kinzig	gelb
435	Nidderau / Erbstadt	Stadt Nidderau	2000	Krebsbach	rot
435	Nidderau / Windecken	Stadt Nidderau	27000	untere Nidder	rot
435	Rodenbach / Niederrodendbach	Gemeinde Rodenbach	16000	Lache/Rodenbach	rot
435	Ronneburg / Hüttengesäß	AV Oberer Fallbach	8000	Fallbach	rot
435	Schlüchtern / Niederzell	Stadtwerke Schlüchtern	27500	obere Kinzig	rot



435	Sinntal / Mottgers	Gemeinde Sinntal	5500	Schmale Sinn	gelb
435	Steinau an der Straße	Stadt Steinau an der Straße	13500	untere Kinzig	gelb
435	Steinau an der Straße / Hintersteinau	Stadt Steinau an der Straße	980	obere Kinzig	rot
435	Steinau an der Straße / Marjoß	Stadt Steinau an der Straße	900	Jossa/Burgjoss	gelb
435	Steinau an der Straße / Neustall	Stadt Steinau an der Straße	650	obere Kinzig	rot
435	Wächtersbach	AV Bracht	30000	untere Kinzig	gelb
435	Wächtersbach / Leisenwald	Stadt Wächtersbach	500	Seemenbach/Büdingen	gelb
435	Wächtersbach / Waldensberg	Stadt Wächtersbach	500	Waschbach/Waldensberg	gelb

**Regierungspräsidium Darmstadt  
Main-Taunus-Kreis**

436	Eppstein / Ehlhalten	AV Main-Taunus	8000	Schwarzbach/Eppstein	rot
436	Flörsheim am Main / Flörsheim	AV Flörsheim	90000	Wickerbach	rot
436	Hattersheim / Eddersheim	AV Main-Taunus	9950	Main	rot
436	Hochheim Am Main / Hochheim	Stadtwerke Hochheim-Eigenbetrieb	35000	Main	rot
436	Hofheim Am Taunus / Langenhain	AV Main-Taunus	4900	Weilbach	rot
436	Hofheim Am Taunus / Lorsbach	AV Main-Taunus	31000	Schwarzbach/Eppstein	rot
436	Hofheim Am Taunus / Wildsachsen	AV Main-Taunus	2000	Wickerbach	rot
436	Kelkheim (Taunus) / Rupertshain	AV Main-Taunus	6000	Schwarzbach/Eppstein	rot
436	Kriftel / Kriftel	AV Main-Taunus	49170	Schwarzbach/Hattersheim	grün

**Regierungspräsidium Darmstadt  
Odenwaldkreis**

437	Brensbach	AV Obere Gersprenz	29333	Gersprenz/Reinheim	gelb
437	Breuberg / Hainstadt	AV Unterzent-Untere Mümling	28000	untere Mümling	gelb
437	Breuberg / Sandbach (Ernst-Ludwig-Kli.)	AHG Klinik Hardberg	360	untere Mümling	gelb
437	Erbach / Bullau	Eigenbetrieb Abwasserbeseitigung Erbach	800	Neckargeb. unterh. Seebach oberh. Elsenz	grün
437	Erbach / Roßbach	Eigenbetrieb Abwasserbeseitigung Erbach	85	obere Mümling	gelb
437	Höchst I. Odw. / Mümling-Grumbach	AV Bad König	18000	untere Mümling	gelb
437	Michelstadt / Steinbach	AV Mittlere Mümling	37600	untere Mümling	gelb
437	Michelstadt / Weiten-Gesäss	Eigenbetrieb Stadt Michelstadt	1200	Waldbach	gelb
437	Michelstadt / Würzburg	Eigenbetrieb Stadt Michelstadt	1500	Ohrenbach	gelb

437	Mossautal / Hüttenthal	Gemeinde Mossautal	3200	obere Mümling	gelb
437	Sensbachtal / Hebstahl	Gemeinde Sensbachtal	1500	Neckargeb. unterh. Seebach oberh. El- senz	grün
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Kreis Offenbach</b>					
438	Dietzenbach	ABeG Abwasserbetriebsgesell- schaft mbH	45000	Bieber/Rodgau	rot
438	Dreieich / Buchschlag	Stadt Dreieich	75000	Schwarzbach/Walldorf	grün
438	Hainburg / Hainstadt	Gemeinde Hainburg	10000	Main	rot
438	Hainburg / Klein- Krotzenburg	Gemeinde Hainburg	8000	Main	rot
438	Heusenstamm	Stadtwerke Heusenstamm	40000	Bieber/Rodgau	rot
438	Langen	AV Langen-Egelsbach	75000	Schwarz- bach/Mörfelden	grün
438	Mühlheim Am Main	AV Untere Rodau	80000	Main	rot
438	Rödermark / Ober-Roden	Stadt Rödermark	38000	Rodau	rot
438	Rodgau / Weiskirchen	Stadtwerke Rodgau	63500	Rodau	rot
438	Seligenstadt	Stadtwerke Seligenstadt	35000	Main	rot
438	Seligenstadt / Klein- Welzheim	AV Schleifbach	25000	Main	rot
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Rheingau-Taunus-Kreis</b>					
439	Aarbergen / Rückershau- sen	Gemeinde Aarbergen	9900	Aar/Taunusstein	rot
439	Bad Schwalbach / Heim- bach	Stadtwerke Bad Schwalbach	800	Aar/Taunusstein	rot
439	Bad Schwalbach / Lan- genseifen	Stadtwerke Bad Schwalbach	1000	Wisper	rot
439	Bad Schwalbach / Lind- schied	Stadtwerke Bad Schwalbach	30200	Aar/Taunusstein	rot
439	Bad Schwalbach / Ram- schied	Stadtwerke Bad Schwalbach	800	Wisper	rot
439	Eltville Am Rhein / Erbach (Rheingau)	AV Oberer Rheingau	65800	Rhein von Main bis Nahe	grün
439	Geisenheim	AV Mittlerer Rheingau	70000	Rhein von Main bis Nahe	grün
439	Heidenrod / Kemel	Gemeinde Heidenrod	2700	Wisper	rot
439	Heidenrod / Laufenselden	Gemeinde Heidenrod	3500	Dörsbach	gelb
439	Heidenrod / Martenroth	Gemeinde Heidenrod	1427	Oberer Mühlbach	gelb
439	Heidenrod / Nauroth	Gemeinde Heidenrod	2700	Wisper	rot
439	Heidenrod / Niedermeil- lingen	Gemeinde Heidenrod	1600	Oberer Mühlbach	gelb
439	Heidenrod / Springen	Gemeinde Heidenrod	1300	Wisper	rot
439	Heidenrod / Watzelhain	Gemeinde Heidenrod	800	Wisper	rot
439	Hohenstein / Breithardt	Gemeinde Hohenstein	3600	Aar/Taunusstein	rot
439	Hohenstein / Burg Ho- henstein	Gemeinde Hohenstein	1000	Aar/Taunusstein	rot
439	Hohenstein / Hennethal	Gemeinde Hohenstein	600	Aar/Taunusstein	rot
439	Hohenstein / Holzhausen	Gemeinde Hohenstein	1500	Aar/Taunusstein	rot

