

Schlammfäulung oder gemeinsame aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe

Markus Roediger, Stuttgart (Sprecher der DWA-AG KEK)

Klaus Siekmann, Thür (stellv. Sprecher der DWA-AG KEK)

1 EINLEITUNG

Der DWA-Themenband [DWA 2015] mit diesem Titel wurde von der DWA-Arbeitsgruppe AG-KEK "Schlammbehandlungskonzepte für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe" erarbeitet.

Wirtschaftliche Aspekte, insbesondere gestiegene und vermutlich weiter steigende Kosten für Strombezug und Klärschlamm Entsorgung, sowie Ziele des Klimaschutzes und der Ressourceneffizienz geben Anlass dafür, die bisherigen Konzepte zur Abwasser- und Schlammbehandlung für Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe (ca. 5.000 bis 50.000 Einwohnerwerte) zu überdenken.

Zielsetzung des Themenbandes ist es, Betreibern und Planern, die sich mit der Frage nach einem Systemwechsel von der gemeinsamen aeroben Stabilisierung zu einer anaeroben Stabilisierung (Schlammfäulung) beschäftigen, Entscheidungshilfen zu geben.

Kläranlagen müssen ganzheitlich betrachtet werden, um die Reinigungsleistung, die Betriebssicherheit, den Energiehaushalt und die Reststoffqualität optimieren zu können. Der Gewässerschutz bleibt hierbei oberstes Ziel.

Allgemeingültige Aussagen können nicht gemacht werden, weil die Bedingungen auf jeder Kläranlage unterschiedlich sind. Die Wirtschaftlichkeit eines Systemwechsels muss für jeden Einzelfall nachgewiesen werden.

Anlässe für einen Systemwechsel können sein:

- Erweiterung oder Neubau einer Kläranlage, z.B. bei Aufgabe kleinerer Kläranlagen und Überleitung von Abwasser in eine neue oder zu erweiternde Kläranlage
- Sanierung, Modernisierung oder (Energie)optimierung einer bestehenden Kläranlage
- Gemeinsame Behandlung des Schlammes mehrerer Kläranlagen auf einer Kläranlage (Zentralisierung der Klärschlammbehandlung)

2 STATUS QUO

Die folgenden mehr oder weniger aktuellen Daten sind für Deutschland verfügbar [Daten des Statistischen Bundesamtes 2013 und 2014 sowie DWA 2013]:

- Demnach gibt es 1.232 kommunale Kläranlagen mit Schlammfäulung (ca. 13 % aller Anlagen), an die ca. 80 % der EW angeschlossenen sind.
- Auf diesen Anlagen werden etwa 817 Mio. m³/a Faulgas erzeugt. Im Mittel sind das ca. 18 l/(E·d) bezogen auf die Ausbaugröße oder ca. 23 l/(E·d) bezogen auf die Anschlussgröße – beide Werte sind bezogen auf eine CSB-Fracht von 120 g/(E·d); das ist die 85-Perzentile der einwohnerspezifischen CSB-Fracht; das Jahresmittel ist deutlich geringer.
- 984 Anlagen sind mit einem BHKW ausgerüstet, die ca. 700 Mio. m³/a Faulgas (ca. 80 %) verwerten und ca. 147 MW Strom erzeugen. Der mittlere Wirkungsgrad der Stromerzeugung beträgt somit $\eta_{el} = 28 \%$.
- Der Strombedarf aller Anlagen beträgt 490 MW (ca. 34 kWh/(E·d)) im Jahresmittel. Durch Eigenstromerzeugung in den BHKW's wird der Strombedarf aller Anlagen bereits heute zu ca. 30 % gedeckt.
- 137 MW (also 93 % des erzeugten Stromes) werden auf den Anlagen selbst genutzt.

Neuere Empfehlungen für den Einsatzbereich der beiden in Frage stehenden Stabilisierungsverfahren zeigt Bild 1.

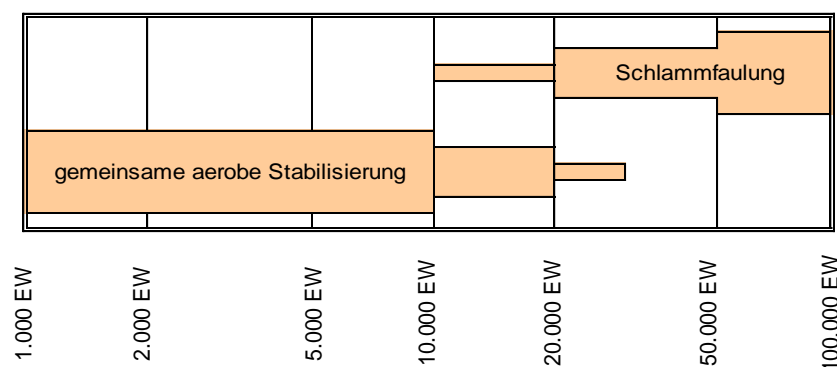


Bild 1: Empfohlene Einsatzbereiche der gemeinsamen aeroben Stabilisierung und Schlammfäulung [Merkblatt DWA-M 368]

3 RAHMENBEDINGUNGEN UND SYSTEMVERGLEICH

Bild 2 zeigt die Entwicklung der Strompreise. Für den starken Anstieg war insbesondere die Umlage gemäß des Energieeinspeisegesetzes (EEG) verantwortlich.

