

# UMRÜSTUNG VON AEROBEN STABILISIERUNGSANLAGEN IN ANLAGEN MIT SCHLAMMFAULUNG

Dipl.-Ing. Jürgen Jakob - Dr.-Ing. Klaus Siekmann

## 1. AUSGANGSSITUATION

Abwasser und der bei der Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm stellen in vielen Fällen ein noch ungenutztes Energiepotenzial dar. Die Wirtschaftlichkeit abwassertechnischer Anlagen wird wesentlich von der Energieeffizienz und den Klärschlammverwertungs- bzw. -entsorgungskosten beeinflusst.

Ein wirksames Stoffstrommanagement auf der Kläranlage ist daher gefordert, um die energetischen Ressourcen des Abwassers bzw. des Klärschlammes zu nutzen und die zu entsorgenden Klärschlammengen zu reduzieren, ohne jedoch die Ablaufqualität des behandelten Abwassers negativ zu beeinflussen.

Der hierfür entscheidende Verfahrensschritt in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen ist die Stabilisierung des Klärschlammes. Hier unterscheidet man im Wesentlichen zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

Bei der **simultanen aeroben Schlammstabilisierung** (siehe Abb. 1) erfolgt die Stabilisierung im Verlauf der Abwasserreinigung. Den Belebtschlammorganismen wird durch die Bemessung der Belebungsbecken auf ein hohes Schlammalter ( $t = 25$  d) sowie eine geringe Schlammbelastung ( $\leq 0,05$  kg BSB<sub>5</sub>/kg TS/d) nur wenig Nahrung in Form von BSB zur Verfügung gestellt. Die Belebtschlammorganismen veratmen zum Überleben ihre eigene Zellsubstanz.

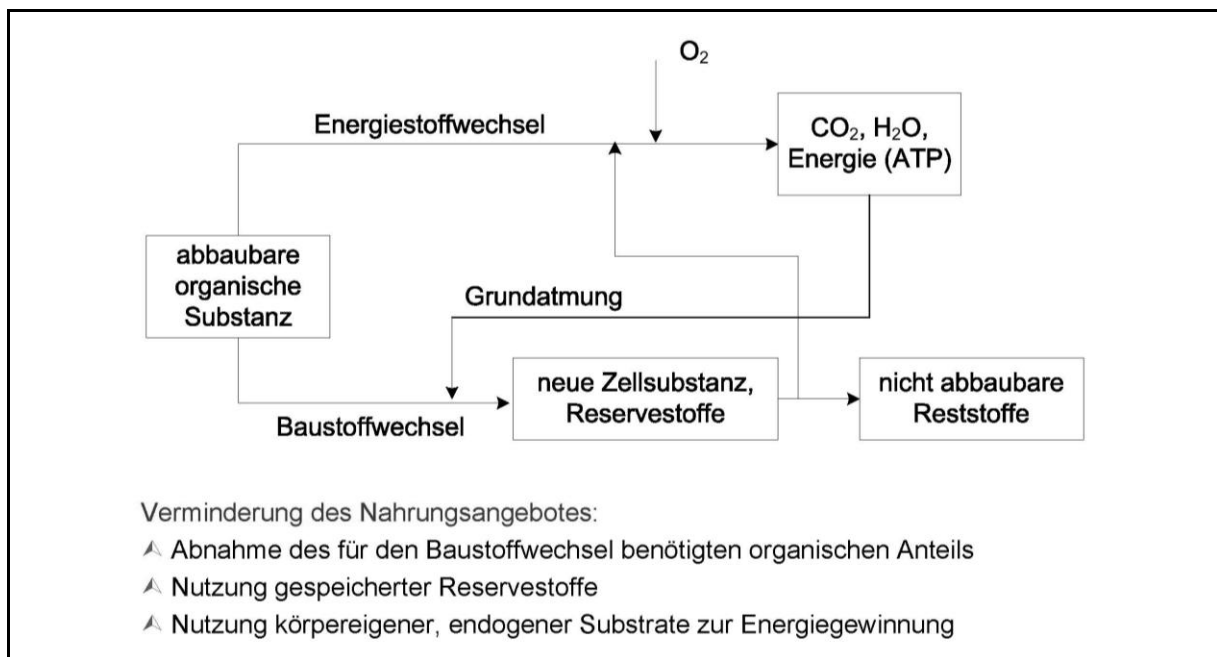


Abb. 1: Stoffwechsel bei der aeroben Stabilisierung (ISA, RWTH Aachen)

Die organische Substanz im Klärschlamm wird aufgezehrt und der resultierende Schlamm weist nach der Stabilisierung eine organische Trockensubstanz oTS (Glühverlust) von ca. 50 bis 55% auf. Bei Bemessung der Anlagen auf eine gemeinsame aerobe Stabilisierung sind große spezifische Beckenvolumina (i. d. R. 300 l/E) erforderlich.

Das Verfahren der **anaeroben Schlammstabilisierung** (Faulung) (siehe Abb. 2) beruht hingegen darauf, dass den Belebtschlammorganismen durch die Bemessung der Anlagen auf ein Schlammalter von ca. 10 bis 12 d resp. eine Schlammbelastung von 0,15 kg BSB<sub>5</sub>/kg TS/d relativ viel organische Substanz als Nahrung zugeführt wird. Hierdurch enthält der abgezogene Überschussschlamm noch einen hohen Anteil an organischer Substanz; in der Regel ca. 70%. Der abgezogene Überschussschlamm wird dann (meist nach einer maschinellen Voreindickung) zusammen mit dem Schlamm aus der Vorklärung (Primärschlamm) einem Faulbehälter zugeführt. Hier entsteht in einem 4-stufigen Prozess Biogas (Faulgas); dieses kann dann z. B. über ein Blockheizkraftwerk mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 30 bis 35% verstromt werden. Die hieraus resultierende Wärme kann zur Aufheizung des Schlammes und des Faulturms genutzt werden.