439	Hohenstein / Strinz Margarethä	Gemeinde Hohenstein	1500	Aar/Taunusstein	rot
439	Hünstetten / Beuerbach	AV Idstein	52000	Emsbach	rot
439	Hünstetten / Kettenschwalbach	Gemeinde Hünstetten	400	Palmbach	gelb
439	Hünstetten / Strinz Trinitatis	Gemeinde Hünstetten	1950	Aar/Taunusstein	rot
439	Idstein / Kröftel	AV Main-Taunus	1600	Schwarzbach/Eppstein	rot
439	Idstein / Walsdorf	AV Obere Ems	9900	Emsbach	rot
439	Lorch	Stadt Lorch	4900	oberer Mittelrhein	gelb
439	Lorch / Espenschied	Stadt Lorch	950	Wisper	rot
439	Lorch / Ransel	Stadt Lorch	800	Wisper	rot
439	Lorch / Wollmerschied	Stadt Lorch	350	Wisper	rot
439	Niedernhausen	AV Main-Taunus	18500	Schwarzbach/Eppstein	rot
439	Rüdesheim / Assmannshausen	Stadt Rüdesheim	7000	oberer Mittelrhein	gelb
439	Rüdesheim / Presberg	Stadt Rüdesheim	1500	Wisper	rot
439	Schlangenbad / Niederglabach	Gemeinde Schlangenbad	2000	Wisper	rot
439	Taunusstein / Bleidenstadt	AV Obere Aar	49900	Aar/Taunusstein	rot
439	Taunusstein / Niederlibbach	AV Libbach	2000	Aar/Taunusstein	rot
<b>Regierungspräsidium Darmstadt</b>					
<b>Wetteraukreis</b>					
440	Altenstadt	AV Altenstadt	25000	untere Nidder	rot
440	Altenstadt / Engelthal	AV Altenstadt	100	untere Nidder	rot
440	Altenstadt / Oppelshausen	Gemeinde Altenstadt	70	Wehrbach	gelb
440	Bad Nauheim	Stadt Bad Nauheim	43800	obere Usa	rot
440	Bad Nauheim / Rödgen	Stadt Bad Nauheim	1800	untere Wetter	rot
440	Bad Nauheim / Steinfurth	Stadt Bad Nauheim	3500	untere Wetter	rot
440	Bad Vilbel	Stadt Bad Vilbel	80000	Nidda/Bad Vilbel	rot
440	Büdingen	Stadt Büdingen	25000	Wolfsbach	gelb
440	Büdingen / Düdelsheim	Stadt Büdingen	4500	Nidder/Düdelsheim	rot
440	Büdingen / Rinderbügen	AV Seemenbach	4000	Seemenbach/Büdingen	gelb
440	Butzbach	Stadt Butzbach	34050	untere Wetter	rot
440	Butzbach / Bodenrod	Stadt Butzbach	450	oberer Solmsbach	rot
440	Butzbach / Fauerbach V. D. H.	Stadt Butzbach	1600	obere Usa	rot
440	Butzbach / Maibach	Stadt Butzbach	500	obere Usa	rot
440	Florstadt / Nieder-Florstadt	AV Horlofftal	30000	Nidda/Bad Vilbel	rot
440	Friedberg (Hessen)	Entsorgungsbetriebe der Stadt Friedberg	47500	untere Usa	rot
440	Gedern / Nieder-Seemen	Stadt Gedern	2500	oberer Seemenbach	gelb
440	Gedern / Wenings	Stadt Gedern	1820	oberer Bleichenbach	rot
440	Gedern-Schönhausen	Stadt Gedern	55	Nidder/Hirzenhain	rot
440	Glauburg / Stockheim	AV Oberes Niddertal	10000	Nidder/Düdelsheim	rot
440	Hirzenhain	AV Oberes Niddertal	10500	Nidder/Hirzenhain	rot
440	Karben / Gross-Karben	Stadtwerke Karben	40000	Nidda/Bad Vilbel	rot
440	Kefenrod / Bindsachsen	Gemeinde Kefenrod	900	Wolfsbach	gelb

440	Kefenrod / Helfersdorf	Gemeinde Kefenrod	1200	Bracht	gelb
440	Münzenberg / Gambach	Stadt Münzenberg	4247	untere Wetter	rot
440	Münzenberg / Ober-Hörgern	Stadt Münzenberg	2700	untere Wetter	rot
440	Nidda	AV Oberhessen	35000	Nidda/Nidda	rot
440	Nidda / Schwickartshausen	ZOV - Oberhess. Versorgungsbetriebe	2200	Laisbach	rot
440	Nidda / Wallernhausen	ZOV - Oberhess. Versorgungsbetriebe	1300	Laisbach	rot
440	Niddatal / Assenheim	AV Assenheim-Bruchenbrücken	7000	Nidda/Bad Vilbel	rot
440	Niederdorfelden	Gemeinde Schöneck	20000	untere Nidder	rot
440	Ortenberg / Bergheim	AV Oberes Niddertal	850	unterer Bleichenbach	rot
440	Ortenberg / Gelnhaar	AV Oberes Niddertal	1650	oberer Bleichenbach	rot
440	Ortenberg / Usenborn	AV Oberes Niddertal	800	unterer Bleichenbach	rot
440	Ranstadt / Dauernheim	Gemeinde Ranstadt	7500	Wehrbach	gelb
440	Rockenberg	Gemeinde Rockenberg	2400	untere Wetter	rot
440	Rockenberg / Oppershofen	Gemeinde Rockenberg	1800	Lattwiesengraben	rot
440	Rosbach v. d. Höhe / Nieder-Rosbach	Stadt Rosbach v. d. H.	16500	Rosbach	rot
440	Wölfersheim	Gemeinde Wölfersheim	6000	Biedrichsgraben	gelb
440	Wöllstadt / Nieder-Wöllstadt	AV Aubach	12000	Nidda/Bad Vilbel	rot
<b>Regierungspräsidium Gießen</b>					
<b>Kreis Giessen</b>					
531	Allendorf (Lumda)	Stadt Allendorf/Lumda	5100	obere Lumda	rot
531	Biebertal / Rodheim-Bieber	Gemeinde Biebertal	13000	Bieber/Heuchelheim	rot
531	Fernwald / Steinbach	Gemeinde Fernwald	7000	Albach	rot
531	Gießen / Margaretenhütte/Südliche Lahns	Mittelhessische Abwasserbetriebe (MAB)	300000	Lahn/Gießen	rot
531	Grünberg / Lumda	AV Ohm-Seenbach	5240	obere Lumda	rot
531	Grünberg / Weitershain	AV Ohm-Seenbach	550	obere Lumda	rot
531	Hungen / Utphe	AV Hungen	50000	untere Horloff	gelb
531	Langgöns / Espa	Gemeinde Langgöns	830	Kleebach	gelb
531	Laubach / Altenhain	AV Lauter-Wetter	750	obere Ohm	grün
531	Laubach / Freisenen	AV Lauter-Wetter	1000	obere Ohm	grün
531	Laubach / Friedrichshütte	AV Lauter-Wetter	100	obere Horloff	gelb
531	Laubach / Gonterskirchen	AV Lauter-Wetter	1320	obere Horloff	gelb
531	Laubach / Ruppertsburg	AV Lauter-Wetter	1150	obere Horloff	gelb
531	Lich	Stadtwerke Lich	15000	untere Wetter	rot
531	Lich / Eberstadt	Stadtwerke Lich	965	untere Wetter	rot
531	Lich / Muschenheim	Stadtwerke Lich	3000	untere Wetter	rot
531	Lich / Ober-Bessingen	AV Lauter-Wetter	25000	untere Wetter	rot
531	Lollar	ZV Lollar-Staufenberg	32000	Lahn/Marburg	rot
531	Pohlheim / Dorf-Güll	Stadt Pohlheim	3500	Rostgraben-Welsbach	rot
531	Pohlheim / Holzheim	Stadt Pohlheim	2200	Gambach	grün
531	Rabenau / Londorf	Gemeinde Rabenau	9000	obere Lumda	rot
531	Rabenau / Rüdtingshausen	Gemeinde Rabenau	1200	obere Lumda	rot

