

# Energieoptimierung auf Kläranlagen

## Optimisation énergétique des stations d'épuration

Les stations d'épuration ont pour mission première d'épurer les eaux usées et de sauvegarder ainsi la qualité des eaux naturelles. Mais leur bilan énergétique doit être repensé: hausse des prix de l'énergie, interdiction de l'épandage des boues d'épuration, encouragement de la conversion des gaz d'épuration en énergies renouvelables sont autant de motifs allant dans ce sens. Bien souvent, il suffit déjà de moderniser une centrale de cogénération pour réaliser une importante plus-value, tant au niveau écologique qu'économique. Mais aujourd'hui, les grandes STEP disposent aussi des nouvelles technologies, p. ex. l'épuration des gaz de digestion et leur injection dans le réseau de gaz naturel. Il s'agit de passer en revue les autres possibilités d'optimisation pour encourager les exploitants de STEP à considérer le «système énergétique STEP» dans sa globalité. Le nouveau manuel «Énergie dans les STEP» édité par le VSA propose une aide précieuse aux praticiens.

## Energy Optimisation at Sewage Treatment Plants

The primary function of a sewage treatment plant is the environmental cleaning of incoming sewage. Rising energy prices, the prohibition of agricultural use of the sewage sludge or the promotion of renewable energy from sewage treatment gas require rethinking regarding energy use at sewage treatment plants. In many cases, major ecological and economic added value can already be achieved with the modernisation of the block heating power plant (BHPP). Today, there are also new technologies available, for example sewage treatment gas processing and feeding it into the natural gas network with large flue gas treatment systems. This article lists additional optimisation possibilities, which are intended to motivate the flue gas treatment system operator to view the «sewage treatment plant energy system» in a comprehensive way. In addition, the new Energy in Flue Gas Treatment Systems handbook by VSA provides valuable technical principles.

Gian Andri Levy



**Die primäre Funktion einer Kläranlage ist die umweltgerechte Reinigung des anfallenden Abwassers. Steigende Energiepreise, das Verbot der landwirtschaftlichen Nutzung des Klärschlammes oder die Förderung von erneuerbarem Strom aus Klärgas fordern ein Überdenken der Energienutzung auf Kläranlagen. Vielfach kann bereits mit der Modernisierung des Blockheizkraftwerkes (BHKW) ein grosser ökologischer und ökonomischer Mehrwert erreicht werden. Mit der Klärgasaufbereitung und -einspeisung ins Erdgasnetz bei grossen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) stehen heute neue Technologien zur Verfügung. Dieser Artikel listet weitere Optimierungsmöglichkeiten auf, die den ARA-Betreiber motivieren sollen, das «Energiesystem Kläranlage» ganzheitlich zu betrachten. Das neue Handbuch *Energie in ARA* des VSA bietet dazu wertvolle Fachgrundlagen.**

## 1. Modellkläranlage

Als Ausgangslage für diesen Artikel dient ein in der Schweiz vielerorts anzutreffendes Verfahrensschema zur Abwasser- und Schlammbehandlung: Das anfallende Abwasser durchläuft zuerst die mechanische Stufe mit Vorklärung und wird anschliessend in der Belebtschlammbiologie gereinigt. Schlamm aus der Vorklärung und Überschussschlamm aus der Biologie werden eingedickt, gefault, entwässert und extern verbrannt. Das in der Faulung gewonnene Klärgas wird vor Ort in einem BHKW

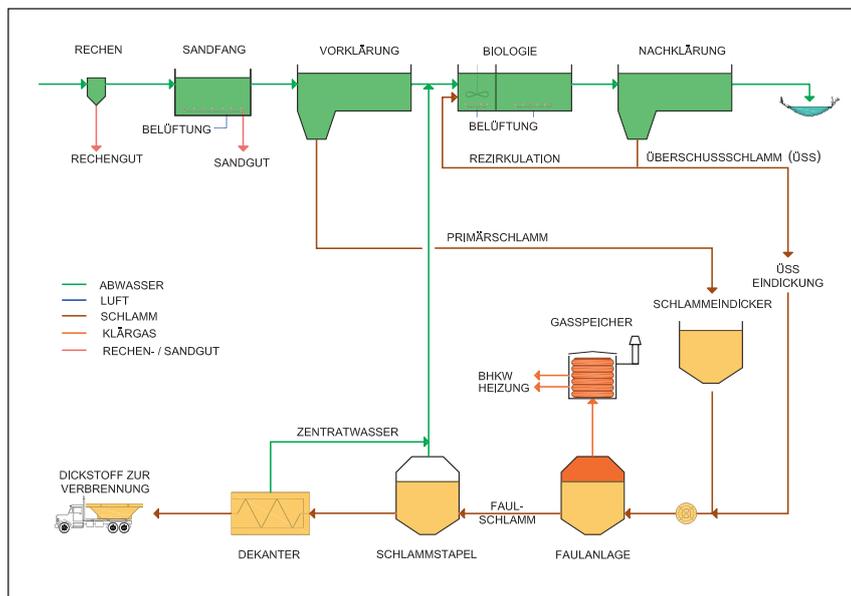


Abb. 1 Schema der Modellkläranlage.

verwertet und zur Produktion von erneuerbarem Strom bei gleichzeitiger Abdeckung des Wärmebedarfes des Faulturmes genutzt. Auf der Modellanlage wird keine Schlamm-trocknung betrieben. Das Schema ist in *Abbildung 1* dargestellt.