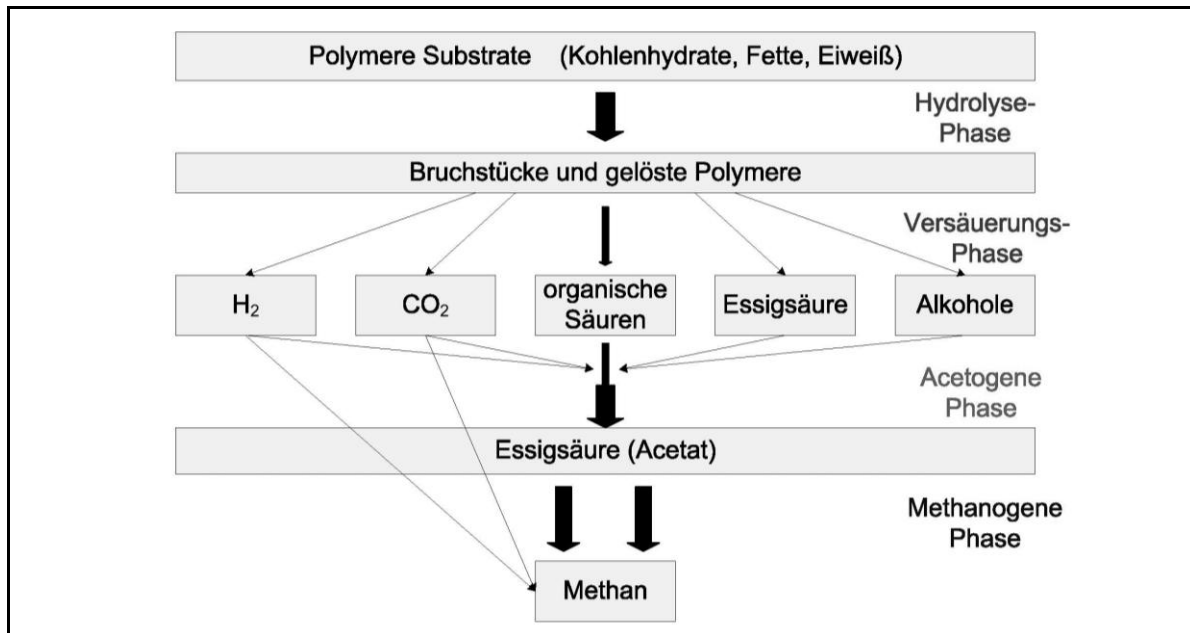


Abb. 2: Stoffwechsel bei der anaeroben Stabilisierung (Faulung) (ISA, RWTH Aachen)

In der Ingenieurpraxis gab es in der Vergangenheit relativ klare Grenzen, wann das Verfahren der aeroben Schlammstabilisierung und wann eine Schlammfäulung zu realisieren ist. Diese Grenzen ergaben sich aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten, wobei hierbei aufgrund der in der Vergangenheit niedrigen Energiekosten vorwiegend die Investitionskosten betrachtet wurden, sowie verfahrenstechnischen Aspekten.

Abbildung 3 verdeutlicht, dass bei Anlagengrößen von < 20.000 EW in der Vergangenheit fast ausschließlich Anlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung konzipiert wurden, während der Einsatzbereich für Faulungsanlagen erst bei Ausbaugrößen von mehr als 30.000 EW begann.

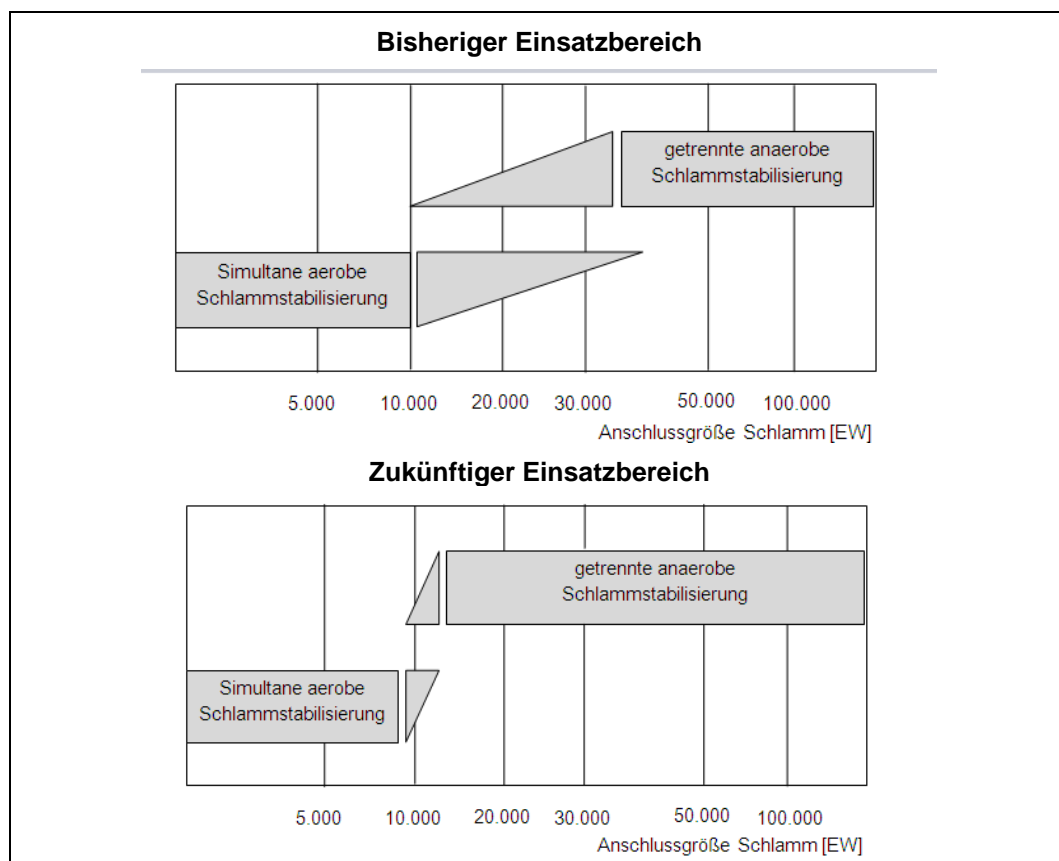


Abb. 3: Einsatzbereich der aeroben und anaeroben Stabilisierung in Abhängigkeit von der Anschlussgröße [EW]

Die in den vergangenen Jahren eingetretenen Entwicklungen - insbesondere die steigenden Energiepreise, veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen sowie technische Neuentwicklungen im Zusammenhang mit Biogasanlagen - haben zu einer Verschiebung dieser vorgenannten Grenzen geführt und machen somit eine Neubewertung der Einsatzbereiche für die Schlammfäulung erforderlich. Dies gilt insbesondere für Flächenländer, wie Rheinland-Pfalz, wo eine Vielzahl von Kläranlagen mit Anschlussgrößen < 30.000 EW betrieben werden.

Hier ist auch die Fragestellung zu behandeln, wie Anlagen mit Klärschlammfäulung inkl. der erforderlichen Infrastruktur wie Faulbehälter, Gasspeicher, ggfls. Prozesswasserbehandlung usw. kostengünstig, aber dennoch betriebssicher, umgesetzt werden können.

Diesbezüglich wird derzeit eine Studie für das Umweltministerium des Landes Rheinland-Pfalz mit der TU Kaiserslautern erarbeitet, um das tatsächlich vorhandene und nutzbare Optimierungspotenzial bei Umstellung von Kläranlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung auf Anlagen mit anaerober Schlammfäulung im Sinne eines integrativen Ansatzes betreffend Energieeffizienz, Wasserwirtschaft / Gewässerschutz (Ablaufqualität), Abfallwirtschaft (Klärschlammmenge) und Wirtschaftlichkeit aufzuzeigen.

## **2. DARSTELLUNG DER VERÄNDERTEN RAHMENBEDINGUNGEN**

### **2.1 ENTWICKLUNG DER ABWASSERREINIGUNG**

Die Abwasserreinigung im ländlich strukturierten Raum hat sich in den zurückliegenden Jahrzehnten grundlegend geändert. Während in den 60er und 70er Jahren vorwiegend mechanische Reinigungsverfahren wie z. B. Emscherbrunnen eingesetzt wurden, hielt die biologische Abwasserreinigung in den 60er und 70er Jahren ihren Einzug. Es dominierten zunächst die Tropfkörperverfahren, z. B. Schreiberklärwerke, mit dem Ziel des Kohlenstoffabbaus. Es folgten für größere Kommunen die ersten Belebungsanlagen.