<b>Regierungspräsidium Gießen</b>					
<b>Lahn-Dill-Kreis</b>					
532	Bischoffen	AV Oberes Aartal (Mittelhes- sen)	9000	untere Aar	rot
532	Braunfels	Stadt Braunfels	11500	Iserbach	grün
532	Braunfels / Bonbaden	AV Bonbaden	9000	unterer Solmsbach	rot
532	Braunfels / Tiefenbach	AV Ulmtal-Lahn	20000	Lahn/Weilburg	rot
532	Breitscheid / Erdbach	Gemeinde Breitscheid	3000	Amdorfbach	gelb
532	Breitscheid / Gusternhain	Gemeinde Breitscheid	800	Amdorfbach	gelb
532	Breitscheid / Rabenscheid	Gemeinde Breitscheid	600	obere Dill	grün
532	Dillenburg / Donsbach	Stadt Dillenburg	2350	Amdorfbach	gelb
532	Dillenburg / Niederscheid	Stadt Dillenburg	32000	untere Dill	rot
532	Driedorf / Waldaubach	Gemeinde Driedorf	500	obere Dill	grün
532	Ehringshausen	Gemeinde Ehringshausen	11000	untere Dill	rot
532	Ehringshausen / Kölsch- hausen	Gemeinde Ehringshausen	3000	Lemp	rot
532	Eschenburg / Eibelshau- sen	AV Obere Dietzhölze	19000	obere Dill	grün
532	Eschenburg / Wissenbach	AV Obere Dietzhölze	2300	obere Dill	grün
532	Greifenstein / Nenderoth	AV Mittlere Dill	1700	Kallenbach	rot
532	Haiger	Stadt Haiger	34000	obere Dill	grün
532	Herborn / Guntersdorf	AV Rehbachtal	7500	Rehbach	rot
532	Herborn / Seelbach	AV Herbornseelbach	12000	untere Aar	rot
532	Hohenahr / Erda	AV Oberes Aartal (Mittelhes- sen)	2300	obere Aar	rot
532	Lahnau / Dorlar	Gemeinde Lahnau	13500	Lahn/Gießen	rot
532	Mittenaar / Bellersdorf	Gemeinde Mittenaar	500	untere Aar	rot
532	Schöffengrund / Nieder- wetz	AV Wetzachtal	3000	Wetzbach	rot
532	Siegbach / Uebernthal	AV Oberes Aartal (Mittelhes- sen)	3300	untere Aar	rot
532	Sinn / Edingen	AV Mittlere Dill	40000	untere Dill	rot
532	Solms / Burgsolms	Stadtwerke Solms	20000	Lahn/Weilburg	rot
532	Waldsolms / Brandobern- dorf	Gemeinde Waldsolms	5500	oberer Solmsbach	rot
532	Waldsolms / Kraftsolms	Gemeinde Waldsolms	1300	oberer Solmsbach	rot
532	Waldsolms / Weiperfelden	Gemeinde Waldsolms	300	oberer Solmsbach	rot
532	Wetzlar / Steindorf	AV Wetzlar	80000	Lahn/Weilburg	rot
<b>Regierungspräsidium Gießen</b>					
<b>Kreis Limburg-Weilburg</b>					
533	Beselich / Heckholzhaus- sen	Gemeinde Beselich	1100	Kerkerbach	rot
533	Beselich / Niedertiefen- bach	Gemeinde Beselich	1800	Tiefenbach/Steeden	rot
533	Beselich / Obertiefenbach	Gemeinde Beselich	4500	Tiefenbach/Steeden	rot
533	Beselich / Schupbach	AV Christianshütte	2600	Kerkerbach	rot
533	Brechen / Niederbrechen	AV Goldener Grund	27000	Emsbach	rot
533	Dornburg / Frickhofen	Gemeinde Dornburg	3900	Elbbach	rot
533	Dornburg / Langendern- bach	Gemeinde Dornburg	3600	Elbbach	rot

533	Dornburg / Thalheim	Gemeinde Dornburg	3500	Elbbach	rot
533	Elbtal / Heuchelheim	Gemeinde Elbtal	3000	Elbbach	rot
533	Hadamar / Niederzeuzheim	AV Limburg	3000	Elbbach	rot
533	Limburg A. D. Lahn / Eschhofen	AV Limburg	10000	Emsbach	rot
533	Limburg A. D. Lahn / Staffel	AV Limburg	60000	Lahn/Limburg	rot
533	Mengerskirchen / Dillhausen	Marktflecken Mengerskirchen	4200	Kallenbach	rot
533	Mengerskirchen / Waldernbach	Marktflecken Mengerskirchen	2800	Kallenbach	rot
533	Merenberg / Allendorf	Marktflecken Merenberg	2000	Kerkerbach	rot
533	Merenberg / Barig-Selbenhausen	Marktflecken Merenberg	2400	Kallenbach	rot
533	Runkel / Arfurt	AV Runkel-Villmar	1500	Lahn/Weilburg	rot
533	Runkel / Hofen	AV Runkel-Villmar	1000	Kerkerbach	rot
533	Runkel / Steeden	AV Runkel-Villmar	10500	Lahn/Weilburg	rot
533	Runkel / Wirbelau	AV Runkel-Villmar	1200	Lahn/Weilburg	rot
533	Selters (Taunus) / Niederselters	AV Mittlere Ems	46000	Emsbach	rot
533	Villmar / Aumenau	AV Runkel-Villmar	1600	Lahn/Weilburg	rot
533	Villmar / Falkenbach	AV Runkel-Villmar	300	Lahn/Weilburg	rot
533	Villmar / Langhecke	AV Runkel-Villmar	400	Lahn/Weilburg	rot
533	Villmar / Seelbach	AV Runkel-Villmar	800	Lahn/Weilburg	rot
533	Waldbrunn (Westerwald) / Ellar	Gemeinde Waldbrunn	2900	Elbbach	rot
533	Waldbrunn (Westerwald) / Hintermeilingen	Gemeinde Waldbrunn	1725	Kerkerbach	rot
533	Waldbrunn (Westerwald) / Lahr	Gemeinde Waldbrunn	3275	Kerkerbach	rot
533	Weilburg	AV Weilburg	27000	Lahn/Weilburg	rot
533	Weilburg / Gaudernbach	AV Weilburg	1600	Kerkerbach	rot
533	Weilmünster	Marktflecken Weilmünster	11500	untere Weil	rot
533	Weilmünster / Aulenhäusen	Marktflecken Weilmünster	400	Weinbach	gelb
533	Weinbach / Freienfels	AV Weilburg	8250	untere Weil	rot
533	Weinbach / Gräveneck	AV Weilburg	1500	Lahn/Weilburg	rot
<b>Regierungspräsidium Gießen</b>					
<b>Kreis Marburg-Biedenkopf</b>					
534	Amöneburg	Stadt Amöneburg	2300	untere Ohm	rot
534	Amöneburg / Erfurtshausen	Stadt Amöneburg	700	Burggraben	rot
534	Amöneburg / Mardorf	Stadt Amöneburg	2500	Burggraben	rot
534	Amöneburg / Rossdorf	AV Rauischholzhausen-Roßdorf	4900	Burggraben	rot
534	Bad Endbach / Wommelshausen	Gemeinde Bad Endbach	12000	Salzböde	gelb
534	Biedenkopf	AV Perfgebiet-Bad Laasphe	9000	Lahn/Caldern	gelb
534	Biedenkopf / Engelbach	AV Perfgebiet-Bad Laasphe	900	Treisbach	gelb

534	Biedenkopf / Katzenbach	AV Perfgebiet-Bad Laasphe	70	Lahn/Caldern	gelb
534	Biedenkopf / Wallau	AV Perfgebiet-Bad Laasphe	45000	Lahn/Caldern	gelb
534	Cölbe / Bürgeln	AV Marburg	3200	Rotes Wasser	rot
534	Cölbe / Reddehausen	AV Marburg	500	untere Ohm	rot
534	Cölbe / Schönstadt	AV Marburg	4000	Rotes Wasser	rot
534	Cölbe / Schwarzenborn	AV Marburg	150	Rotes Wasser	rot
534	Dautphetal / Elmshausen	AV Dautphetal	15000	Lahn/Caldern	gelb
534	Ebsdorfergrund / Hachborn	Gemeinde Ebsdorfergrund	9600	Zwester Ohm	rot
534	Ebsdorfergrund / Ilschhausen	Gemeinde Ebsdorfergrund	120	Zwester Ohm	rot
534	Ebsdorfergrund / Wermertshausen	Gemeinde Ebsdorfergrund	300	Zwester Ohm	rot
534	Fronhausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	4950	Lahn/Marburg	rot
534	Gladenbach / Bellnhäusen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	1000	Allna	rot
534	Gladenbach / Friebertshausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	450	Allna	rot
534	Gladenbach / Friebertshausen Siedlung	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	85	Allna	rot
534	Gladenbach / Frohnhäusen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	400	Allna	rot
534	Gladenbach / Rachelshausen	AV Mittlere Salzböde	220	Salzböde	gelb
534	Gladenbach / Römershausen	AV Mittlere Salzböde	450	Salzböde	gelb
534	Gladenbach / Sinkershausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	450	Allna	rot
534	Gladenbach / Weitershausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	900	Allna	rot
534	Kirchhain	AV Stadtallendorf-Kirchhain	99000	untere Ohm	rot
534	Kirchhain / Burgholz	AV Stadtallendorf-Kirchhain	910	untere Ohm	rot
534	Kirchhain / Emsdorf	AV Stadtallendorf-Kirchhain	1000	Netzebach	gelb
534	Kirchhain / Großseelheim	AV Stadtallendorf-Kirchhain	6400	untere Ohm	rot
534	Kirchhain / Niederwald	AV Stadtallendorf-Kirchhain	950	untere Ohm	rot
534	Lahntal / Caldern	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	2700	Lahn/Caldern	gelb
534	Lahntal / Göttingen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	24000	Lahn/Caldern	gelb
534	Lohra / Damm	AV Mittlere Salzböde	23800	Salzböde	gelb
534	Lohra / Nanz-Willershausen	Gemeinde Lohra	250	Wenkbach	gelb
534	Marburg / Bauerbach	AV Marburg	2200	untere Ohm	rot
534	Marburg / Cappel	AV Marburg	155000	Lahn/Marburg	rot
534	Marburg / Ginseldorf	AV Marburg	2000	untere Ohm	rot