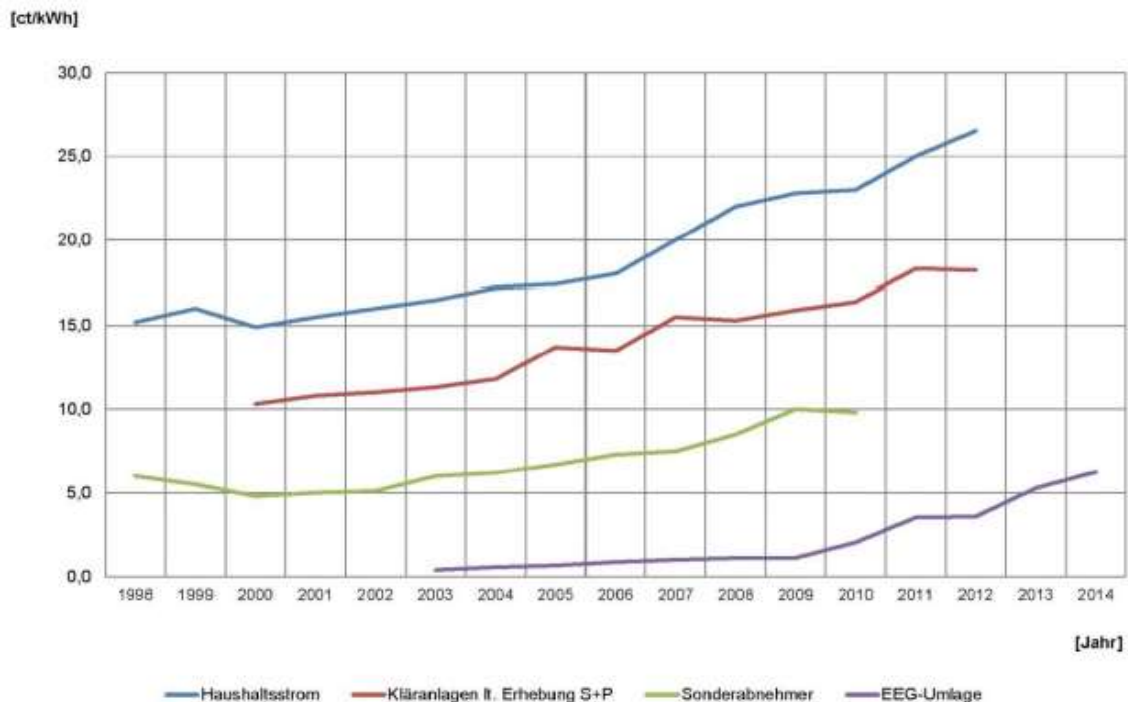


Bild 2: Strompreisentwicklung [Jakob + Siekmann, 2013]

Bisher waren Unternehmen, die ihren Strom selbst erzeugen und verwerten, von der EEG-Umlage befreit. Das galt auch für Kläranlagen. Neuerdings wird für den auf Kläranlagen selbst erzeugten und genutzten Strom eine EEG-Umlage erhoben:

- seit August 2014: 30 %
- ab 2016: 35 %
- ab 2017: 40 %

Selbst bei Berücksichtigung eines Anteiles von 50 % verschiebt sich die Grenze der Wirtschaftlichkeit eines Systemwechsels zur Schlammfäulung nur um ca. 2.000 bis 3.000 EW nach oben (siehe Bild 7), was die Entscheidung nur in Ausnahmefällen beeinflusst.

Als Maß für die im Abwasser chemisch gebundene Energie dient der CSB. Die 85-Perzentile der CSB-Fracht im Rohabwasser beträgt gemäß dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 [2001] ca. 120 g/(E·d). Weil je kg CSB-Abbau genau

0,35 m³ i.N. Methan erzeugt werden und Methan einen Heizwert von 10 kWh/m³ hat, werden einer Kläranlage mit dem Rohabwasser $0,12 \text{ kg}/(\text{E} \cdot \text{d}) \cdot 0,35 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 10 \text{ kWh}/\text{m}^3 = 0,420 \text{ kWh}/(\text{E} \cdot \text{d})$ bzw. 153,3 kWh/(E·a) chemisch gebundene Energie zugeführt. Wenn die CSB-Fracht im Jahresmittel 80 % der 85-Perzentile beträgt, sind es ca. 122 kWh/(E·a).

Die Bilder 3 und 4 zeigen Energiebilanzen der zu vergleichenden Systeme. Der Strombedarf einer Anlage mit Schlammfäulung ist mit ca. 31 kWh/(E·a) nur um knapp 10 % geringer als der einer Anlage mit gemeinsamer aerober Stabilisierung, die ca. 34 kWh/(E·a) verbraucht. Bei der Verwertung des erzeugten Faulgases in einem BHKW können ca. 17 kWh/(E·a) Strom erzeugt werden, die sonst aus dem Netz bezogen werden müssten (ca. 55 % Eigenversorgung).

Beim deutschen Energiemix zur Stromerzeugung im Jahr 2012 wurden 0,576 kg CO₂ je kWh emittiert. Infolge eines Systemwechsels wird demnach die CO₂-Emission um 28,8 kg/(E·a) vermindert, bei einer Anlage mit 20.000 angeschlossenen EW entspricht dies ca. 576 t/a.

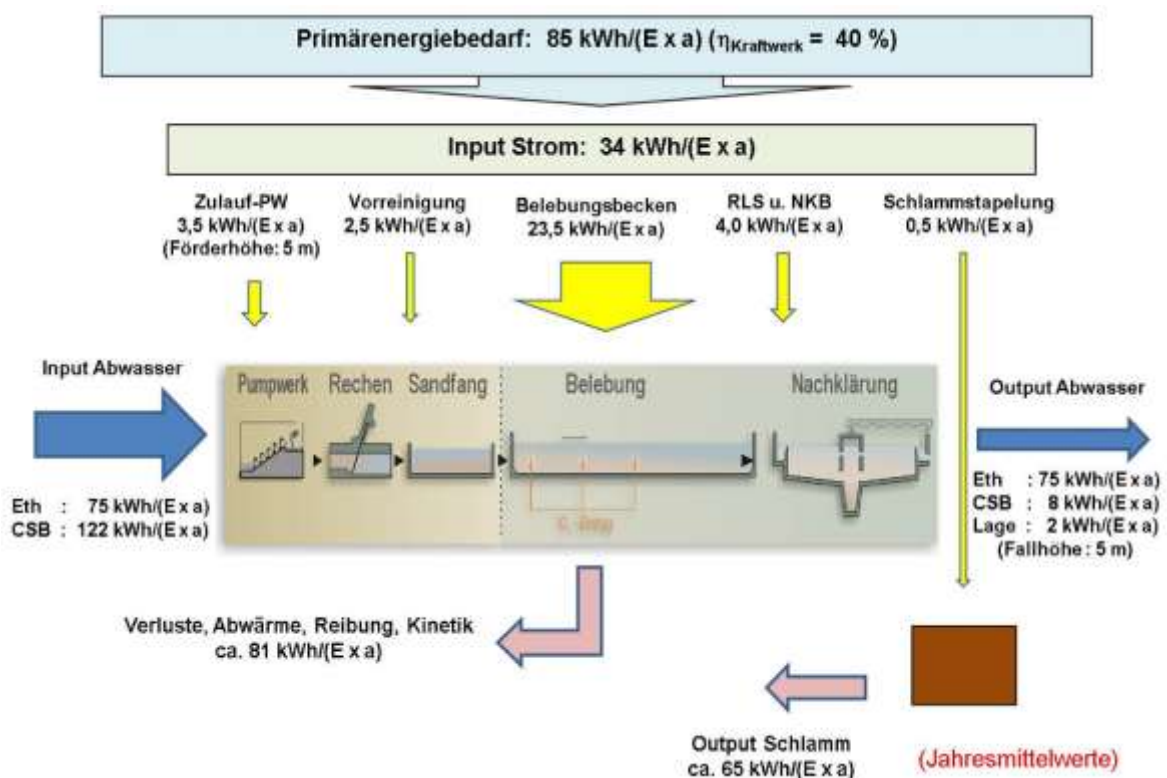


Bild 3: Energiebilanz einer KA der Größenklasse 4 (10.000 – 100.000 EW) mit aerober Stabilisierung [Schmitt u.a. 2011, überarbeitet]