Erst Ende der 80er Jahre führte das Robbensterben sowie die massive "Algenblüte" in Nord- und Ostsee dazu, die Kläranlagen auf das Reinigungsziel "Nährstoffelimination" zu erweitern. Die hierdurch erzielten Erfolge sind an unseren Gewässern heute überall erkennbar.

Ein flächendeckender Einsatz von zusätzlichen Behandlungsstufen zur Eliminierung von anthropogenen Spurenstoffen, wie z. B. Arzneimittel, werden auch zukünftig als nicht zielführend angesehen. Die zunehmende Empfindlichkeit von Nachweisverfahren schließt eine generelle Null-Emission von Kläranlagen grundsätzlich aus.

Einhergehend mit den Reinigungsanforderungen erhöhten sich auch die Betriebskosten einer Kläranlage beträchtlich. Insbesondere mit den steigenden Stromkosten kam in den letzten Jahren wieder deutlich Bewegung in die Abwassertechnik, u. a. vor dem Hintergrund, dass Kläranlagen mit 30 % bis 40 % des Gesamtbedarfs die größten Energieverbraucher einer Kommune darstellen.

### **2.2 ANPASSUNG DER ABWASSERREINIGUNG UND KLÄRSCHLAMMBEHANDLUNG AN DIE AKTUELLE ENTWICKLUNG AUF DEM ENERGIESEKTOR**

Die Energiepreise sind in den zurückliegenden Jahrzehnten kontinuierlich gestiegen. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht abzusehen.

Die nachfolgende Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Strompreise.

Neben der Energiepreisentwicklung ist die CO<sub>2</sub>-Reduzierung aus Klimaschutzgründen ein zentrales Zukunftsthema. Es ist daher ein grundlegendes Umdenken bei den heutigen Bestrebungen zum flächendeckenden Einsatz regenerativer Energien erforderlich.

Abwasser und der bei der Abwasserbehandlung anfallende Klärschlamm stellen in vielen Fällen ein noch ungenutztes Energiepotenzial dar. Die Quantität und vor allem auch die Qualität dieses Energieträgers ist weitestgehend bekannt. Im Vergleich zu anderen Energien, z. B. Windenergie, ist diese Energie kalkulierbar und steht demzufolge für die Nutzbarmachung kontinuierlich zur Verfügung.

Nachdem Bayern und Baden-Württemberg bereits den Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung propagieren (Energie statt Dünger!), ist auch bei uns in Rheinland-Pfalz zunehmend feststellbar, dass Alternativen gesucht werden, die die Nutzung des vorhandenen Energiepotenzials noch dringlicher machen. Dies gilt insbesondere auch im Hinblick auf die anstehende Novelle zur Klärschlammverordnung mit schärferen Grenzwerten und den zu erwartenden Hygieneanforderungen.

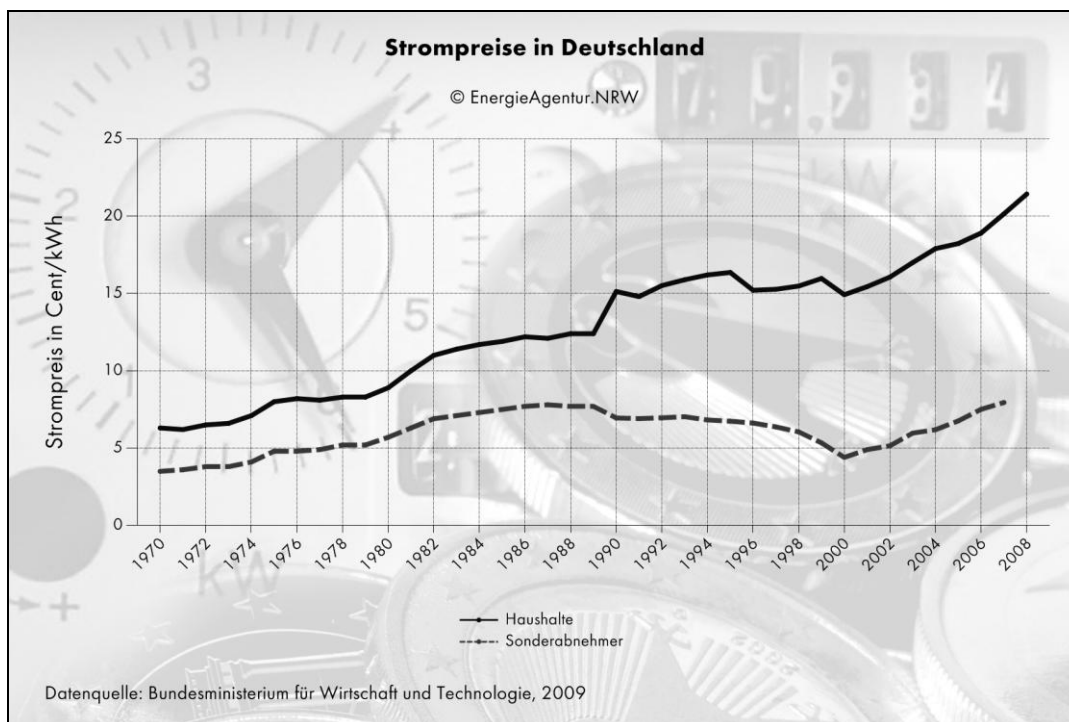


Abb. 4: Entwicklung des Strompreises in Deutschland

Der Problemabfall Klärschlamm hat beste Potenziale, ein wertvoller Energierohstoff zu werden. Die wirtschaftliche Situation, veränderte gesetzliche Rahmenbedingungen und propagierter Klimaschutz führen dazu, die Einsatzgrenzen für Klärschlammfaulungsanlagen deutlich in Richtung kleinerer Anlagen zu verschieben.

Neben der betriebssicheren Einhaltung der Ablaufgrenzwerte sowie der ordnungsgemäßen Entsorgung der Reststoffe muss künftig auch der rationelle und ressourcenschonende Energieeinsatz als maßgebendes Kriterium für die Planung und den Betrieb einer Kläranlage angesehen werden.

Zielsetzung muss es sein, nicht in jeder einzelnen Verfahrensstufe, sondern in der Gesamtanlage ein Optimum an Reinigungsleistung, Betriebssicherheit und Energieeinsatz / -verwertung zu erreichen. Hierbei ist eine regelmäßige Überprüfung der Verfahrenstechnik unabdingbar. Aus heutiger Sicht sollten Betreiber von Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von 10.000 EW grundsätzlich den wirtschaftlichen Einsatz von Klärschlammfaulungsanlagen überprüfen. Dabei ist jedoch ein Hauptaugenmerk auf die Realisierung kostengünstiger, einfacher Bauformen für Faulbehälter und Gasspeicher (z. B. Doppelmembran-Gasbehälter) zu legen.

Ein Innovationsschub für Faulbehälteranlagen (Biogasanlagen) ist hierdurch zu erwarten.

### 3. VERGLEICHENDE BETRACHTUNG VON AEROBEN STABILISIERUNGSANLAGEN UND FAULUNGSANLAGEN

#### 3.1 ENERGIEPOTENZIALE

Im Abwasser ist Energie in verschiedenen Formen gespeichert:

- als thermische Energie aus Haushalten und Industrie,
- als hydrostatische Energie (insbesondere in bergigen Regionen) und
- als Energie in den organischen Frachten.

