

## **Schlammfaulung oder gemeinsame aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe**

Februar 2015





**Schlammfäulung oder gemeinsame  
aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen  
kleiner und mittlerer Größe**

Februar 2015



Herausgabe und Vertrieb:  
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de) · Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

## Impressum

### Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333  
Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [info@dwa.de](mailto:info@dwa.de)  
Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

### Satz:

stm media GmbH, DWA

### Druck:

Siebengebirgsdruck Bad Honnef

### ISBN:

978-3-88721-211-7

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2014

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

## Vorwort

Wirtschaftliche Aspekte, die aktuelle Diskussion über Klimaschutzziele und Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz sowie sich ändernde gesetzliche Rahmenbedingungen geben Anlass dafür, die bisherigen Konzepte zur Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe zu überdenken.

Zielsetzung dieses Themenbandes ist es, Betreibern und Planern von Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe (ca. 5.000 bis 50.000 Einwohnerwerte), die sich mit der Frage nach einem Systemwechsel von der gemeinsamen aeroben Stabilisierung zu einer anaeroben Stabilisierung (Schlammfäulung) beschäftigen, Entscheidungshilfen zu geben. Die Abwasser- und Klärschlammbehandlung sind dabei im Zusammenhang zu sehen und müssen verfahrenstechnisch aufeinander abgestimmt sein. Die einzelnen Verfahrensstufen dürfen hierbei nicht isoliert, sondern die Kläranlage muss in ihrer Gesamtheit betrachtet werden, um ein Optimum unter Berücksichtigung von Reinigungsleistung, Betriebssicherheit, Energieeinsatz/-gewinn und Reststoffqualität erreichen zu können. Eine gute Abwasserbehandlung bleibt oberstes Ziel.

Um die energetischen Ressourcen des Abwassers und Klärschlammes weitgehend zu nutzen und die weiterzuverarbeitende bzw. zu entsorgende Klärschlammmenge zu vermindern, ist ein gutes Stoffstrom-Management erforderlich. Im Vordergrund stehen hierbei die Schlammstabilisierung (aerob oder anaerob), die Verminderung von Kohlenstoffdioxid- und Methan-Emissionen, die sich anschließende Verwertung oder Beseitigung des Klärschlammes und in Zukunft wahrscheinlich auch eine Rückgewinnung von Phosphor.

Der vorliegende Themenband soll Betreiber und Planer von Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe bei der Überprüfung des Schlammbehandlungskonzeptes unterstützen. Hierbei geht es insbesondere um die Frage, ob und wann ein Systemwechsel von einer gemeinsamen aeroben zu einer getrennten anaeroben Stabilisierung möglich und sinnvoll ist. Aktuelle Entwicklungen der Bau- und Verfahrenstechnik von Schlammfäulungsanlagen sowie Möglichkeiten einer interkommunalen Zusammenarbeit werden berücksichtigt.

In diesem Themenband werden zunächst die verfahrenstechnischen Grundlagen der Schlammbehandlung zusammengestellt, die bei einer Änderung des Klärschlammbehandlungskonzeptes zu beachten sind.

Infolge unterschiedlicher Anforderungen an die Abwasser- und Klärschlammbehandlung können Erfahrungen von Großkläranlagen auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe nicht ohne weiteres übertragen werden. Allgemeingültige Aussagen können nicht gemacht werden, weil die Randbedingungen auf jeder Kläranlage unterschiedlich sind. Die Wirtschaftlichkeit eines Systemwechsels muss deshalb für jeden Einzelfall durch einen Vergleich von Kostenbarwerten oder Jahreskosten nachgewiesen werden.

Ausgewählte Fallbeispiele illustrieren, wie Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe energetisch und wirtschaftlich optimiert werden können.

Der Anhang mit den Fallbeispielen steht auf der DWA-Homepage unter dem Link [de.dwa.de/arbeitshilfen-aus-dem-dwa-regelwerk.html](http://de.dwa.de/arbeitshilfen-aus-dem-dwa-regelwerk.html) auch in digitaler Form zum kostenfreien Download zur Verfügung.