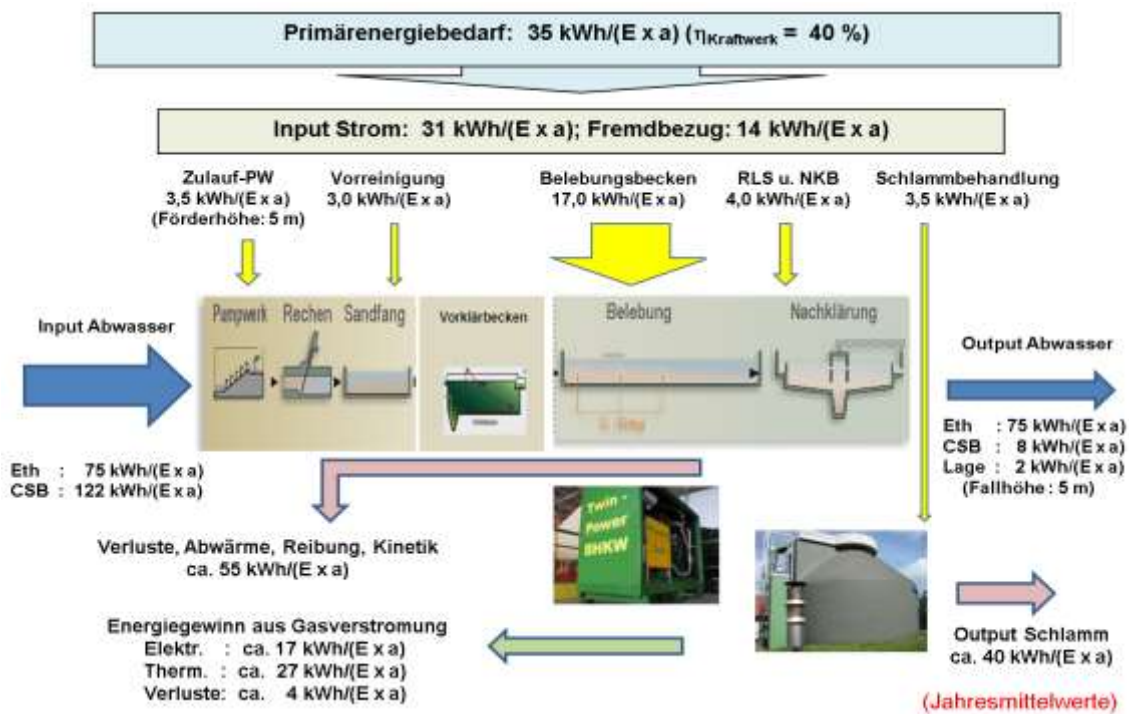


Bild 4: Energiebilanz einer KA der Größenklasse 4 (10.000 – 100.000) mit Vorklärung und Schlammfäulung [Schmitt u.a. 2011, überarbeitet]

Die erhöhte Rückbelastung mit dem Schlammwasser aus der Schlamm-entwässerung muss berücksichtigt werden. Relevant ist i.d.R. nur die Ammoniumfracht.

Beim Systemwechsel werden bis zu 60 % des Belebungsbeckenvolumens frei. Es ist zu prüfen, ob ein Teil des Beckens in ein Vorklärbecken umgebaut werden kann. Eine Alternative zu einem Vorklärbecken kann auch ein Feinstsieb mit einer Maschenweite zwischen 0,2 mm und 0,5 mm sein.

Frei werdendes Volumen kann auch zur Zwischenspeicherung von Schlammwasser genutzt werden.

Belebungsbecken mit rechteckigem Grundriss sind im Vergleich zu Rundbecken einfacher umnutzbar. Bei 2-straßigen Belebungsanlagen kann ein Belebungsbecken außer Betrieb genommen und umgebaut werden.

Der Rohschlamm sollte vor der Fäulung gut eingedickt werden. Zum maschinellen Eindicken von Überschussschlamm, eventuell auch des gesamten Rohschlammes, sind bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe z.B. Scheibeneindicker geeignet.

Tabelle 1 enthält Daten zum mittleren Schlammfall.

Tabelle 1: Schlammanfall und -zusammensetzung im Mittel [DWA-M 368]

Verfahren	Schlammart	$b_{TM,E,d}$ [g/(E·d)]	$b_{mTM,E,d}$ [g/(E·d)]	$b_{oTM,E,d}$ [g/(E·d)]	GV [%]	$b_{oTM,abb,E,d}$ [g/(E·d)]
Anaerobe Schlammstabi- lisierung (Faulung)	Primärschlamm	28	7	21	75	15
	Überschussschlamm	32	9	23	72	10
	Rohschlamm	60	16*	44	73	25
	Faulschlamm	38	16*	22	58	3,5
Gemeinsame aerobe Stabilisierung	Aerob stabilisierter Schlamm	49	15,5	33,5	68	13
	Faulschlamm / Aerob stabilisierter Schlamm	78 %	103 %	66 %		27 %

* Anlagen mit Faulung benötigen etwas mehr P-Fällmittel.

Faulschlamm ist wegen seines geringeren organischen Anteils deutlich besser entwässerbar als aerob stabilisierter Schlamm. Weil die Masse der Feststoffe geringer ist, werden auch weniger Flockungsmittel gebraucht. Für Kläranlagen der betrachteten Größenordnung können z.B. Schneckenpressen eingesetzt werden, deren Stromverbrauch gering ist.