Die Entscheidung über eine Umwandlung dieser Energieformen in nutzbare Energie ist auf Kläranlagen bisher im Wesentlichen bestimmt von der Wirtschaftlichkeit. Dabei hat die Umwandlung in **elektrische Energie** Vorrang, da diese auf Grund der Marktbedingungen und wegen spezieller politischer Rahmenbedingungen (Beispiel Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG) die höchsten Erlöse erzielt bzw. die höchsten Bezugskosten (Strompreise) verursacht.

Die erzeugte, hauptsächlich zum Eigenverbrauch eingesetzte **Wärmeenergie** wird demgegenüber deutlich geringer bewertet und steht daher (bisher) nicht im Fokus des Energiemanagements.

Durch das wachsende Bewusstsein, insbesondere für die Verknappung der fossilen Energieträger sowie die Probleme des Klimawandels, spielen zwischenzeitlich neben reinen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen auch die Aspekte des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung bzw. -verfügbarkeit eine immer größere Rolle bei Investitionsentscheidungen. Dabei steht die Wandlung und Nutzung der in den organischen Frachten gebundenen Energie beim Energiemanagement auf Kläranlagen im Vordergrund.

Der Energiegehalt der organischen Fracht liegt nach unterschiedlichen Quellen in einer Größenordnung von

$$0,4 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{d}) \times 365 \text{ d/a} = 146 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a}) \quad [\text{Kroiss 2006}]$$

bis

$$120 \text{ g CSB}/(\text{E} \times \text{d}) = \text{ca. } 44 \text{ kg CSB}/(\text{E} \times \text{a}) \Rightarrow 175 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a}) \quad [\text{Kapp 1998 bzw. Pinnekamp 2007}],$$

wobei die Berechnungen von Kroiss von einem spezifischen CSB-Anfall von  $110 \text{ g}/(\text{E} \times \text{d})$  ausgehen und sich bei einer einfachen Umrechnung auf  $120 \text{ g}/(\text{E} \times \text{d})$  ein Wert von  $159 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a})$  ergäbe.

Diese, in der organischen Masse gebundene Energie, die, wie nachstehend dargestellt, aber nur einem verwertbaren Potenzial von ca.  $48 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a})$  entspricht, wird unter anderem mit dem Klärschlamm aus dem Abwasserbehandlungssystem ausgeschleust.

Bei Installation einer getrennten anaeroben Schlammstabilisierung (Faulung) ergibt sich bei einem

- Faulgasanfall von  $400 \text{ l/kg oTSzu}$ ,
- einem Schlammanfall von rund  $80 \text{ gTS}/(\text{E} \times \text{d})$  (Primär- und Überschussschlamm) und einem
- organischen Anteil im Schlamm von 64 Prozent

die spez. Klärgasmenge zu

$$400 \text{ l/kg oTSzu} \times 0,08 \text{ kg TS}/(\text{E} \times \text{d}) \times 0,64 = \text{ca. } 20 \text{ l}/(\text{E} \times \text{d}).$$

Bei einem Energiegehalt im Faulgas von  $6,5 \text{ kWh}/\text{m}^3$  (Annahme: Methangehalt ca. 65 Prozent) ergibt sich mit der vorstehenden Abschätzung des Faulgasanfalls von  $20 \text{ l}/(\text{E} \times \text{d})$  eine spezifische Jahresenergiemenge von

$$6,5 \text{ kWh}/\text{m}^3 \times 0,02 \text{ m}^3/(\text{E} \times \text{d}) \times 365 \text{ d/a} = \text{rund } 48 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a}).$$

Mit einem elektrischen Gesamt-Wirkungsgrad der BHKW's von etwa 35 % lassen sich aus dieser Energiemenge

$$48 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a}) \times 0,35 = \text{ca. } 17 \text{ kWh}/(\text{E} \times \text{a})$$

Strom erzeugen.

Für die anschließenden Entsorgungswege ist die Stabilisierung des Klärschlammes oftmals zwingend erforderlich (landwirtschaftliche Verwertung) oder zumindest die Regel (thermische Entsorgung). Wird die Stabilisierung auf aerobem Wege erreicht, ergibt sich für den Betreiber aus energetischer Sicht eine Doppelbelastung:

- erhöhter Energieverbrauch für die Belüftung und Umwälzung sowie
- keine Eigenenergieerzeugung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen vergleichend die Energiebilanz einer Kläranlage der Größenklasse 4 für eine aerobe Stabilisierung und für eine anaerobe Stabilisierung (Faulung) mit Klärgasverstromung.