## Verfasser

Der Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe AG-KEK „Schlammbehandlungskonzepte für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“ im DWA-Hauptausschuss KEK erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe AG-KEK „Schlammbehandlungskonzepte für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“ gehören folgende Mitglieder an:

ALT, Klaus Stephan	Dipl.-Ing., Düsseldorf
BAILER, Edwin	Sulz-Fischingen
BOUDEWINS, Tim	Dipl.-Ing., Bochum
FEHR, Günter	Dr.-Ing., Langenhagen
FLOHR, Johann	Dipl.-Ing., Pforzheim
GERARD, Ingrid	Dipl.-Biol., Gelsenkirchen
HANSEN, Joachim	Prof. Dr.-Ing., Luxembourg
JAKOB, Jürgen	Dipl.-Ing., Thür
MÜLLER-SCHAPER, Johannes	Prof. Dr.-Ing., Hannover
RAUNECKER, Peter	Dipl.-Ing. (TU), Dipl.-Ing. (FH), Burghausen
ROEDIGER, Markus	Dr.-Ing., Stuttgart (Sprecher seit 2012)
SIEKMANN, Klaus	Dr.-Ing., Thür (stv. Sprecher seit 2013)
STIRBA, Dagmar	Linz am Rhein
VOCKS, Annette	Dipl.-Ing., Braunschweig (Sprecherin bis 2012)
VOSS, Udo	Dipl.-Ing., Gladbeck

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

REIFENSTUHL, Reinhard	Dipl.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
-----------------------	--------------------------------------------------------------

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Anwendungsbereich und Anwendungsfälle</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Begriffe, Symbole und Abkürzungen</b> .....	<b>10</b>
2.1	Begriffe .....	10
2.2	Symbole und Abkürzungen .....	16
<b>3</b>	<b>Status Quo der biologischen Schlammstabilisierung</b> .....	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Rahmenbedingungen</b> .....	<b>19</b>
4.1	Entwicklung der Abwasserbehandlung.....	19
4.2	Landwirtschaftliche Verwertung und Desinfektion (Hygienisierung) .....	20
4.3	Energerecht.....	21
<b>5</b>	<b>Gemeinsame aerobe Stabilisierung und Schlammfäulung</b> .....	<b>22</b>
5.1	Schlammstabilisierung .....	22
5.2	Aerobe Stabilisierung .....	22
5.3	Anaerobe Stabilisierung (Fäulung) .....	24
5.4	Schlammalter und Belebungsbeckenvolumen .....	26
5.5	Schlammfall und Schlammbeschaffenheit .....	27
5.6	Schlammeigenschaften.....	28
5.7	Energiebedarf.....	28
5.8	Rückbelastung aus der Schlammbehandlung .....	30
5.9	Mechanische Vorbehandlung .....	31
5.9.1	Rechen oder Siebe .....	31
5.9.2	Sandfang.....	32
5.9.3	Vorklärung.....	32
5.10	Schlammeindickung.....	32
5.11	Schlammspeicherung .....	33
5.12	Maschinelle Schlammwässerung .....	33
5.13	Betrieb .....	35
5.14	Umnutzung vorhandener Bauwerke und Anlagenteile .....	35
<b>6</b>	<b>Gestaltung und Ausrüstung von Schlammfäulungsanlagen</b> .....	<b>36</b>
6.1	Entwicklung von geschlossenen und beheizten Faulbehältern .....	36
6.2	Temperatur in Faulbehältern .....	37
6.3	Faulbehälterformen.....	37
6.4	Ein- oder zweistufige Schlammfäulung .....	37
6.5	Faulbehältermaterialien .....	38
6.6	Ausrüstung und Betrieb .....	38
6.7	Faulbehälterdurchmischung.....	39
6.8	Heizschlammumwälzung und Wärmetauscher.....	40
6.9	Messtechnik .....	40
6.10	Faulgassystem .....	41
6.10.1	Allgemeines .....	41
6.10.2	Speicherung .....	41
6.10.3	Abscheidung von Wasser und Feststoffen.....	43
6.10.4	Trocknung.....	43
6.10.5	Entschwefelung.....	44