Tabelle 2: Schlammanfall vor und nach der Entwässerung

	Trockenmasse	Volumen	Trockenrückstand*	Masse Schlamm
Aerob stabilisierter Schlamm	ca. 18 kg/(E·a)	ca. 0,6 m ³ /(E·a)	18 – 24 %	ca. 85 kg/(E·a)
Faulschlamm	ca. 14 kg/(E·a)	ca. 0,4 m ³ /(E·a)	22 – 30 %	ca. 55 kg/(E·a)
Reduzierung durch Schlammfäulung	ca. 22 %	ca. 33 %		ca. 35 %

*Betriebsergebnisse von Schneckenpressen gemäß DWA-M 366 [2013]

Der Betrieb und die Wartung eines Faulbehälters einschließlich Beheizung und Gasspeicherung erfordert einen Arbeitsaufwand von 10 bis 20 Stunden im Monat [ATV-M 271]. Das ist ungefähr derselbe Aufwand, den ein Vorklärbecken erfordert. Hinzu kommt, abhängig vom Abschluss eines Wartungsvertrages, der Zeitbedarf für den Betrieb und die Wartung des BHKW und der maschinellen Eindickung. Andererseits wird der Zeitaufwand für die Schlamm entwässerung verkürzt.

Der Personalbedarf einer Anlage mit Schlammfäulung der betrachteten Größenordnung ist um ca. 20 Stunden im Monat höher und erfordert gut ausgebildetes Personal.

4 BEISPIELHAFTER KOSTENVERGLEICH

Bei der Ermittlung der beispielhaften Kostenfunktionen wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Belebungsbecken mit ausreichendem Volumen,
- Neubau eines Vorklärbeckens und Primärschlammumpwerk,
- Neubau eines Zwischenpumpwerkes,
- Maschinelle Voreindickung des Überschussschlammes,
- Neubau eines Schlammvorlagebehälters für Rohschlamm,
- Neubau einer zweistufigen Kompaktfaulungsanlage mit Maschinengebäude (Gesamtschlammalter \approx Gesamtfaulzeit = 16 - 20 d),
- Gasaufbereitung mit Filtern (weder Faulgasentschwefler noch -trockner),
- Doppelmembran-Gasbehälter mit Gebläse,
- Gasfackel,
- Blockheizkraftwerk mit Gasmotor.

In Tabelle 3 sind die gewählten Nutzungsdauern für die Anlagenteile angegeben. Sie enthält auch kürzere Nutzungsdauern, die alternativ für eine Empfindlichkeitsprüfung verwendet wurden (siehe Bild 9).

Neben der Erstinvestition müssen auch Reinvestitionen berücksichtigt werden.

Tabelle 3: Gewählte und bei der Sensitivitätsbetrachtung berücksichtigte Nutzungsdauern

Abwassertechnische Anlage	Durchschnittliche Nutzungsdauer in Jahren		
	gemäß KVR-Leitlinien	gewählt	Sensitivitätsbetrachtung
Bauwerke (VKB und dgl.)	(25) 30 - 40	40	30
Betriebsgebäude	30 - 50	40	30
Faulbehälter (Beton)	30 - (50)	40	30
Faulbehälter (Stahl)	15 - (25)	./.	./.
maschinelle Ausrüstung:			
Räumer für Vorklärbecken	15 - 25	20	15
Maschinentechnik Faulbehälter	10 - 20	20	15
EMSR-Technik:*)			
Schaltanlagen, Elektromotoren	17 - 25	20	10
Kabelleitungen (erdverlegt)	30 - 50	20	10
Mess- und Steuereinrichtungen	8 - 12	20	10
BHKW	./.	13,3	10

*) Für die Nutzungsdauer der EMSR-technischen Anlagenteile wurde ein Mittelwert von 20 Jahren gewählt.

In Abhängigkeit von den angesetzten Nutzungsdauern und dem angesetzten Realzins (= Nominalzins minus Inflationsrate) werden Projektkostenbarwerte oder Jahreskosten berechnet.

Bild 5 zeigt den Grundriss durch eine Kompaktfaulungsanlage, die für den Kostenvergleich zu Grunde gelegt wurde. Es handelt sich hierbei um zwei würfelförmige Betonfaulbehälter mit herausziehbaren Rührwerken. Die Zweistufigkeit ermöglicht einen besseren Abbau bei kleinerem Gesamtvolumen (im Vergleich zu einzelnen Faulbehältern) und bietet den Vorteil der Redundanz.

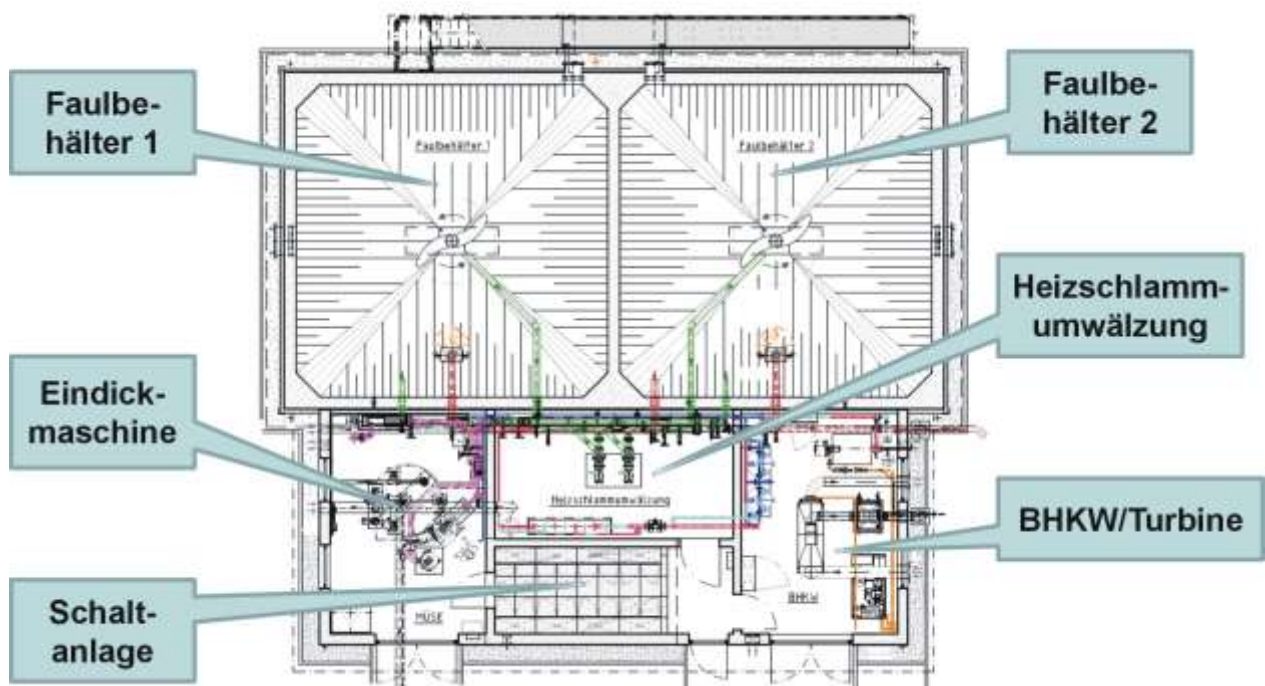


Bild 5: Zweistufige Kompaktfaulungsanlage

Bild 6 zeigt die spezifische Gesamtinvestition für den beispielhaften Systemwechsel.