534	Marburg / Haddamshausen	AV Marburg	4990	Allna	rot
534	Marburg / Schröck	AV Marburg	4900	Marienbach	rot
534	Münchhausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	2500	Wetschaft	grün
534	Münchhausen / Niederasphe	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	2000	Asphe	rot
534	Neustadt (Hessen)	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	9900	Wiera	grün
534	Neustadt (Hessen) / Momberg	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	2500	Wiera	grün
534	Neustadt (Hessen) / Speckswinkel	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	700	Hatzbach	gelb
534	Rauschenberg	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	3000	untere Ohm	rot
534	Rauschenberg / Albshausen	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	350	Wadebach	rot
534	Rauschenberg / Bracht	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	999	Rotes Wasser	rot
534	Rauschenberg / Bracht Siedlung	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	300	Rotes Wasser	rot
534	Rauschenberg / Ernsthausen	AV Stadtallendorf-Kirchhain	2600	untere Ohm	rot
534	Rauschenberg / Josbach	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	450	Josbach	rot
534	Rauschenberg / Schwabendorf	ZV Mittelhess. Abwasserwerke (ZMA)	510	Wadebach	rot
534	Stadtallendorf / Schweinsberg	AV Stadtallendorf-Kirchhain	2000	untere Ohm	rot
534	Weimar / Kehna	AV Marburg	100	Wenkbach	gelb
534	Weimar / Roth	AV Marburg	2200	Lahn/Marburg	rot
534	Weimar / Stedebach	AV Marburg	50	Wenkbach	gelb
534	Wohratal / Halsdorf	Gemeinde Wohratal	3350	untere Ohm	rot
534	Wohratal / Hertingshausen	Gemeinde Wohratal	250	Bentreff	gelb
<b>Regierungspräsidium Gießen</b>					
<b>Vogelsbergkreis</b>					
535	Alsfeld	Stadt Alsfeld	42600	Schwalm/Alsfeld	gelb
535	Alsfeld / Eifa	Stadt Alsfeld	1500	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Eudorf	Stadt Alsfeld	600	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Fischbach	Stadt Alsfeld	120	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Hattendorf	Stadt Alsfeld	2000	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Heidelberg	Stadt Alsfeld	400	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Leusel	AV Antriftal	1700	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Alsfeld / Lingelbach	Stadt Alsfeld	1000	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Antriftal / Bernsburg	AV Antriftal	8000	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Antriftal / Ohmes	AV Kirtorf	550	Klein	rot
535	Feldatal / Groß-Felda	Gemeinde Feldatal	3700	obere Ohm	grün
535	Feldatal / Stumpertenrod	Gemeinde Feldatal	500	obere Ohm	grün
535	Freiensteinau / Fleschenbach	Gemeinde Freiensteinau	150	Ulbach/Marborn	rot



535	Freiensteinau / Gunzenau	Gemeinde Freiensteinau	200	untere Fliede	rot
535	Freiensteinau / Holzmühl	Gemeinde Freiensteinau	1450	obere Kinzig	rot
535	Freiensteinau / Nieder-Moos	Gemeinde Freiensteinau	2400	Nieder-/Obermooser Teich	gelb
535	Freiensteinau / Radmühl	Gemeinde Freiensteinau	850	Salz	gelb
535	Freiensteinau / Reinhards	Gemeinde Freiensteinau	180	obere Kinzig	rot
535	Gemünden (Felda) / Eh-ringshausen	Gemeinde Gemünden/Felda	850	obere Ohm	grün
535	Gemünden (Felda) / El-penrod	Gemeinde Gemünden/Felda	500	obere Ohm	grün
535	Gemünden (Felda) / Hainbach	Gemeinde Gemünden/Felda	360	obere Ohm	grün
535	Gemünden (Felda) / Nie-der-Gemünden	Gemeinde Gemünden/Felda	2200	obere Ohm	grün
535	Gemünden (Felda) / Rül-fenrod	Gemeinde Gemünden/Felda	300	obere Ohm	grün
535	Grebenau / Udenhausen	Stadt Grebenau	420	Jossa/Herzberg	gelb
535	Grebenau / Wallersdorf	Stadt Grebenau	4000	Jossa/Herzberg	gelb
535	Grebenhain / Bannerod	Gemeinde Grebenhain	200	obere Lüder	gelb
535	Grebenhain / Bermuts-hain	Gemeinde Grebenhain	700	obere Lüder	gelb
535	Grebenhain / Hartmanns-hain	Gemeinde Grebenhain	1450	Bracht	gelb
535	Grebenhain / Ilbeshau-sen-Hochwaldhausen	Gemeinde Grebenhain	2200	obere Schlitz	grün
535	Grebenhain / Nösberts-Weidmoos	Gemeinde Grebenhain	300	obere Lüder	gelb
535	Grebenhain / Vaitshain	Gemeinde Grebenhain	3000	obere Lüder	gelb
535	Grebenhain / Volkartshain	Gemeinde Grebenhain	200	Bracht	gelb
535	Grebenhain / Zahmen	Gemeinde Grebenhain	980	obere Lüder	gelb
535	Herbstein	Stadt Herbstein	3500	obere Schlitz	grün
535	Herbstein / Rixfeld	Stadt Herbstein	550	obere Schlitz	grün
535	Herbstein / Schlechten-wegen	Stadt Herbstein	950	obere Schlitz	grün
535	Herbstein / Steinfurt	Stadt Herbstein	275	obere Lüder	gelb
535	Herbstein / Stockhausen	Stadt Herbstein	1200	untere Schlitz	rot
535	Homberg (Ohm) / Blei-denrod	Stadt Homberg (Ohm)	280	obere Ohm	grün
535	Homberg (Ohm) / Dan-nenrod	Stadt Homberg (Ohm)	350	untere Ohm	rot
535	Homberg (Ohm) / De-ckenbach	Stadt Homberg (Ohm)	550	obere Ohm	grün
535	Homberg (Ohm) / Höin-gen	Stadt Homberg (Ohm)	80	Burggraben	rot
535	Homberg (Ohm) / Maul-bach	AV Kirtorf	600	Klein	rot
535	Homberg (Ohm) / Nieder-Ofleiden	Stadt Homberg (Ohm)	11000	untere Ohm	rot
535	Homberg (Ohm) / Scha-denbach	Stadt Homberg (Ohm)	460	obere Ohm	grün
535	Kirtorf / Gleimenhain	AV Kirtorf	200	Wiera	grün
535	Kirtorf / Lehrbach	AV Kirtorf	4000	Klein	rot
535	Kirtorf / Wahlen	AV Kirtorf	575	Klein	rot
535	Lauterbach (Hessen)	Stadt Lauterbach	60000	untere Schlitz	rot