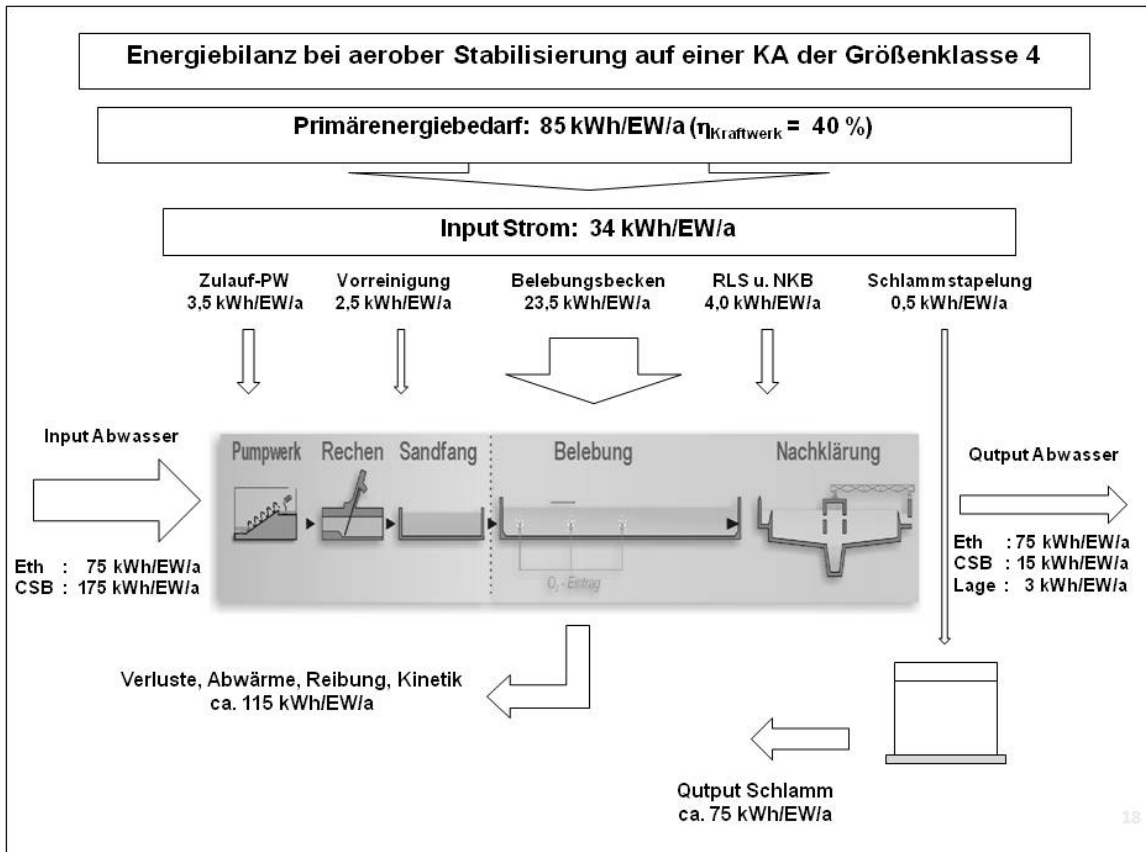


Abbildung 5: Energiebilanz bei der aeroben Stabilisierung

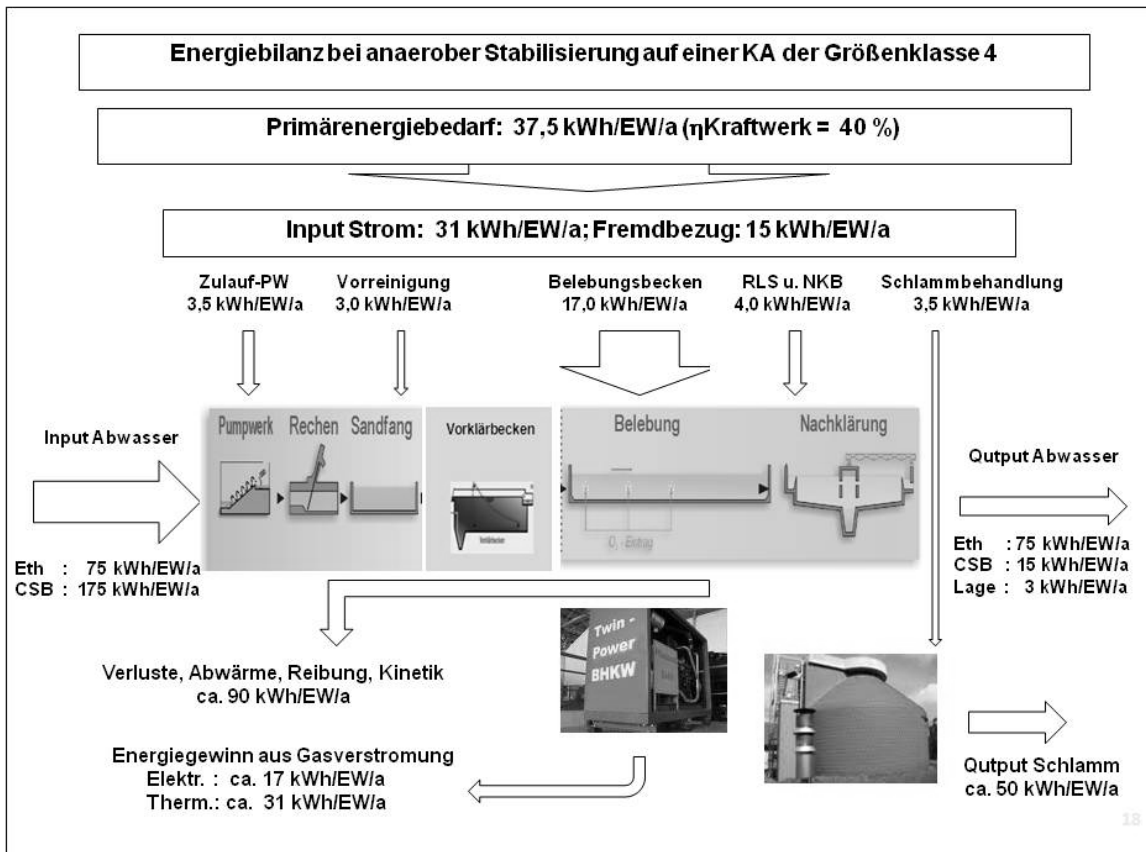


Abbildung 6: Energiebilanz bei der anaeroben Stabilisierung (Faulung)

Wie aus der Energiebilanzierung hervorgeht, liegt der Energiebedarf bei der aeroben Stabilisierung bei ca. 34 kWh/EW/a, während bei einer Kläranlage mit Schlammfäulung nur ca. 15 kWh/EW/a an Fremdenergie zugekauft werden müssen. Ursächlich hierfür ist

- die Vorentlastung der Biologie durch die Primärschlammmentnahme in der Vorklä rung
- der auf Grund der kleineren Belebungsbecken niedrigere Energiebedarf für die Umwälzung und Durchmischung
- der Energiegewinn durch die Verstromung des Faulgases über ein BHKW

Unter Berücksichtigung der Aspekte des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung ergibt sich für die Fäulung ein um den Faktor  $85/37,5 = 2,3$  geringerer Primärenergieverbrauch.

Abbildung 7 verdeutlicht nochmals Energiebedarf bzw. Energieerzeugung in Abhängigkeit des gewählten Stabilisierungsverfahrens und der Verweilzeit in der Vorklä rung.

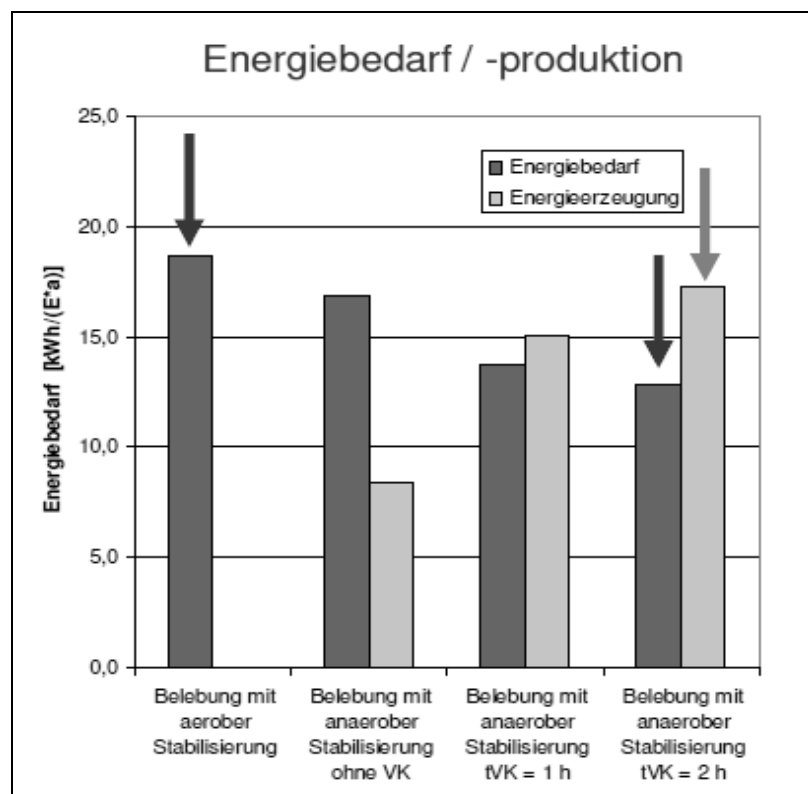


Abb. 7: Energiebedarf bzw. Energieerzeugung in Abhängigkeit des gewählten Stabilisierungsverfahrens und der Verweilzeit in der Vorklä rung