In Bild 7 werden die Kapitalkosten der Verfahrensumstellung und die eingesparten Betriebskosten dargestellt.

Ohne EEG-Umlage liegt die Wirtschaftlichkeitsgrenze bei ca. 20.000 EW; unter Berücksichtigung einer EEG-Umlage von 50 % verschiebt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze auf ca. 23.000 EW.

Bild 8 zeigt das Ergebnis von Empfindlichkeitsprüfungen für jährliche reale Betriebskostensteigerungen r (= Kurvenschar) sowie für den Realzins i und für den Basisfall ($r = 0 \%$ und $i = 3 \%$). Bei dem gewählten Beispiel ist ein Systemwechsel ohne Berücksichtigung einer Steigerungsrate ab 20.000 EW wirtschaftlich. Wenn man aber annimmt, dass die Betriebskosten jährlich z.B.

um 2 % stärker steigen als die Inflationsrate ($r = 2\%$ und $i = 3\%$), dann ist ein Systemwechsel bereits ab 14.000 EW wirtschaftlich. Wenn außerdem der langfristige Realzins geringer als 2 % ist (z.B. $r = 2\%$ und $i = 1\%$), dann wird die Wirtschaftlichkeitsgrenze bereits bei 10.000 EW erreicht.

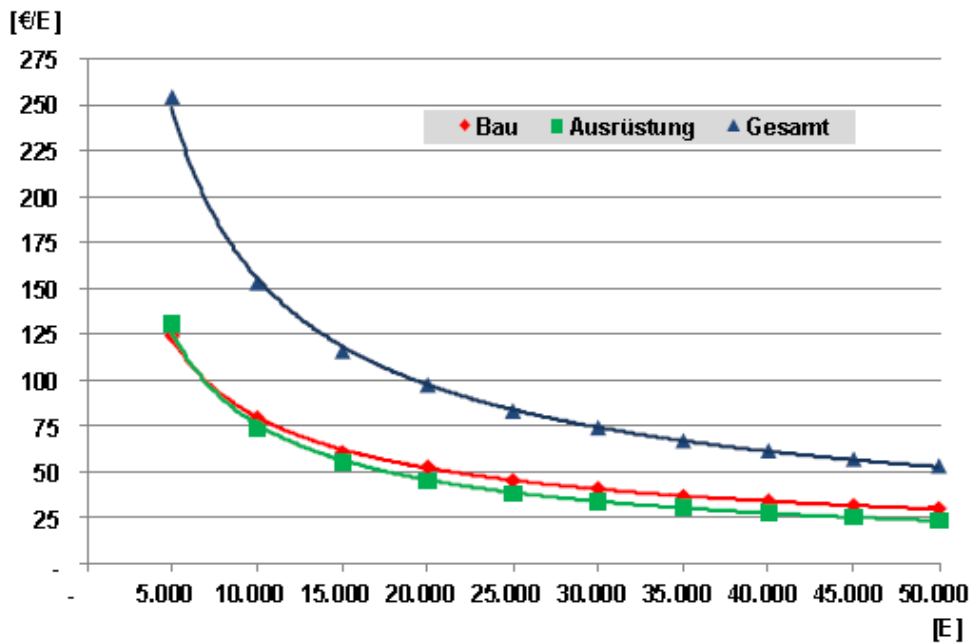


Bild 6: Spezifische Gesamtinvestition für einen Systemwechsel (Kosten aus Rheinland-Pfalz/ Stand 2013, brutto inkl. Nebenkosten)

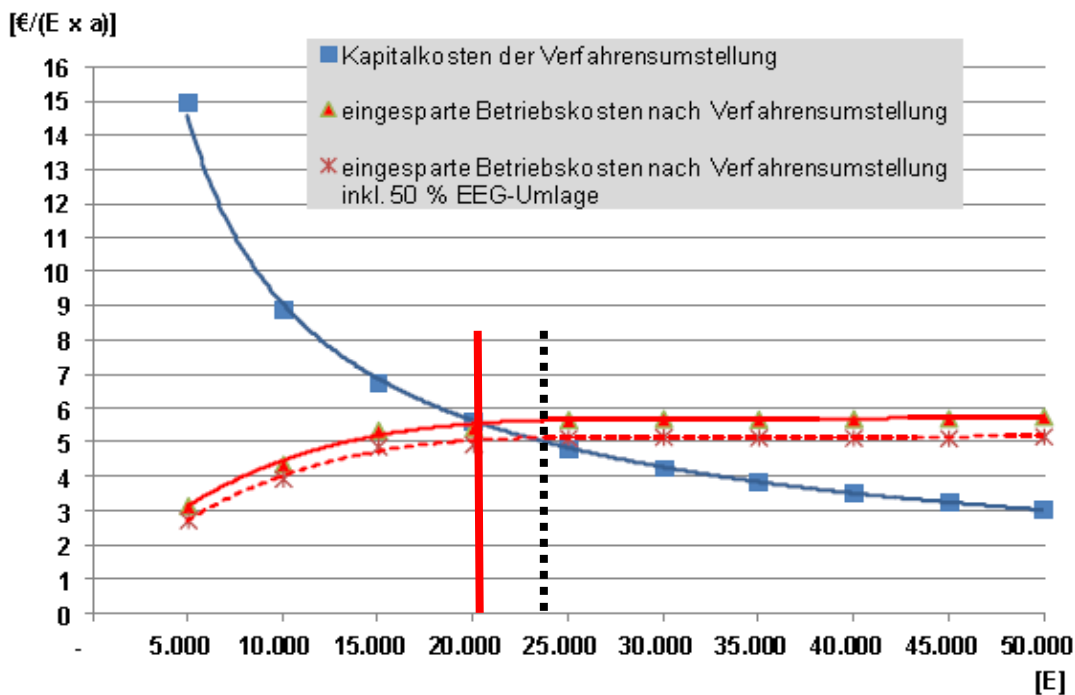


Bild 7: Wirtschaftlichkeitsgrenze für einen Systemwechsel bei aktuellen Betriebskosten