535	Lauterbach (Hessen) / Rudlos	Stadt Lauterbach	262	untere Schlitz	rot
535	Lauterbach (Hessen) / Wallenrod	Stadt Lauterbach	2100	Schwalm/Alsfeld	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Dirlammen	Gemeinde Lautertal	500	Lauter	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Eichelhain	Gemeinde Lautertal	300	Lauter	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Eichenrod	Gemeinde Lautertal	850	Lauter	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Engelrod	Gemeinde Lautertal	700	Lauter	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Hopfmannsfeld	Gemeinde Lautertal	400	Lauter	gelb
535	Lautertal (Vogelsberg) / Meiches	Gemeinde Lautertal	550	Schwalm/Alsfeld	gelb
535	Mücke / Groß-Eichen	AV Ohm-Seenbach	3000	obere Ohm	grün
535	Mücke / Nieder-Ohmen	AV Ohm-Seenbach	15000	obere Ohm	grün
535	Schlitz / Hutzdorf	Stadtwerke Schlitz	14000	Fulda/Bad Hersfeld	rot
535	Schlitz / Rimbach	Stadtwerke Schlitz	1930	Fulda/Bad Hersfeld	rot
535	Schlitz / Üllershausen	Stadtwerke Schlitz	830	Fulda/Fulda	rot
535	Schlitz / Willofs	Stadtwerke Schlitz	500	Jossa/Herzberg	gelb
535	Schotten / Burkhardts	Stadt Schotten	1300	Nidder/Hirzenhain	rot
535	Schotten / Einartshausen	Stadt Schotten	850	obere Horloff	gelb
535	Schwalmtal / Hopfgarten	Gemeinde Schwalmtal	1900	Schwalm/Alsfeld	gelb
535	Schwalmtal / Rainrod	Gemeinde Schwalmtal	550	Schwalm/Röllshausen	rot
535	Schwalmtal / Vadenrod	Gemeinde Schwalmtal	1800	Schwalm/Alsfeld	gelb
535	Ulrichstein	Stadt Ulrichstein	1400	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Bobenhau- sen II	Stadt Ulrichstein	630	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Helpershain	Stadt Ulrichstein	400	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Kölzenhain	Stadt Ulrichstein	650	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Ober- Seibertenrod	Stadt Ulrichstein	300	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Rebgeshain	Stadt Ulrichstein	450	Lauter	gelb
535	Ulrichstein / Unter- Seibertenrod	Stadt Ulrichstein	320	obere Ohm	grün
535	Ulrichstein / Wohnfeld	Stadt Ulrichstein	350	obere Ohm	grün
535	Wartenberg / Angersbach	Gemeinde Wartenberg	4000	untere Schlitz	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Kassel, Stadt</b>					
611	Kassel / Wolfsanger	Kasseler Entwässerungsbetrieb	400000	Fulda/Wahnhausen	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Kreis Fulda</b>					
631	Bad Salzschlirf	ZV Gruppenklärwerk Bad Salz- schlirf-Wartb	8000	untere Schlitz	rot
631	Burghaun	Marktgemeinde Burghaun	6500	Steinbach/Haunetal	gelb
631	Burghaun / Langen- schwarz	Marktgemeinde Burghaun	3200	Schwarz- bach/Langenschwarz	rot
631	Dipperz	Gemeinde Dipperz	2800	Haune/Almendorf	rot

631	Dipperz / Wolferts	Gemeinde Dipperz	220	Haune/Almendorf	rot
631	Ebersburg / Ried	AV Oberes Fuldata	4100	Fulda/Gersfeld	rot
631	Ebersburg / Thalau	AV Oberes Fuldata	1130	untere Fliede	rot
631	Ebersburg / Weyhers	AV Oberes Fuldata	1500	Fulda/Gersfeld	rot
631	Eichenzell / Löschenrod	AV Oberes Fuldata	12000	Fulda/Fulda	rot
631	Eichenzell / Rothemann	AV Oberes Fuldata	1600	untere Fliede	rot
631	Eichenzell / Zillbach	AV Oberes Fuldata	980	untere Fliede	rot
631	Eiterfeld / Buchenau	Gemeinde Eiterfeld	7500	Eitra	rot
631	Eiterfeld / Grossentaft	Gemeinde Eiterfeld	1350	Taft	rot
631	Eiterfeld / Soisdorf	Gemeinde Eiterfeld	2000	Taft	rot
631	Flieden	Gemeinde Flieden	13500	untere Fliede	rot
631	Flieden / Höf Und Haid (Laugendorf)	Gemeinde Flieden	70	untere Fliede	rot
631	Flieden / Magdlos	Gemeinde Flieden	1000	untere Fliede	rot
631	Fulda / Gläserzell	AV Fulda	150000	Fulda/Fulda	rot
631	Fulda / Kämmerzell	AV Fulda	1000	Fulda/Fulda	rot
631	Fulda / Lüdermünd	AV Fulda	300	Fulda/Fulda	rot
631	Fulda / Malkes	AV Fulda	12000	untere Lüder	rot
631	Gersfeld (Rhön)	Stadtwerke Gersfeld	7500	Fulda/Gersfeld	rot
631	Grossenlüder / Eichenau	Eigenbetrieb Gemeindewerke Großenlüder	200	untere Schlitz	rot
631	Grossenlüder / Kleinlüder	ZV Gruppenklärwerk Hosen- feld-Großenlüder	7200	untere Lüder	rot
631	Grossenlüder / Müs	Eigenbetrieb Gemeindewerke Großenlüder	1300	untere Schlitz	rot
631	Grossenlüder / Unterbim- bach	Eigenbetrieb Gemeindewerke Großenlüder	6500	untere Lüder	rot
631	Hilders	Gemeinde Hilders	9000	Untere Ulster	gelb
631	Hilders / Bernhards - Un- ter	Gemeinde Hilders	530	Haune/Hünfeld	rot
631	Hilders / Harbach	Gemeinde Hilders	100	obere Ulster	grün
631	Hilders / Milseburg	Gemeinde Hilders	350	obere Ulster	grün
631	Hilders / Simmershausen	Gemeinde Hilders	700	Weid	grün
631	Hofbieber / Langenbieber	Gemeinde Hofbieber	1300	Haune/Almendorf	rot
631	Hofbieber / Obergruben	Gemeinde Hofbieber	62	Haune/Hünfeld	rot
631	Hofbieber / Rödergrund	Gemeinde Hofbieber	100	Haune/Hünfeld	rot
631	Hofbieber / Schwarzbach	Gemeinde Hofbieber	700	Haune/Hünfeld	rot
631	Hofbieber / Wiesen	Gemeinde Hofbieber	3500	Haune/Almendorf	rot
631	Hofbieber / Wittges	Gemeinde Hofbieber	880	Haune/Hünfeld	rot
631	Hünfeld	Eigenbetrieb Abwasseranlagen St. Hünfeld	30000	untere Haune	rot
631	Hünfeld / Kirchhasel	Eigenbetrieb Abwasseranlagen St. Hünfeld	60	Haune/Hünfeld	rot
631	Hünfeld / Michelsrombach	Eigenbetrieb Abwasseranlagen St. Hünfeld	2100	Rombach	rot
631	Kalbach / Uttrichshausen	Gemeinde Kalbach	3800	untere Fliede	rot
631	Neuhof	Gemeinde Neuhof	17000	untere Fliede	rot
631	Neuhof / Giesel	Gemeinde Neuhof	1100	Giesel	rot
631	Neuhof / Hattenhof	Gemeinde Neuhof	1800	untere Fliede	rot
631	Neuhof / Hauswurz	Gemeinde Neuhof	1200	untere Fliede	rot
631	Neuhof / Tiefengruben	Gemeinde Neuhof	250	untere Fliede	rot
631	Nüsttal / Gotthards	Gemeinde Nüsttal	650	Haune/Hünfeld	rot
631	Nüsttal / Haselstein	Gemeinde Nüsttal	500	Haune/Hünfeld	rot