### 3.2 SCHLAMMMEGE UND -EIGENSCHAFTEN

Neben den energetischen Vorteilen ist festzuhalten, dass bei Anlagen mit Schlammfäulung im Vergleich zu Anlagen mit gemeinsamer aerober Schlammstabilisierung deutlich weniger Schlamm anfällt. Ursächlich hierfür ist der höhere Abbau der organischen Bestandteile im Schlamm sowie die bessere Entwässerbarkeit. Beides wirkt sich positiv auf die anschließende Verwertung bzw. Entsorgung des Schlammes und somit auch auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Unter Zugrundelegung der Tabelle 3 "Rohschlammanfall und -beschaffenheit in Abhängigkeit unterschiedlicher Reinigungsverfahren und Betriebsbedingungen" des ATV-Merkblattes M 368 "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm", Hennef 2004, ermitteln sich die zu entsorgenden spezifischen TR-Frachten wie folgt:

#### Aerobe Stabilisierung

$$\text{TR-Fracht} = \ddot{U}_{S_B} + \ddot{U}_{S_P}$$

mit:

$$\begin{aligned}\ddot{U}S_B &= \text{Überschussschlamm bei einem Schlammalter von 25 Tagen} \\ \ddot{U}S_P &= \text{Fällschlamm (Simultanfällung mit Eisensalz)}\end{aligned}$$

Hieraus folgt:

$$\text{TR-Fracht} = 56,2 \text{ g/EW/d} + 2,5 \text{ g/EW/d} = 58,7 \text{ g/EW/d}$$

### Anaerobe Stabilisierung (Faulung)

$$\text{TR-Fracht} = PS + \ddot{U}S_B + \ddot{U}S_P$$

mit:

$$\begin{aligned}PS &= \text{Primärschlamm bei einer Aufenthaltszeit in der Vorklärung von 1 h} \\ \ddot{U}S_B &= \text{Überschussschlamm bei einem Schlammalter von 15 Tagen} \\ \ddot{U}S_P &= \text{Fällschlamm (Simultanfällung mit Eisensalz)}\end{aligned}$$

Hieraus folgt:

$$\text{TR-Fracht} = (35 + 34,8 + 2,5) \text{ g/EW/d} = 72,3 \text{ g/EW/d}$$

$$\begin{aligned}\text{Abbau im Faulbehälter} &: PS = 57 \% \text{ oTR (bei } t_A = 20 \text{ d)} \\ &\quad \ddot{U}S = 35 \% \text{ oTR (bei } t_A = 20 \text{ d)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{oTR-Fracht} &= 35 \times 0,67 = 23,5 \text{ g/EW/d für den Primärschlamm} \\ &\quad 34,8 \times 0,7 = 24,4 \text{ g/EW/d für den Überschussschlamm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{oTR-Abbau} &= 23,5 \times 0,57 = 13,4 \text{ g/EW/d für den Primärschlamm} \\ &\quad 24,4 \times 0,35 = 8,5 \text{ g/EW/d für den Überschussschlamm}\end{aligned}$$

$$\text{Restfracht} = 72,3 - 13,4 - 8,5 = 50,4 \text{ g/EW/d}$$

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die ausgefaulten Schlämme im Vergleich zu den aerob stabilisierten Schlämmen im Allgemeinen besser maschinell entwässern lassen (siehe Denkert R.: "Eindickung, Entwässerung und Trocknung von Klärschlamm"), können die zu entsorgenden spezifischen Schlammengen wie folgt angegeben werden:

Stabilisierungsart	Reststofffracht	Entwässerung auf <sup>*)</sup>	Schlammmenge
	[g/EW/d]	[%]	[l/EW/d]
aerob	58,7	18 - 26 (i. M. 22)	0,267 l/EW/d
anaerob	50,4	24 - 30 (i. M. 27)	0,187 l/EW/d

<sup>\*)</sup> Betriebsergebnisse von Hochleistungs-Zentrifugen

Demzufolge reduziert sich bei der Faulung die Schlammmenge um

$$1 - (0,187/0,267) = \text{rd. } 30 \%,$$

was sich natürlich positiv auf die Entsorgungskosten auswirkt.

Zudem bietet sich bei Faulungsanlagen durch die deutlich höhere Belastung des anfallenden Schlammwassers mit Phosphat eine wirtschaftlich erheblich bessere Möglichkeit, Phosphate gezielt aus dem Schlammwasser zurückzugewinnen.

Des Weiteren werden bei Einsatz der Faulung Bläh- und Schwimmschlammprobleme vermieden.



Durch die bei der Bemessung zugrunde gelegten hohen Schlammalter und ihr spezifisches Durchmischungsverhalten (Rührkesselreaktoren) resultieren bei der aeroben Stabilisierung sehr häufig Probleme mit Bläh- und Schwimmschlamm-Bildung. Die schlechte Absetzbarkeit des Schlammes führt auf zahlreichen Anlagen dazu, dass der Bemessungsschlammgehalt nicht eingestellt werden kann und Probleme mit der aeroben Stabilisierung des Belebtschlammes auftreten. Weiterhin steigt die Gefahr des Schlammabtriebs aus der Nachklärung, woraus sich beträchtliche Einbußen bei der Betriebssicherheit ergeben.

#### 4. UMRÜSTUNGSVORSCHLAG

Auf Grund der unter Pkt. 3 dargestellten Vorteile (weniger Stromverbrauch, geringere Schlamm-mengen) müssten alle Kläranlagen (zumindest ab einer bestimmten Ausbaugröße) prinzipiell mit einer getrennten, anaeroben Schlammstabilisierung (Faulung) zur Erzeugung wertvollen Biogases ausgerüstet werden. Bei kleinen und mittleren Kläranlagen scheidet diese Verfahrenswahl oftmals an den hohen Investitionskosten für die Errichtung baulich aufwändig gestalteter Faulurmanlagen mit den zugehörigen Peripherieanlagen-teilen für Gasspeicherung und -verwertung. Zur Verbesserung dieser Situation sind **innovative Lösungsansätze** gefordert, die eine deutliche Reduzierung der Investitionskosten bei gleichbleibender Betriebssicherheit gewährleisten.

Meyer u. a. hat hierzu bereits 1995 auf die Ausführung mit einfachen zylindrischen, oberirdisch aufgestellten Faulbehältern mit ebener Sohle und ebenem Dach hingewiesen. Auf Basis entsprechender Ausschreibungsergebnisse geht er dabei von erreichbaren Investitionskosten von rd. 850,00 €/m<sup>3</sup><sub>FB</sub>, brutto, aus. Weiterhin werden am Markt derzeit Systeme angeboten, die, ähnlich der Ausführung landwirtschaftlicher Biogas-Anlagen, eine Kombination von Faulbehälter mit integriertem Gasspeicher vorsehen.

Setzt man voraus, dass auch mit diesen einfacheren Anlagensystemen das Verfahrensziel realisiert werden kann, stellt sich dennoch die Frage der langfristigen Betriebssicherheit dieser Systeme. Gerade der Einsatz auf kleineren Kläranlagen (ab ca. 10.000 EW) erfordert eine hohe Betriebssicherheit, die nicht rein wirtschaftlichen Aspekten untergeordnet werden darf.