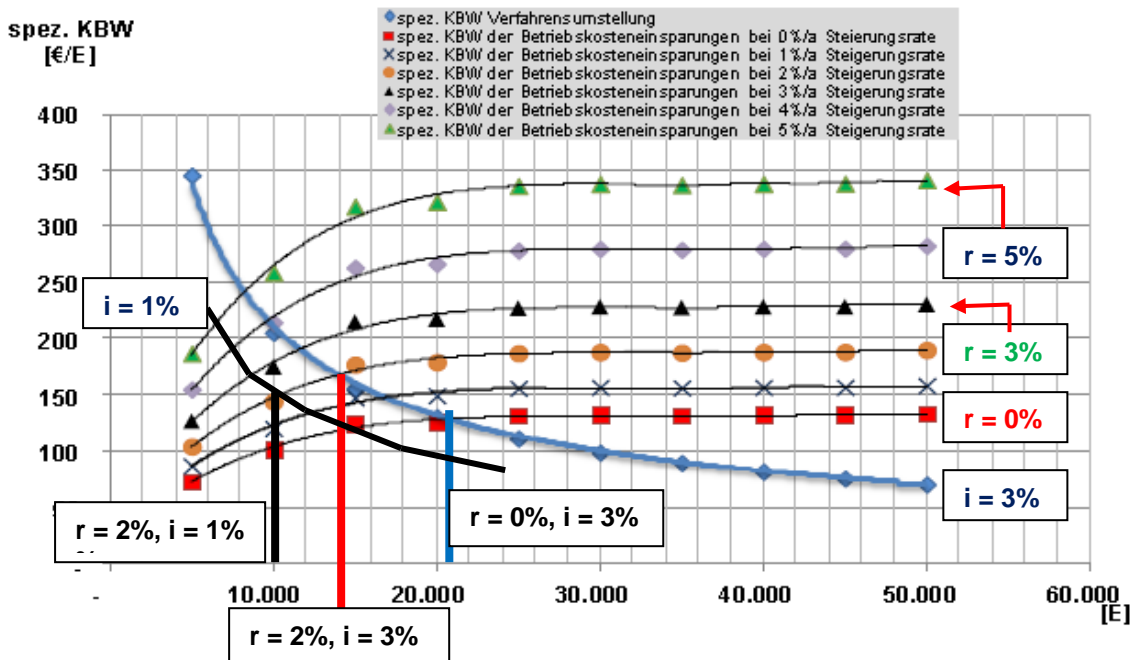


Bild 8: Empfindlichkeitsprüfung für unterschiedliche reale Steigerungsraten r für die Betriebskosten und Realzinssätze i

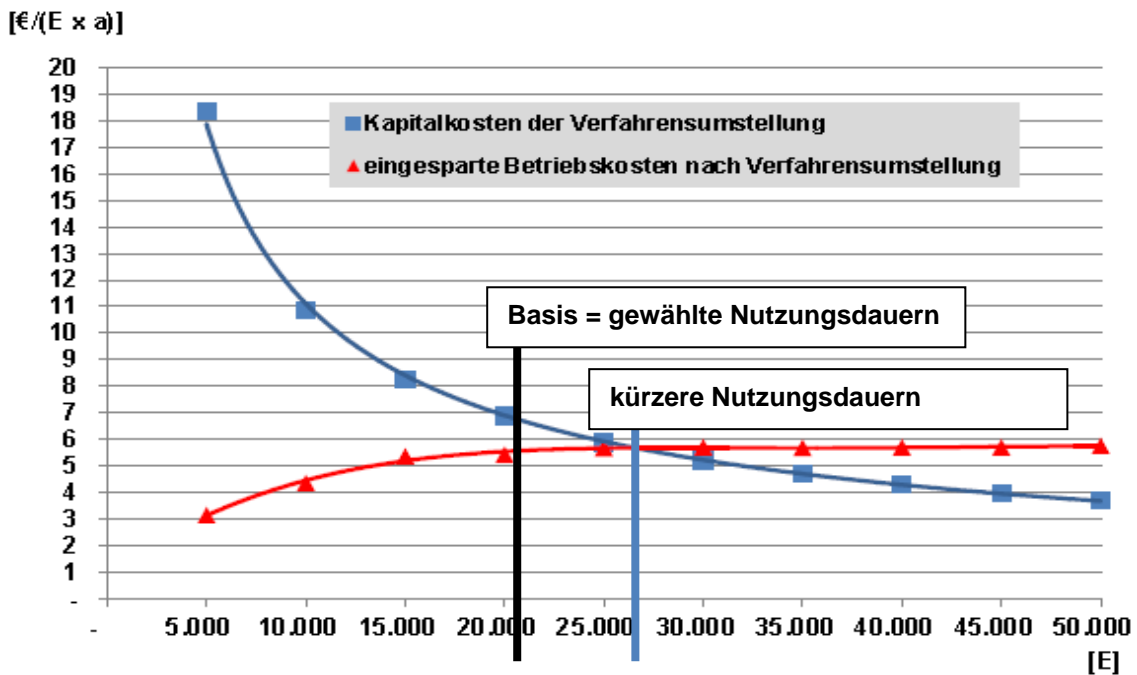


Bild 9: Empfindlichkeitsprüfung mit geringeren Nutzungsdauern (siehe Tabelle 3)

Bild 9 zeigt den Einfluss der Nutzungsdauern auf das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Neuerdings werden auch auf Kläranlagen billige Stahlfaulbehälter mit integriertem Gasspeicher installiert, die ursprünglich für landwirtschaftliche Biogasanlagen konzipiert wurden. Wenn solche Behälter nur eine Nutzungsdauer von z.B. 20 Jahren haben, dann ist dies bei Wirtschaftlichkeitsvergleichen zu berücksichtigen. Außerdem sind Ausfallzeiten beim Ersatz von Anlagenteilen zu berücksichtigen.

5 FALLBEISPIELE

Aus Gründen hoher Strom- und Klärschlammentsorgungskosten wurde auf der Kläranlage Linz-Unkel (Ausbaugröße: 28.800 EW) ein Systemwechsel durchgeführt. Bild 10 zeigt die Kompaktfaulung dieser Kläranlage.