6.10.6	Siloxanentfernung.....	44
6.10.7	Abfackelung.....	45
6.11	Faulgasverwertung.....	45
6.11.1	Kraft-Wärme-Kopplung.....	45
6.11.2	Antriebskonzepte für die Kraft-Wärme-Kopplung.....	47
<b>7</b>	<b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen</b> .....	<b>52</b>
7.1	Allgemeines und Methodik.....	52
7.1.1	KVR-Leitlinien.....	52
7.1.2	Investition.....	53
7.1.3	Betriebskosten.....	54
7.2	Beispielhafte Kostenbetrachtung – Entwicklung von Kostenfunktionen für einen Systemwechsel.....	57
7.2.1	Weitere Annahmen für die beispielhafte Modellrechnung.....	58
7.2.2	Investition für Bauwerke und Anlagenteile.....	59
7.2.2.1	Vorklärbecken.....	59
7.2.2.2	Faulbehälter.....	60
7.2.2.3	Gasverwertung (BHKW).....	62
7.2.2.4	Sonstige Bauwerke und Anlagenteile.....	63
7.2.3	Spezifische Gesamtinvestition für den Systemwechsel.....	64
7.2.4	Kapitalkosten.....	64
7.2.5	Betriebskosteneinsparung.....	66
7.3	Wirtschaftlichkeitsgrenze für einen Systemwechsel.....	68
7.3.1	Wirtschaftlichkeitsgrenze.....	68
7.3.2	Wirtschaftlichkeitsgrenze bei schneller steigenden Betriebskosten.....	69
7.3.3	Wirtschaftlichkeitsgrenze bei geringeren Nutzungsdauern.....	70
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>71</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>72</b>

## Anhang: Fallbeispiele

A.1	Fallbeispiel 1: Nachrüstung eines BHKW zur Eigenstromerzeugung auf einer Kläranlage für 8.100 E.....	75
A.2	Fallbeispiel 2: Systemwechsel von gemeinsamer aerober Stabilisierung zur Schlammfäulung.....	78
A.3	Fallbeispiel 3: Interkommunale Zusammenarbeit durch eine Zentralisierung der Schlammbehandlung.....	86