Auf Basis grundsätzlicher Überlegungen sowie in **enger Abstimmung mit dem Umweltministerium Rheinland-Pfalz** wurde seitens der Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH eine innovative Anlagentechnik entwickelt, welche die wesentliche Grundlage für die weiteren Betrachtungen bildet. Mittelpunkt dieser Konzeption stellt eine 2-straßige Ausführung der Faulbehälteranlage dar, so dass auch bei vorübergehender Außerbetriebnahme eines Behälters (z. B. für Wartung und Revision) eine zumindest weitgehende Schlammstabilisierung realisierbar ist. Weiterhin trägt das System auf Grund seines einfachen Aufbaus den Anforderungen an das Betriebspersonal kleinerer Kläranlagen Rechnung.

Wie aus den Abbildungen einer Faulurmanlage mit einem Nutzvolumen von 1.000 m<sup>3</sup> (Anschlussgröße ca. 30.000 EW) zu entnehmen (siehe Abb. 8), ergibt sich die Faulbehälterkubatur aus einem rechteckigen Grundriss, der durch eine Mitteltrennwand in 2 quadratische Behälter mit je 500 m<sup>3</sup> unterteilt wird. Zur Realisierung einer Füllhöhe von ca. 6,5 m weisen die Behälter bei einer Grundfläche von je 9,0 x 9,0 m eine Gesamthöhe von nur etwa 7,0 m auf.

Auf Grund dieser einfachen Bauweise mit lediglich leicht zentrisch geneigter Sohle (durch Einbringen von Füllbeton) und ebenem Dach ergeben sich kompakte Bauwerkseinheiten, deren wirtschaftlicher Vorteil durch den direkten Anbau eines mit einem Pultdach versehenen Maschinenhauses zur Aufstellung der Peripherieaggregate (Heizschlammumwälzpumpen, Wärmetauscher, BHKW usw.) optimiert wird.

Die Durchmischung der Behälter erfolgt mit kostengünstigen Vertikalrührwerken, deren Funktion über umfangreiche Simulationsberechnungen nachgewiesen werden konnte.

Die Anlage kann auf Grund der gewählten Verrohrung sowohl 2-straßig als auch 2-stufig betrieben werden, wobei die 2-stufige Betriebsweise einen höheren oTR-Abbau und somit einen höheren Gasertrag ermöglicht. Dieser liegt nach den Untersuchungen von Kapp bei ca. 10 %.

Zur Speicherung des anfallenden Faulgases wird der Einsatz kostengünstiger Doppelmembrangasspeicher (siehe Abb. 9) vorgeschlagen. Diese Systeme haben sich in den letzten Jahren, z. B. auf verschiedenen Kläranlagen des Ruhrverbands, bestens bewährt.