Die Bilder 11 und 12 zeigen Betriebsergebnisse. Im Vergleich zu 2010 konnte der Strombezug um ca. 40.000 kWh/Monat, d. h. ca. 54 %, reduziert werden. Seit dem Systemwechsel beträgt die zu verwertende Klärschlammmasse i. M. 176 t/Monat, ist also um ca. 33 % geringer als vorher.



Bild 10: Kompaktfaulung auf der Kläranlage Linz-Unkel

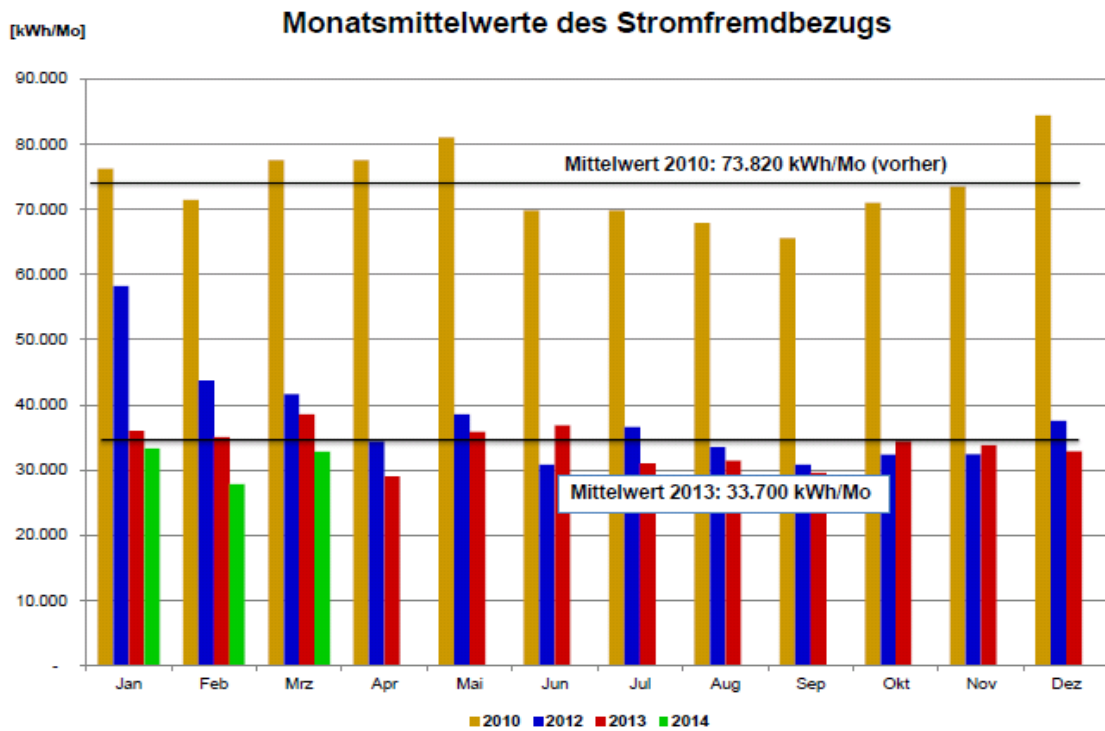


Bild 11: Einsparung des Strom-Fremdbezuges nach Systemwechsel auf der Kläranlage Linz-Unkel

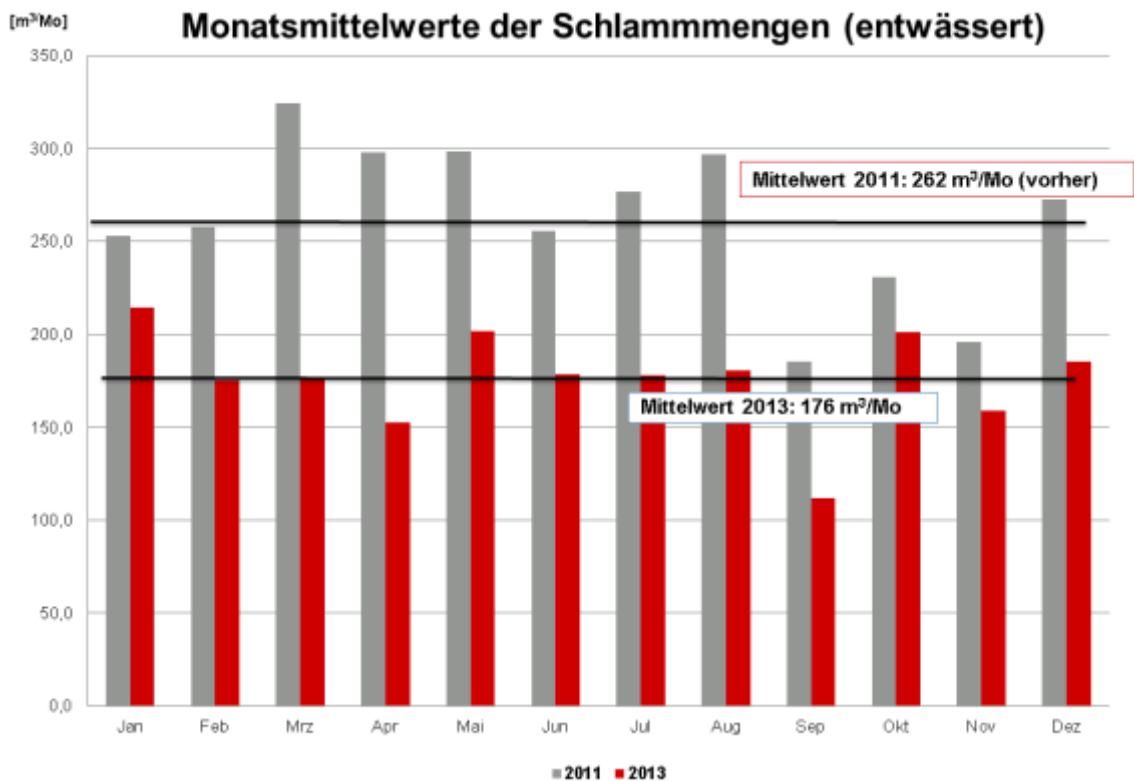


Bild 12: Reduzierung der zu entsorgenden Schlammmenge nach Systemwechsel auf der Kläranlage Linz-Unkel

Auf der Kläranlage Selters erfolgte eine Zentralisierung der Klärschlammbehandlung. Durch Umstellung der Verfahrensführung erhöhte sich die Ausbaugröße wasserseitig auf 11.500 EW, so dass die stillgelegten Teichkläranlagen an die Kläranlage Selters angeschlossen werden konnten. Das Konzept ist in Bild 13 dargestellt. Auf eine ansonsten erforderlich gewesene Erweiterung der Belebungsanlage der KA Selters konnte verzichtet werden.