631	Nüsttal / Silges	Gemeinde Nüsttal	2100	Haune/Hünfeld	rot
631	Petersberg / Marbach	AV Fulda	23000	Haune/Hünfeld	rot
631	Poppenhausen (Wasserkuppe)	Gemeinde Poppenhausen	2800	Fulda/Gersfeld	rot
631	Rasdorf / Grüsselbach	Gemeinde Rasdorf	220	Taft	rot
631	Rasdorf / Rasdorf	Gemeinde Rasdorf	2000	Taft	rot
631	Tann (Rhön) / Günthers	Stadt Tann	7500	Untere Ulster	gelb
631	Tann (Rhön) / Neuschwambach	Stadt Tann	138	Untere Ulster	gelb
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Kreis Hersfeld-Rotenburg</b>					
632	Alheim / Licherode	Gemeinde Alheim	300	Wichte	rot
632	Bad Hersfeld	Abwasserbetrieb Bad Hersfeld	56600	Fulda/Bad Hersfeld	rot
632	Bebra	Abwasserbetrieb Stadt Bebra	25000	Bebra	gelb
632	Bebra / Asmushausen	Stadtwerke Bebra GmbH-Abwasserbetrieb	600	Bebra	gelb
632	Breitenbach A. Herzberg	Gemeinde Breitenbach am Herzberg	3340	Jossa/Herzberg	gelb
632	Breitenbach A. Herzberg / Machtlos	Gemeinde Breitenbach am Herzberg	200	Aula	gelb
632	Cornberg	E.ON Mitte AG, Bebra	2500	obere Wehre	gelb
632	Cornberg / Königswald	E.ON Mitte AG, Bebra	400	obere Wehre	gelb
632	Friedewald	Gemeinde Friedewald	2500	Solz	rot
632	Friedewald / Motzfeld	Gemeinde Friedewald	450	Solz	rot
632	Haunetal / Hermannspiegel	Gemeinde Haunetal	60	untere Haune	rot
632	Haunetal / Neukirchen	Gemeinde Haunetal	2500	untere Haune	rot
632	Haunetal / Odensachsen	Gemeinde Haunetal	320	untere Haune	rot
632	Haunetal / Unterstoppel	Gemeinde Haunetal	300	untere Haune	rot
632	Haunetal / Wehrda	Gemeinde Haunetal	1000	Pfuhlgraben	rot
632	Heringen (Werra)	Stadt Heringen	12000	Werra/Philippsthal	gelb
632	Heringen (Werra) / Herfa	Stadt Heringen	1500	Herfabach	gelb
632	Heringen (Werra) / Kleinnensee	Stadt Heringen	800	Weihe	rot
632	Hohenroda / Ausbach	E.ON Mitte AG, Bebra	1000	Zellersbach	rot
632	Hohenroda / Mansbach	E.ON Mitte AG, Bebra	1200	Untere Ulster	gelb
632	Hohenroda / Oberbreitzbach	E.ON Mitte AG, Bebra	1000	Untere Ulster	gelb
632	Hohenroda / Ransbach	E.ON Mitte AG, Bebra	1500	Zellersbach	rot
632	Kirchheim	Gemeinde Kirchheim	10100	Aula	gelb
632	Ludwigsau / Ersrode	Gemeinde Ludwigsau	600	Beise	rot
632	Ludwigsau / Friedlos	Gemeinde Ludwigsau	4900	Fulda/Bad Hersfeld	rot
632	Ludwigsau / Mecklar	Gemeinde Ludwigsau	3000	Fulda/Bad Hersfeld	rot
632	Nentershausen	E.ON Mitte AG, Bebra	2500	obere Wehre	gelb
632	Nentershausen / Dens	E.ON Mitte AG, Bebra	300	obere Wehre	gelb
632	Nentershausen / Süß	E.ON Mitte AG, Bebra	800	Weihe	rot
632	Neuenstein / Aua	Gemeinde Neuenstein	3000	Geis	rot
632	Neuenstein / Gittersdorf	Gemeinde Neuenstein	2100	Geis	rot
632	Niederaula	Gemeinde Niederaula	6000	Aula	gelb
632	Niederaula / Kerspenhausen	Gemeinde Niederaula	1100	Fulda/Bad Hersfeld	rot

632	Philippsthal (Werra) / Heimboldshausen	E.ON Mitte AG, Bebra	8000	Werra/Philippsthal	gelb
632	Ronshausen	Gemeinde Ronshausen	2500	Ulfe	rot
632	Ronshausen / Machtlos	Gemeinde Ronshausen	900	Ulfe	rot
632	Rotenburg a. d. Fulda / Braach	Stadtwerke Rotenburg a. d. Fulda	34000	Fulda/Bad Hersfeld	rot
632	Schenklengsfeld / Erdmannrode	Gemeinde Schenklengsfeld	250	Eitra	rot
632	Schenklengsfeld / Malkomes	Gemeinde Schenklengsfeld	4500	Solz	rot
632	Schenklengsfeld / Wipershain	Gemeinde Schenklengsfeld	700	Eitra	rot
632	Wildeck / Hönebach	Gemeinde Wildeck	1100	Weihe	rot
632	Wildeck / Obersuhl	Gemeinde Wildeck	4000	Weihe	rot
632	Wildeck / Richelsdorf	Gemeinde Wildeck	1000	Weihe	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Kreis Kassel</b>					
633	Ahnatal / Heckershausen	Gemeinde Ahnatal	10000	Ahne	rot
633	Bad Emstal / Merxhausen	Gemeinde Bad Emstal	8700	obere Ems	rot
633	Bad Emstal / Riede	Gemeinde Bad Emstal	350	obere Ems	rot
633	Bad Karlshafen	AWS GmbH	6000	Weser	gelb
633	Baunatal / Guntershausen	Stadtwerke Baunatal	2000	Fulda/Kassel	grün
633	Baunatal / Kirchbauna	AV Baunatal	40000	Bauna	rot
633	Calden	Gemeinde Calden	4400	Esse	rot
633	Fuldabrück / Dennhausen	Gemeinde Fuldabrück	9800	Fulda/Kassel	grün
633	Fuldatal / Ihringshausen	Gemeinde Fuldatal	9800	Fulda/Wahnhausen	rot
633	Fuldatal / Simmershausen	Gemeinde Fuldatal	17500	Fulda/Wahnhausen	rot
633	Fuldatal / Wilhelmshausen	Gemeinde Fuldatal	3150	Fulda/Wahnhausen	rot
633	Grebenstein	Stadt Grebenstein	7700	Esse	rot
633	Habichtswald / Ehlen	Gemeinde Habichtswald	6500	Warme	grün
633	Helsa	Gemeinde Helsa	7500	Losse	gelb
633	Hofgeismar	Stadt Hofgeismar	25000	Esse	rot
633	Hofgeismar / Beberbeck	Stadt Hofgeismar	550	Holzape	gelb
633	Hofgeismar / Beberbeck / Sababurg	Stadt Hofgeismar	500	Holzape	gelb
633	Hofgeismar / Hümme	Stadt Hofgeismar	2000	Esse	rot
633	Hofgeismar / Kelze	Stadt Hofgeismar	350	Esse	rot
633	Immenhausen	Stadt Immenhausen	7000	Esse	rot
633	Immenhausen / Holzhausen	Stadt Immenhausen	3500	Osterbach	rot
633	Liebenau / Lamerden	AV Warme-Diemeltal	12000	untere Diemel	grün
633	Naumburg / Altenstädt	Stadtwerke Naumburg	1200	obere Elbe	gelb
633	Naumburg / Elbenberg	Stadtwerke Naumburg	6500	untere Elbe	rot
633	Oberweser / Gieselwerder	Gemeinde Oberweser	5000	Weser	gelb
633	Reinhardshagen / Veckerhagen	Gemeinde Reinhardshagen	7000	Weser	gelb
633	Schauenburg / Breitenbach	Gemeindewerke Schauenburg	4900	obere Ems	rot
633	Söhrewald / Eiterhagen	AV Mülmischtal	2900	Mülmisch	gelb