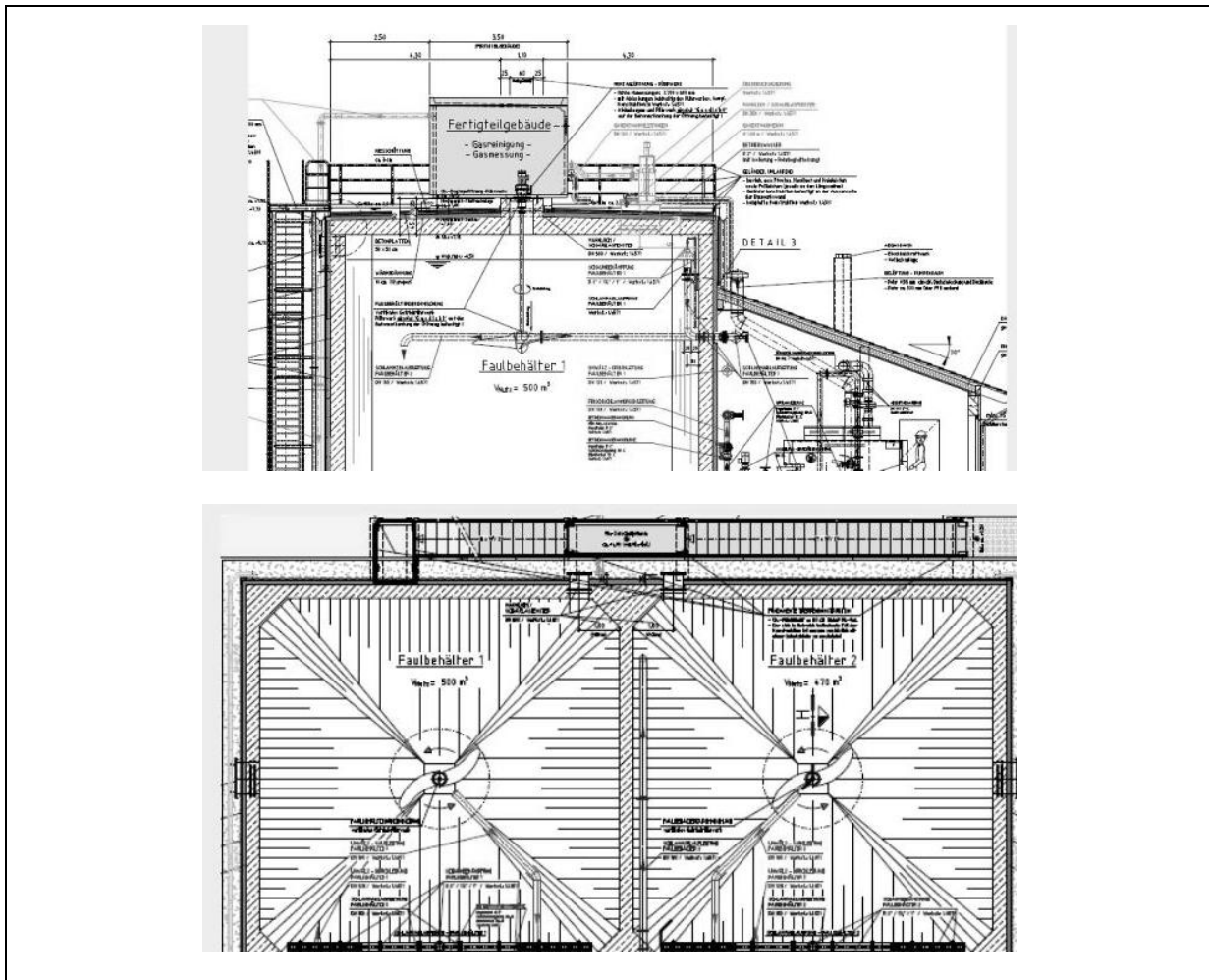


Abb. 8: Grundriss und Schnitt eines 2-stufigen Kompaktfaulbehälters

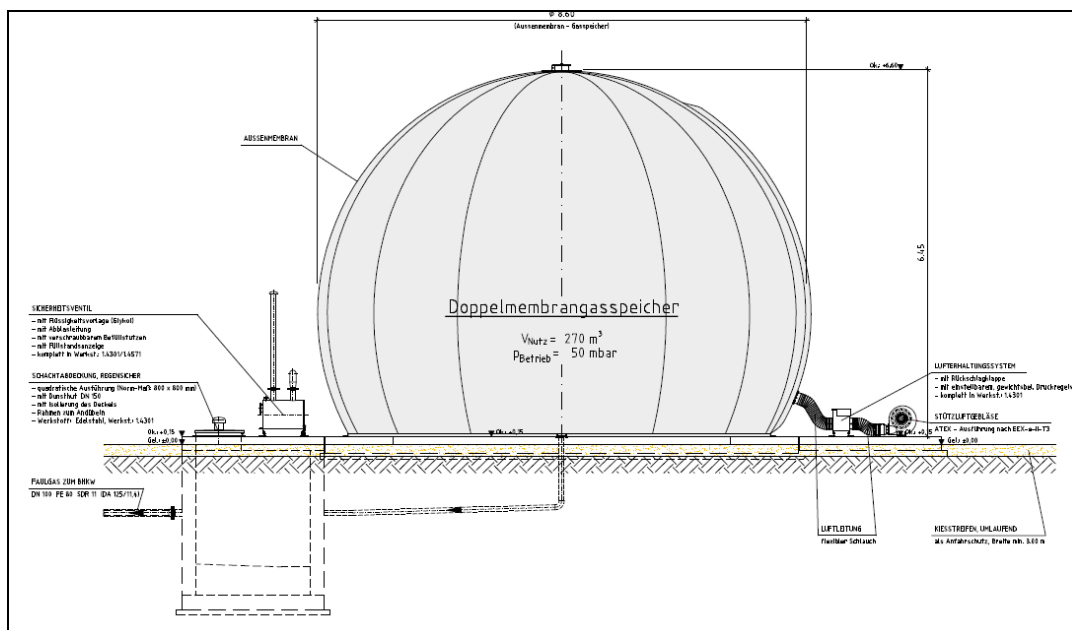


Abb. 9: Doppelmembrangasspeicher

## 5. WIRTSCHAFTLICHKEIT

Ob die Umrüstung einer bestehenden aeroben Simultanstabilisierungsanlage auf Faulung wirtschaftlich realisierbar ist, hängt neben der kostenoptimierten Ausführung der Faulbehälteranlage maßgebend von den Rahmenbedingungen auf der Kläranlage selbst an. Neben der Ausbaugröße der Anlage stehen folgende Aspekte im Vordergrund:

- Implementierung einer Vorklärung in den Verfahrensablauf der Abwasserreinigung
- Anpassung der Schlammbelastung an das veränderte Verfahrensziel

Während die Vorklärung im Hinblick auf die spätere Faulgasverstromung zur Erzeugung eines energiereichen Primärschlammes aus wirtschaftlichen Gründen quasi unabdingbar ist, kann die Anpassung an die Schlammbelastung bzw. das einzuhaltende Schlammalter relativ einfach durch eine Reduzierung der Biomasse im Belebungsbecken erfolgen, wobei jedoch ein TS-Gehalt von weniger als 2 g/l nicht empfohlen wird.

Besser ist es jedoch, das Belebungsvolumen zu verkleinern, um hierdurch auch den Energieverbrauch für die Umwälzung und Durchmischung zu reduzieren. Bei 2-straßigen Anlagensystemen ist dies durch Außerbetriebnahme eines Beckens im Allgemeinen relativ einfach zu realisieren. Bei einstraßigen Belebungsbecken sind die Möglichkeiten individuell zu prüfen.

Die Gesamtwirtschaftlichkeit wird neben den aufzuwendenden Investitionskosten im Wesentlichen durch die nachfolgenden Faktoren beeinflusst, die für beide Verfahren vergleichend gegenübergestellt werden.

Faktor	Aerobe Stabilisierung	Faulung
Energiekosten	höher	niedriger
Eigenstromerzeugung	nein	ja
Personalkosten	niedriger	höher
Abbau org. Substanz	niedriger	höher
Entwässerbarkeit	schlechter	besser
Rest-Schlammengen	höher	niedriger
Kläranlagenrückbelastung	niedriger	höher
Wartungskosten	niedriger	höher

Die Wirtschaftlichkeit einer Umrüstungsmaßnahme wird nachfolgend am Beispiel der Kläranlage Linz-Unkel (30.000 EW) dargestellt:

a) Investitionskosten (lt. Kostenberechnung der Entwurfsplanung):

- Bau	:	900.000,00 €
- Ausrüstung	:	750.000,00 €
- EMSR-Technik	:	120.000,00 €

*Anmerkung:*

*Die Kosten verstehen sich incl. Mehrwertsteuer und Baunebenkosten und beinhalten die Umrüstung eines best. Beckens zu einem Vorklärbecken, den Bau eines Primärschlammumpferks sowie die Verstromung des anfallenden Faulgases über ein BHKW.*

b) Kapitalkosten

Zinsen (im Mittel)	:	rd. 40.000,00 €/a (Laufzeit 25 a; 4,5 %)
Abschreibungen	:	
- Bau (35 Jahre)	:	rd. 25.700,00 €/a
- Ausrüstung (15 Jahre)	:	rd. 58.000,00 €/a
<b>Summe</b>	:	<b>123.700,00 €/a</b>

## c) Betriebskosteneinsparung

Minderkosten

- durch Stromeinsparung bzw. Stromgewinn : 69.000,00 €/a
- durch Einsparung von Konditionierungsmitteln : 25.800,00 €/a  
bei der Schlammwässerung  
(Kalk und Eisen bei Kammerfilterpresse)
- bei der Klärschlamm Entsorgung : 63.000,00 €/a

Mehrkosten

- für Wartung und Instandhaltung : 15.000,00 €/a
- für Personal : 7.500,00 €/a

---

Summe : 135.300,00 €/a

Die Aufstellung zeigt, dass sich die aufzuwendenden Kapitalkosten ohne staatliche Fördergelder durch die Einsparungen bei den Betriebskosten erwirtschaften lassen. Zukünftig zu erwartende Strompreiserhöhungen sowie ein Anstieg der Klärschlamm Entsorgungskosten sprechen zusätzlich für die Umrüstung der bestehenden Stabilisierungsanlage auf Faulung.

**6. SCHLUSSBETRACHTUNG**

Stetig steigende Energiekosten erfordern eine konsequente Nutzung der im Abwasser bzw. Klärschlamm enthaltenen Energie. Zielsetzung muss es sein, nicht jede einzelne Verfahrensstufe, sondern die Gesamtanlage in Bezug auf Reinigungsleistung, Betriebssicherheit und Energieeinsatz / -verwertung zu optimieren.

Aus heutiger Sicht sollten Betreiber von Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von 10.000 EW grundsätzlich den wirtschaftlichen Einsatz einer Faulung überprüfen.

**Ziel:**

Energieautarke Kläranlage bzw. Kläranlage als Energieproduzent.

**Literaturverzeichnis**

- ATV-DVWK-M 368 "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm", Hennef, 2004
- Denkert, Ralf; "Eindickung, Entwässerung und Trocknung von Klärschlamm", DWA Wasserwirtschafts-Kurse M/4, Kassel, Oktober 2007
- Meyer, H., Biebersdorf, N.; "Schlammfäulung oder simultane aerobe Stabilisierung", GWA-Band 146, Aachen, 1995

**Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Ing. Jürgen Jakob  
Dr.-Ing. Klaus Siekmann  
Ingenieurgesellschaft  
Dr. Siekmann + Partner mbH  
Segbachstraße 9  
56743 Thür