## Bilderverzeichnis

Bild 1:	Empfohlene Einsatzbereiche der gemeinsamen aeroben Stabilisierung und Schlammfäulung .....	18
Bild 2:	Strompreisentwicklung für Haushaltsstrom und Sonderabnehmer sowie Kläranlagen aufgrund einer Datenerhebung von insgesamt 48 Kläranlagen in der Größenordnung von 1.000 bis 50.000 Einwohnerwerte.....	20
Bild 3:	Schematische Darstellung einer Kläranlage mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung.....	23
Bild 4:	Schematische Darstellung einer Kläranlage mit Schlammfäulung .....	24
Bild 5:	Energiebilanz einer Kläranlage der Größenklasse 4 mit gemeinsamer aerober Stabilisierung .....	29
Bild 6:	Energiebilanz einer Kläranlage der Größenklasse 4 mit Vorklärung und Schlammfäulung .....	30
Bild 7:	Verhältnis der Rückbelastung zum Zulauf.....	30
Bild 8:	Abtrennung eines Vorklärbeckens von einem rechteckigen Belebungsbecken .....	35
Bild 9:	Abtrennung eines Vorklärbeckens von einem Rundbecken oder Kombibecken.....	36
Bild 10:	Faulgasproduktion nach einmaliger Rohschlammbeschickung zum Zeitpunkt $t = 0$ bei gut (a) und schlecht (b) eingearbeitetem Prozess .....	42
Bild 11:	Bauweisen von Gasbehältern (nach DWA-M 363).....	42
Bild 12:	Spezifische Wartungskosten für Blockheizkraftwerke in EURO-Cent/kWh <sub>el</sub> bei Volleistung des BHKW...	57
Bild 13:	Beispielzeichnung für ein Vorklärbecken in Rundbauweise.....	59
Bild 14:	Spezifische Investition für ein Vorklärbecken in Rundbauweise .....	60
Bild 15:	Grundriss einer 2-stufigen Kompaktfäulungsanlage .....	60
Bild 16:	Schnitt einer 2-stufigen Kompaktfäulungsanlage .....	61
Bild 17:	Spezifische Investition für eine zweistufige Kompaktfäulungsanlage .....	62
Bild 18:	Spezifische Investition für Gasaufbereitung und Gasverwertung mit Gasmotor .....	62
Bild 19:	Spezifische Investition für sonstige Bauwerke und Anlagenteile .....	63
Bild 20:	Spezifische Gesamtinvestition für den Systemwechsel .....	64
Bild 21:	Spezifische Kapitalkosten des Systemwechsels.....	66
Bild 22:	Spezifische Einsparung von Betriebskosten infolge Systemwechsel.....	68
Bild 23:	Wirtschaftlichkeitsgrenze für einen Systemwechsel bei aktuellen Betriebskosten.....	68
Bild 24:	Empfindlichkeitsprüfung mit unterschiedlichen realen Steigerungsraten $r$ für die Betriebskosten bei einem Realzins von $i = 3\%$ .....	69
Bild 25:	Empfindlichkeitsprüfung mit geringeren Nutzungsdauern .....	70
Bild 26:	Kläranlage Fischingen .....	75
Bild 27:	Gasmotor mit Brennwert-Wärmetauscher .....	77
Bild 28:	Abbaugrad der ein- und zweistufigen Fäulung.....	79
Bild 29:	Grund- und Aufriss der 2-stufigen Kompaktfäulungsanlage .....	79
Bild 30:	Kompaktfäulungsanlage auf der Kläranlage Linz-Unkel .....	79
Bild 31:	Tagesmittelwerte der Gasproduktion .....	84
Bild 32:	Vergleich des Stromfremdbezugs vor und nach der Systemumstellung.....	84
Bild 33:	Vergleich der Klärschlammengen (entwässert) vor und nach der Systemumstellung .....	85
Bild 34:	Semizentrale Klärschlammbehandlung auf der Kläranlage Selters .....	87
Bild 35:	Verfahrensschema der Klärschlammbehandlung auf der KA Selters .....	88
Bild 36:	Kläranlage Selters .....	89

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Für die Bemessung empfohlenes Gesamtschlammalter sowie empfohlene Raum- und Schlammbelastungen .....	25
Tabelle 2: Spezifischer Schlammanfall und Zusammensetzung der Schlämme im Jahresmittel .....	27
Tabelle 3: Schlammanfall vor und nach der Entwässerung .....	28
Tabelle 4: Faulgasproduktion in Abhängigkeit von der Durchflusszeit im Vorklärbecken.....	32
Tabelle 5: Austrags-Feststoffgehalt, spez. Flockungsmittelverbrauch und spez. Strombedarf verschiedener Eindick-Systeme .....	33
Tabelle 6: Leistungsdaten verschiedener Entwässerungsmaschinen .....	34
Tabelle 7: Erforderliche, empfohlene und optionale kontinuierliche Messwerterfassung .....	40
Tabelle 8: Parameter der KVR.....	53
Tabelle 9: Spezifische Kosten für den Transport von Klärschlamm und Schlammwasser .....	56
Tabelle 10: Gewählte und bei der Sensitivitätsbetrachtung berücksichtigte Nutzungsdauern .....	65
Tabelle 11: Berechnete Kapitalwiedergewinnungsfaktoren .....	65
Tabelle 12: Angesetzter Stromverbrauch der zusätzlichen Anlagenteile.....	66

## 1 Anwendungsbereich und Anwendungsfälle

Der vorliegende Themenband richtet sich an Betreiber und Planer von kommunalen Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe mit Ausbaugrößen zwischen ca. 5.000 und 50.000 Einwohnerwerten, die sich mit der Frage nach einem Systemwechsel von der gemeinsamen aeroben Stabilisierung hin zu einer anaeroben Stabilisierung (Schlammfäulung) beschäftigen. Jeder Einzelfall muss dabei individuell und unter besonderer Berücksichtigung der tatsächlichen Kläranlagenauslastung betrachtet und analysiert werden, da es nicht möglich ist, eine allgemeingültige Empfehlung zu den jeweiligen Anwendungsgrenzen der beiden Stabilisierungsverfahren zu geben.