**2. Randbedingungen**

Neue Gesetze, veränderte Marktsituationen und technische Entwicklungen eröffneten in den letzten

Jahren neue Wege in der Energienutzung auf Kläranlagen oder machten bisher angewandte Verfahren überflüssig. Eine Auswahl der wichtigsten Neuerungen ist im Folgenden aufgelistet:

- Seit Oktober 2006 muss Klärschlamm in der Schweiz *thermisch verwertet* werden. Eine Schlammhygienisierung für landwirtschaftliche Nutzung wird folglich nicht mehr vorgeschrieben. Das Be-

triebsregime des Schlammabzuges und der Schlammfäulung wird dadurch flexibler. Die Wärme für die Faulraumtemperierung kann auf tieferem Temperaturniveau bereitgestellt werden, wodurch auch der Einsatz von Wärmepumpen mit Wärme aus gereinigtem Abwasser möglich wird.

- Mit Inkrafttreten der *kostendeckenden Einspeisungsvergütung (KEV)* [2] hat die Produktion von Strom aus Klärgas (oder auch das Verbrennen von Klärschlamm auf der KVA) stark an Attraktivität gewonnen. So besteht auf zahlreichen Kläranlagen die Möglichkeit, alleine durch das Ersetzen eines alten BHKW, den elektrischen Wirkungsgrad ausreichend zu steigern, um die Bedingungen einer Einspeisung nach KEV zu erfüllen.
- In einem ähnlichen Kontext können die *steigenden Energiepreise* (*Abb. 2*) gesehen werden: Die Erdölpreise haben sich in den letzten Jahren mehr als verdreifacht, sind aber im letzten halben Jahr angesichts der Wirtschaftskrise wieder drastisch gesunken. Die begrenzten Ressourcen und die weiter steigende Nachfrage lassen annehmen, dass die Erdölpreise längerfristig weiter ansteigen werden. Auch beim Strompreis sind ähnliche Tendenzen zu erkennen. Angesicht der zunehmenden Preise, aber auch wegen der Versorgungssicherheit ist es für die Betreiber ratsam, bereits heute die energetische Situation ihrer Anlage hinsichtlich einer optimalen Nutzung des Klärgases sowie hinsichtlich von Energieeffizienzmassnahmen zu überprüfen. Investitionen in die energetische Optimierung werden mit den höheren Energiepreisen schneller amortisiert.

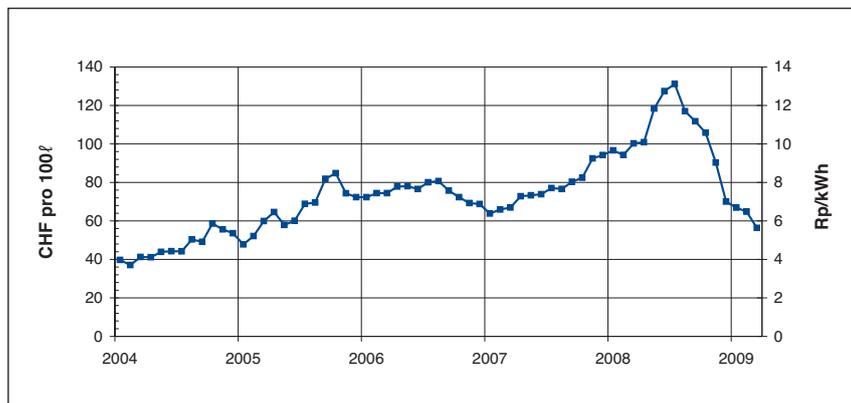


Abb. 2 Durchschnittspreis für Heizöl für Lieferungen grösser 20 000 Liter (1 l Heizöl enthält 10 kWh Energie. (Quelle: BFS [1])

Auch das allgemeine Bewusstsein bezüglich Energiefragen ist heute viel differenzierter und deshalb nicht ausser Acht zu lassen. Gerade bei der Finanzierung von Anlagen durch die öffentliche Hand, wie dies bei den meisten ARA der Fall ist, gewinnt der Faktor Energie als Entscheidungskriterium bei Investitionen an Bedeutung. Die technischen Entwicklungen helfen nun, die Prozessketten an die neuen Randbedingungen anzupassen oder erweitern gar die bisherigen Möglichkeiten. Die Vielfalt der neuen technischen und betrieblichen Optionen werden im Folgenden weiter vorgestellt.