633	Trendelburg / Deisel	Stadtwerke Trendelburg	7300	untere Diemel	grün
633	Trendelburg / Gottsbüren	Stadtwerke Trendelburg	1900	Holzape	gelb
633	Wahlsburg / Vernawahlshausen	Wasser- und Abwasserzweckverband Solling	1200	Schwülme Unterlauf	gelb
633	Wolfhagen	Stadt Wolfhagen	22000	Erpe	rot
633	Wolfhagen / Niederelsungen	Stadt Wolfhagen	1500	Erpe	rot
633	Wolfhagen / Viesebeck	Stadt Wolfhagen	550	Erpe	rot
633	Zierenberg	Stadt Zierenberg	5200	Warme	grün
633	Zierenberg / Oberelsungen	Stadt Zierenberg	2600	Erpe	rot
633	Zierenberg / Oelshausen	Stadt Zierenberg	1800	Erpe	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Schwalm-Eder-Kreis</b>					
634	Bad Zwesten / Niederurff	Gemeinde Bad Zwesten	1800	Urff	grün
634	Bad Zwesten / Zwesten	Gemeinde Bad Zwesten	6500	Wälze - Bach	rot
634	Borken (Hessen) / Gombeth	Stadt Borken	18000	untere Schwalm	rot
634	Borken (Hessen) / Trockenerfurth	Stadt Borken	4600	Olmes	rot
634	Edermünde / Grifte	AV Edermünde	22000	untere Eder	grün
634	Felsberg	Stadt Felsberg	18500	untere Eder	grün
634	Felsberg / Helmshausen	Stadt Felsberg	240	Rhünda	grün
634	Felsberg / Hilgershausen	Stadt Felsberg	310	Rhünda	grün
634	Frielendorf	Gemeinde Frielendorf	4600	obere Efze	rot
634	Frielendorf / Grossropperhausen	Gemeinde Frielendorf	900	obere Efze	rot
634	Frielendorf / Leimsfeld	Gemeinde Frielendorf	1000	Gers	rot
634	Frielendorf / Obergrenzebach	Gemeinde Frielendorf	1000	oberer Grenzebach	rot
634	Frielendorf / Verna	Gemeinde Frielendorf	3100	obere Efze	rot
634	Fritzlar	Stadt Fritzlar	28000	untere Eder	grün
634	Fritzlar / Züschen	Stadt Fritzlar	1500	untere Elbe	rot
634	Gilserberg	Gemeinde Gilserberg	2400	Gilsa	gelb
634	Gilserberg / Appenhain	Gemeinde Gilserberg	300	Wiera	grün
634	Gilserberg / Heimbach	Gemeinde Gilserberg	150	untere Wohra	rot
634	Gilserberg / Lischeid	Gemeinde Gilserberg	400	Josbach	rot
634	Gilserberg / Moischeid	Gemeinde Gilserberg	500	Gilsa	gelb
634	Gilserberg / Sachsenhausen	Gemeinde Gilserberg	350	Katzenbach	gelb
634	Gilserberg / Schönau	Gemeinde Gilserberg	200	Gilsa	gelb
634	Gilserberg / Schönstein	Gemeinde Gilserberg	650	Gilsa	gelb
634	Gilserberg / Sebbeterode	Gemeinde Gilserberg	500	Wesbach	gelb
634	Gilserberg / Winterscheid	Gemeinde Gilserberg	200	Josbach	rot
634	Gudensberg / Maden	AV Mittleres-Emstal	19950	untere Ems	rot
634	Guxhagen / Ellenberg	Gemeinde Guxhagen	900	untere Eder	grün
634	Homberg (Efze)	Stadt Homberg (Efze)	19000	obere Efze	rot
634	Homberg (Efze) / Lembach	Stadt Homberg (Efze)	300	Lembach	gelb
634	Homberg (Efze) / Roppershain	Stadt Homberg (Efze)	300	Lembach	gelb
634	Jesberg	Gemeinde Jesberg	4200	Gilsa	gelb
634	Knüllwald / Niederbeis-	AV Oberes Beisetal	5600	Beise	rot

	heim				
634	Knüllwald / Remsfeld	Gemeinde Knüllwald	3400	obere Efze	rot
634	Knüllwald / Wallenstein	AV Oberes Efzetal	5000	obere Efze	rot
634	Körle	Gemeinde Körle	3500	Fulda/Rotenburg	grün
634	Malsfeld	Gemeinde Malsfeld	9800	Fulda/Rotenburg	grün
634	Melsungen	Stadtwerke Melsungen	30000	Fulda/Rotenburg	grün
634	Melsungen / Günsterode	Stadtwerke Melsungen	500	Kehrenbach	gelb
634	Morschen / Neumorschen	Gemeinde Morschen	9500	Fulda/Rotenburg	grün
634	Neuental / Bischhausen	Gemeinde Neuental	3800	Schwalm/Gilsa	rot
634	Neukirchen / Riebelsdorf	Stadtwerke Neukirchen	13500	Grenff	gelb
634	Neukirchen / Seigertshausen	Stadtwerke Neukirchen	1000	oberer Grenzebach	rot
634	Oberaula / Olberode	Gemeinde Oberaula	600	Grenff	gelb
634	Oberaula / Wahlshausen	Gemeinde Oberaula	4900	Aula	gelb
634	Ottrau	Gemeinde Ottrau	880	Grenff	gelb
634	Ottrau / Görzhain	Gemeinde Ottrau	960	Grenff	gelb
634	Ottrau / Immichenhain	Gemeinde Ottrau	800	Schwalm/Röllshausen	rot
634	Ottrau / Schorbach	Gemeinde Ottrau	400	Grenff	gelb
634	Schrecksbach / Holzburg	Gemeinde Schrecksbach	550	Schwalm/Röllshausen	rot
634	Schrecksbach / Röllshausen	Gemeinde Schrecksbach	3500	Schwalm/Röllshausen	rot
634	Schwalmstadt / Allendorf	Stadtwerke Schwalmstadt	800	Schwalm/Gilsa	rot
634	Schwalmstadt / Florshain	Stadtwerke Schwalmstadt	450	Wiera	grün
634	Schwalmstadt / Michelsberg	Stadtwerke Schwalmstadt	400	Gers	rot
634	Schwalmstadt / Rommershausen	Stadtwerke Schwalmstadt	900	Schwalm/Gilsa	rot
634	Schwalmstadt / Rörshain	Stadtwerke Schwalmstadt	300	Gers	rot
634	Schwalmstadt / Treysa	Stadtwerke Schwalmstadt	22000	Schwalm/Gilsa	rot
634	Schwalmstadt / Wiera	Stadtwerke Schwalmstadt	900	Wiera	grün
634	Spangenberg	Stadt Spangenberg	7500	Pfieffe	rot
634	Spangenberg / Landefeld	Stadt Spangenberg	990	Pfieffe	rot
634	Spangenberg / Mörshausen	Stadt Spangenberg	650	Pfieffe	rot
634	Spangenberg / Pfieffe	Stadt Spangenberg	1000	Pfieffe	rot
634	Spangenberg / Schnellrode	Stadt Spangenberg	300	Pfieffe	rot
634	Spangenberg / Vockeroede-Dinkelberg	Stadt Spangenberg	870	Pfieffe	rot
634	Wabern	Gemeinde Wabern	8800	Riedwiesengraben	rot
634	Willingshausen / Loshausen	Gemeinde Willingshausen	3060	Schwalm/Gilsa	rot
634	Willingshausen / Merzhhausen	Gemeinde Willingshausen	2500	Schwalm/Röllshausen	rot
634	Willingshausen / Wasenberg	Gemeinde Willingshausen	2400	Schwalm/Gilsa	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Kreis Waldeck-Frankenberg</b>					
635	Allendorf (Eder) / Haine	AV Oberes Edertal	13000	Eder/Frankenberg	rot
635	Arolsen	Bad Arolser Kommunalbetriebe GmbH	25000	Twiste/Külte	gelb
635	Bad Wildungen / Bergfreiheit	Stadt Bad Wildungen	1500	Urf	grün