Anwendungsfälle bzw. Beweggründe für einen Systemwechsel können sein:

- Erweiterung oder Neubau einer Kläranlage, z. B. bei Aufgabe kleinerer Kläranlagen und Überleitung von Abwasser in eine neu zu bauende oder zu erweiternde Kläranlage

Beim kompletten Neubau einer Kläranlage kann das Konzept frei und den Erfordernissen entsprechend gewählt werden. Hier bestehen die größten Freiheitsgrade für die Konzeption und Planung. Bei einer Erweiterung sollten bestehende Anlagenteile möglichst weiter genutzt werden. Die Entscheidung, ob der Schlamm gemeinsam aerob oder getrennt anaerob stabilisiert werden soll, erfolgt auf Basis einer Kostenvergleichsrechnung. Hierbei sind unterschiedliche Szenarien der Preissteigerung für den Bezug von Strom und die Schlammentsorgung zu berücksichtigen. Andere Rahmenbedingungen (z. B. die Qualifikation des Personals) sind bei der Entscheidungsfindung ebenfalls zu beachten.

- Sanierung oder Modernisierung einer bestehenden Kläranlage in Verbindung mit einer Energieoptimierung

Die Möglichkeit eines Systemwechsels sollte auch dann geprüft werden, wenn die bestehende Anlage ohnehin saniert oder optimiert werden soll. Es ist zunächst zu prüfen, ob die Investition für eine Vorklämung, Fäulung, Gasspeicherung und Kraft-Wärme-Kopplung wirtschaftlich ist. Hierfür erforderliche höhere Kapitalkosten können durch Einsparung von Betriebskosten gerechtfertigt sein. Einsparungen ergeben sich aus dem geringeren Strombedarf der Belebungsanlage, der Erzeugung von Strom und Wärme aus Faulgas sowie verminderten Schlammentsorgungskosten. Es ist zu untersuchen, ob und wie nicht mehr benötigtes Beckenvolumen genutzt werden kann. Hydraulische Erfordernisse und Gegebenheiten (z. B. kann ein Zwischenhebewerk erforderlich werden) sowie erhöhte Nährstofffrachten im Schlammwasser aus der Entwässerung des Faulschlammes müssen berücksichtigt werden.

- Gemeinsame Behandlung des Schlammes mehrerer Kläranlagen auf einer Kläranlage (Zentralisierung der Klärschlammbehandlung), entweder auf einer Anlage, die bereits über eine Schlammfäulung verfügt, oder auf einer Anlage, auf der eine neue Schlammfäulungsanlage errichtet werden könnte.

Wenn es in der Nähe bereits eine Kläranlage mit Schlammfäulung gibt, sollte geprüft werden, ob diese den Rohschlamm von anderen Kläranlagen mitbehandeln kann. Die Schlammfäulungsanlage würde in diesem Fall als semi-zentrales Zentrum für die Schlammbehandlung betrieben. Unbedingt zu prüfen sind die Auswirkungen der erhöhten Rückbelastung aus der Schlammbehandlung. Bei der Schlammmentwässerung anfallendes Schlammwasser könnte z. B. zu den Satellitenanlagen zurückgefahren werden. Falls es keine in der Nähe gelegene Kläranlage mit einer Schlammfäulungsanlage ausreichender Kapazität gibt, kann in Betracht gezogen werden, eine neue Schlammfäulungsanlage auf einer der Anlagen zu errichten.

Bei der Prüfung von Varianten mit getrennter anaerober Schlammstabilisierung (Schlammfäulung) sollte stets die Ergänzung oder Erweiterung der Faulgasverwertung mittels eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung erwogen werden.

In diesem Themenband werden die relevanten Verfahrensschritte der Klärschlammbehandlung und ihre Bedeutung für den Energiehaushalt der Kläranlage beschrieben. Es werden Empfehlungen zur technischen Ausführung und zum Betrieb gegeben, die sich in der Praxis bewährt haben. Außerdem werden Faktoren dargestellt, die bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu beachten sind.