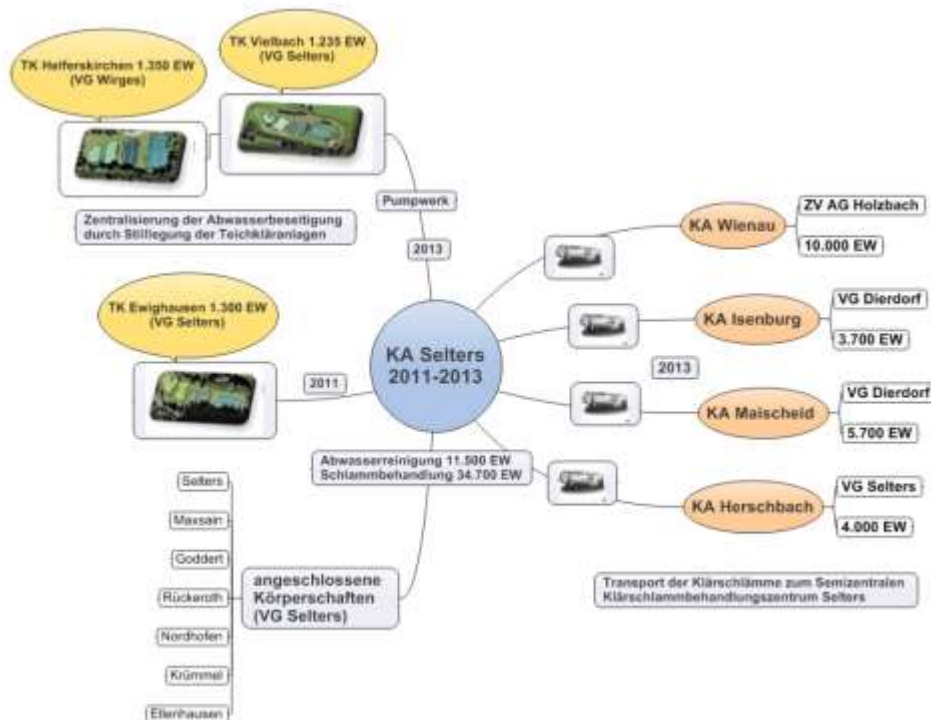


Bild 13: Zentrale Schlammbehandlung auf der Kläranlage Selters

Von vier benachbarten Kläranlagen werden maschinell voreingedickte Schlämme per LKW zur Kläranlage Selters transportiert. Schlammseitig beträgt die Anschlussgröße somit 34.700 EW, so dass die Wirtschaftlichkeit einer Faulung nicht in Frage gestellt ist. Ein Teil des Schlammwassers wird zu den Satellitenanlagen zurückgefahren und hier mitbehandelt, um auf der KA Selters eine zu hohe Stickstoffrückbelastung zu vermeiden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der DWA-Themenband bietet Betreibern und Planern Entscheidungshilfen zum Stabilisierungsverfahren. Sie sollten die Konzeption ihrer Kläranlagen regelmäßig auf Wirtschaftlichkeit prüfen, weil sich Rahmenbedingungen immer

wieder ändern. Für Kläranlagen ab ca. 10.000 EW lohnt es sich, über eine Verfahrensumstellung nachzudenken.

Eine Überprüfung ist zumindest dann erforderlich, wenn eine Kläranlage saniert werden muss. Gleiches gilt für eine mögliche Zentralisierung der Abwasser- und Schlammbehandlung. Ab welcher Anlagengröße ein Systemwechsel wirtschaftlich ist, kann nicht pauschal beantwortet werden. Es hängt vom Einzelfall und den jeweiligen Bedingungen ab. Eine individuelle Prüfung unter Berücksichtigung der gesamten Verfahrenskette ist zwingend erforderlich.

Durch das wachsende Bewusstsein der Bevölkerung für Probleme, die durch eine Verknappung fossiler Energieträger und den durch ihre Verbrennung bedingten Klimawandel bedingt sind, gewinnen auch Aspekte der Ressourcenschonung und des Klimaschutzes zunehmende Bedeutung. Durch einen Systemwechsel zur Schlammfäulung wird beispielsweise die CO₂-Emission um ca. 30 kg/(E·a) vermindert.

Wegen steigender Schlamm Entsorgungs- und Energiepreise und zunehmendem Interesse an der Energieoptimierung und Ressourcenschonung ist zu erwarten, dass die Zahl der Schlammfäulungsanlagen auf Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe deutlich zunehmen wird.

LITERATUR

ATV (1996): Handbuch Klärschlamm, 4. Auflage, Herausgeber R. Leschber und U. Loll, Verlag Ernst & Sohn

ATV-M 271 (1998), Merkblatt: „Personalbedarf für den Betrieb kommunaler Kläranlagen“

ATV-DVWK-A-131 (2000): Arbeitsblatt „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“

DWA-M 363 (2010), Merkblatt: „Herkunft, Aufbereitung und Verwertung von Biogasen“

DWA-M 366 (2013), Merkblatt: „Maschinelle Schlamm entwässerung“

DWA-A 368 (2014), Merkblatt: „Biologische Stabilisierung von Klärschlamm“

DWA-M 381 (2007), Merkblatt: „Eindickung von Klärschlamm“

DWA (2013): „25. Leistungsvergleich Kommunaler Kläranlagen“

DWA (2015), Themenband: „Schlammfäulung oder gemeinsame aerobe Stabilisierung bei Kläranlagen kleiner und mittlerer Größe“

Jakob, Jürgen; Siekmann, Klaus (2013): Datenerhebung zur Strompreisentwicklung auf Kläranlagen

Schmitt T., Gretschel O., Hansen J., Siekmann K., Jakob J. (2010): „Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz“ – NawaS. Schlussbericht Modul 1 im Auftrag des MUFV Rheinland-Pfalz

Statistisches Bundesamt (2013): Fachserie 19, Reihe 2.1.2

Statistisches Bundesamt (2014): Pressemitteilung Nr. 242 vom 7.7.2014

Umweltbundesamt (2013): <http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/co2-strommix.pdf>