635	Bad Wildungen / Braunau	Stadt Bad Wildungen	2200	Wälze - Bach	rot
635	Bad Wildungen / Frebershausen	Stadt Bad Wildungen	380	Wesebach	gelb
635	Bad Wildungen / Hundsdorf	Stadt Bad Wildungen	350	Urff	grün
635	Bad Wildungen / Wega	Stadt Bad Wildungen	36670	untere Eder	grün
635	Battenberg (Eder) / Berghofen	Stadt Battenberg (Eder)	1250	Eder/Frankenber	rot
635	Burgwald / Ernsthäuser	Gemeinde Burgwald	2300	Wetschaft	grün
635	Diemelsee / Adorf	Gemeinde Diemelsee	4900	Rhene	gelb
635	Diemelsee / Giebringhausen	AV Oberes Diemeltal	2500	obere Diemel	rot
635	Diemelsee / Heringhausen	Gemeinde Diemelsee	3500	DiemelTalsperre	rot
635	Diemelsee / Vasbeck	Gemeinde Diemelsee	700	Orpe	grün
635	Diemelstadt / Hesperinghausen	Stadt Diemelstadt	1000	Diemel	gelb
635	Diemelstadt / Neudorf	AV Obere Orpe	2000	Orpe	grün
635	Diemelstadt / Wrexen	Stadt Diemelstadt	6200	Diemel	grün
635	Edertal / Bergheim	Gemeinde Edertal	6000	untere Eder	grün
635	Edertal / Gellershausen	Gemeinde Edertal	700	Wesebach	gelb
635	Edertal / Hemfurth	Gemeinde Edertal	4000	Eder/Talsperre Affolddener See	rot
635	Frankenau	Stadt Frankenau	4000	Lorfe	rot
635	Frankenau / Altenlotheim	Stadt Frankenau	900	Lorfe	rot
635	Frankenau / Ellershausen	AV Lengeltal	1800	Lengelbach	rot
635	Frankenau / Louisendorf	Stadt Frankenau	200	Eder/Frankenber	rot
635	Frankenberg (Eder)	Abwasserwerk Frankenberg	29000	Eder/Frankenber	rot
635	Frankenberg (Eder) / Rengershausen	Gemeinde Bromskirchen	3800	Nuhne	rot
635	Gemünden (Wohra)	Stadt Gemünden (Wohra)	4000	untere Wohra	rot
635	Gemünden (Wohra) / Grünen	AV Bunstruth	1500	untere Wohra	rot
635	Gemünden (Wohra) / Herbelhausen	Stadt Gemünden (Wohra)	110	obere Wohra	gelb
635	Gemünden (Wohra) / Lehnhausen	Stadt Gemünden (Wohra)	150	untere Wohra	rot
635	Gemünden (Wohra) / Schiffelbach	Stadt Gemünden (Wohra)	400	untere Wohra	rot
635	Haina (Kloster) / Altenhaina	Gemeinde Haina (Kloster)	49	untere Wohra	rot
635	Haina (Kloster) / Haddenberg	Gemeinde Haina (Kloster)	40	Urff	grün
635	Haina (Kloster) / Haina	Gemeinde Haina (Kloster)	1900	obere Wohra	gelb
635	Haina (Kloster) / Hüttenrode	Gemeinde Haina (Kloster)	55	Urff	grün
635	Haina (Kloster) / Löhlbach	Gemeinde Haina (Kloster)	1700	Wesebach	gelb
635	Haina (Kloster) / Oberholzhausen	Gemeinde Haina (Kloster)	150	untere Wohra	rot
635	Hatzfeld (Eder) / Holzhausen	Stadt Hatzfeld (Eder)	900	Eder/Frankenber	rot
635	Hatzfeld (Eder) / Reddighausen-Dodenau	AV Ederbergland	5800	Eder/Frankenber	rot
635	Korbach / Strothe	AV Werbetal	300	Werbe	rot



635	Lichtenfels / Dalwigksthäl	Stadt Lichtenfels	1200	Orke	rot
635	Lichtenfels / Fürstenberg	Stadt Lichtenfels	750	Heimbach	rot
635	Lichtenfels / Goddelsheim	Stadt Lichtenfels	2700	Heimbach	rot
635	Lichtenfels / Goddelsheim (Aarmühle)	AV Oberes Aartal (Nordhessen)	3800	Aar	rot
635	Lichtenfels / Neukirchen	Stadt Lichtenfels	600	Ölfe	rot
635	Lichtenfels / Sachsenberg	Stadt Lichtenfels	2250	untere Nuhne	rot
635	Rosenthal	Stadt Rosenthal	1800	Bentreff	gelb
635	Rosenthal / Roda	Stadt Rosenthal	760	Wetschaft	grün
635	Rosenthal / Willershausen	Stadt Rosenthal	100	Bentreff	gelb
635	Twistetal / Twiste	AV Twistetal	9000	Twiste/Külte	gelb
635	Vöhl / Asel	Gemeinde Vöhl	3500	unterer Aselbach	rot
635	Vöhl / Kirchlötheim	Gemeinde Vöhl	3000	Eder/Frankenbergr	rot
635	Vöhl / Thalitter	AV Ittertal	50000	untere Itter	rot
635	Volkmarsen	Bad Arolser Kommunalbetriebe GmbH	23000	Twiste/Külte	gelb
635	Waldeck	Stadt Waldeck	4500	Netze	rot
635	Waldeck / Freienhagen	Stadt Waldeck	1400	Twiste/Külte	gelb
635	Waldeck / Höringhausen	Stadt Waldeck	1500	Werbe	rot
635	Waldeck / Nieder-Werbe	Stadt Waldeck	2000	Eder/Talsperre Affoldener See	rot
635	Waldeck / Ober-Werbe	AV Werbetal	2600	Werbe	rot
635	Waldeck / Sachsenhausen	Stadt Waldeck	2750	Reiherbach	rot
635	Waldeck / Waldeck- West	Stadt Waldeck	2150	Eder/Talsperre Affoldener See	rot
635	Willingen (Upland) / Rattlar	Gemeinde Willingen (Upland)	700	Itter	rot
635	Willingen (Upland) / Useln	Gemeinde Willingen (Upland)	4900	obere Diemel	rot
635	Willingen / Schwalefeld	Gemeinde Willingen (Upland)	17000	Itter	rot
<b>Regierungspräsidium Kassel</b>					
<b>Werra-Meissner-Kreis</b>					
636	Bad Sooden-Allendorf	Stadt Bad Sooden-Allendorf	15000	Werra/Eschwege	rot
636	Bad Sooden-Allendorf / Hilgershausen	Stadt Bad Sooden-Allendorf	1200	Oberrieder Bach	grün
636	Bad Sooden-Allendorf / Orferode	Stadt Bad Sooden-Allendorf	650	Werra/Eschwege	rot
636	Eschwege / Albungen	Stadt Eschwege	500	Werra/Eschwege	rot
636	Eschwege / Niederhone	Stadt Eschwege	60000	Werra/Eschwege	rot
636	Grossalmerode / Trubenhäusen	Stadt Großalmerode	10000	Gelster	grün
636	Herleshausen	E.ON Mitte AG, Bebra	3800	Untere Werra bis Heldrabach	gelb
636	Herleshausen / Frauenborn	E.ON Mitte AG, Bebra	40	Untere Werra bis Heldrabach	gelb
636	Herleshausen / Markershausen	E.ON Mitte AG, Bebra	120	Nesse	gelb
636	Herleshausen/ Willershausen	E.ON Mitte AG, Bebra	850	Bach bei Archfeld	grün
636	Hessisch Lichtenau / Fürstenhagen	AV Hessisch Lichtenau	17000	Losse	gelb

636	Hessisch Lichtenau / Hausen	Stadtwerke Hessisch Lichtenau	500	obere Wehre	gelb
636	Hessisch Lichtenau / Walburg	AV Rommerode-Velmeden-Walburg	5000	obere Wehre	gelb
636	Sontra	Stadt Sontra	15000	obere Wehre	gelb
636	Sontra / Breitau	Stadt Sontra	450	obere Wehre	gelb
636	Sontra / Krauthausen	Stadt Sontra	250	obere Wehre	gelb
636	Sontra / Mitterode	Stadt Sontra	200	obere Wehre	gelb
636	Sontra / Weissenborn	Stadt Sontra	130	obere Wehre	gelb
636	Sontra/Stadthosbach	Stadt Sontra	120	obere Wehre	gelb
636	Sontra/Thurnhosbach	Stadt Sontra	80	obere Wehre	gelb
636	Waldkappel / Rodebach	Stadt Waldkappel	150	obere Wehre	gelb
636	Waldkappel / Schemmergrund	Stadt Waldkappel	1500	obere Wehre	gelb
636	Wanfried	Stadt Wanfried	8000	Werra/Eschwege	rot
636	Wanfried / Heldra	Stadt Wanfried	700	Werra/Eschwege	rot
636	Wanfried /Altenburschla	Stadt Wanfried	700	Werra/Eschwege	rot
636	Wehretal / Reichensachsen	AV Wehretal-Sontratal	19000	untere Wehre	grün
636	Weissenborn	Gemeinde Weißenborn	1300	Rambach	gelb
636	Weissenborn / Rambach	Gemeinde Weißenborn	300	Rambach	gelb
636	Witzenhausen	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	13500	Werra/Eschwege	rot
636	Witzenhausen / Blickershausen	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	4400	Werra/Niedersachsen	rot
636	Witzenhausen / Dohrenbach	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	2500	Gelster	grün
636	Witzenhausen / Hüben-thal	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	120	Werra/Eschwege	rot
636	Witzenhausen / Wendershausen	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	1000	Werra/Eschwege	rot
636	Witzenhausen / Werleshausen	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	1900	Werra/Eschwege	rot
636	Witzenhausen /Hubenrode	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	350	Hungershäuserbach	gelb
636	Witzenhausen/Unterrieden	Witzenhäuser Abwasserentsorgung-WAE	1300	Werra/Eschwege	rot