### 3. Energieoptimierungen

Die vielfältigen Möglichkeiten der Energieoptimierung lassen sich wie folgt gliedern:

- ARA-interne Klärgasverwertung (bisherige Standardvariante)
- ARA-externe Klärgasverwertung
- Optionen für die Wärmebereitstellung auf Kläranlagen
- Steigerung der Klärgasproduktion
- Energieeffizienzmassnahmen

#### 3.1 Interne Klärgasverwertung

ARA-interne Verwertung bedeutet, dass sich BHKW und Klärgasbrenner wie bei der beschriebenen Modellkläranlage direkt auf dem ARA-Standort befinden. Strom kann intern verwendet oder – bei höheren Preisen – entweder mit der kostendeckenden Einspeisevergütung ans Netz oder als Ökostrom Dritten verkauft werden. Aber auch allfällige Überschussabwärme aus dem BHKW kann verkauft werden, wenn sich in der Umgebung potenzielle Abnehmer finden lassen.

#### Verwertung mittels BHKW

In einem BHKW werden Strom und Wärme aus der Faulgasverbrennung gewonnen. Die *Gesamtwirkungsgrade* solcher Anlagen liegen meist zwischen 85 und 90%. Die technischen Entwicklungen erlauben den elektrischen Wirkungsgrad laufend zu erhöhen, demgegenüber sinkt der thermische Wirkungsgrad. Diese Entwicklung ist von Vorteil, da der produzierte Strom teurer ist als Wärme. Dies gilt insbesondere seit der Einführung der KEV. Ferner kann die elektrische Energie jederzeit problemlos ans Netz abgegeben werden, während im Gegenzug bei der Wärmeverwertung – insbesondere im Sommer – ARA-intern ein Überschuss anfällt. Es ist daher erwünscht, dass sich der elektrische auf Kosten des thermischen Wirkungsgrades weiter erhöht. Wie *Abbildung 3* zeigt, spielt dabei die Grösse des BHKW eine nicht unwesentliche Rolle. Mit grösseren Aggregaten kann mehr elektrische Energie gewonnen werden, kleinere Anlagen produzieren anteilmässig mehr Wärme.

BHKW erreichen heute elektrische Wirkungsgrade von über 30%, bei grossen Einheiten in Kläranlagen ab 50 000 bis 100 000 Einwohnerwerten (EW) sogar Wirkungsgrade gegen 40%. Gasturbinen haben bezüglich Unterhalt und Emissionen gegenüber BHKW gewisse Vorteile, die Wirkungsgrade sind aber noch deutlich tiefer. Bei der Beurteilung des gesamten Wirkungsgrades muss berücksichtigt werden, dass Strom eine höhere Wertigkeit aufweist als Wärme.

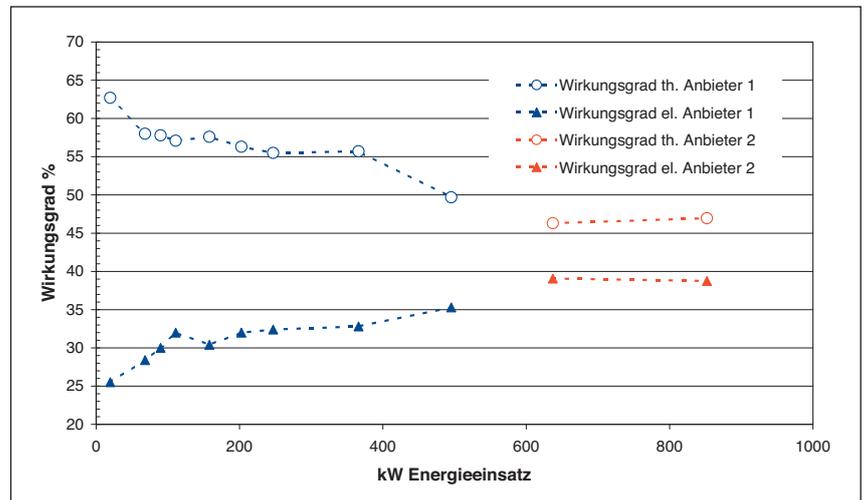


Abb. 3 Elektrische und thermische Wirkungsgrade von verschiedenen BHKW-Systemen bis 1000 kW Energieeinsatz. (Quelle: Werksangaben der Hersteller)

Gemessen an der Primärenergie liegt der Faktor für Strom in der Schweiz bei 2,9 und für Brennstoffe bei 1,1. Dies spiegelt sich auch bei den Energiepreisen wider. Deshalb und weil auch bei tieferen thermischen Wirkungsgraden meist noch ausreichend Abwärme für den gesamten Wärmebedarf der ARA vorhanden ist, müssen BHKW mit möglichst hohen elektrischen Wirkungsgraden ausgewählt werden.

Die Betriebsdaten einer Kläranlage (70 000 EW) zeigen, dass die mit dem BHKW produzierte Wärme für die Schlammwärmerzeugung, die Abstrahlung des Faulturms und die Gebäudeheizung meist ausreicht und im Sommer mit einer beträchtlichen Überproduktion zu rechnen ist (*Abb. 4*). Die Notkühlung des BHKW kann vermieden werden, wenn Abnehmer mit ganzjährigem Wärmebedarf gefunden werden

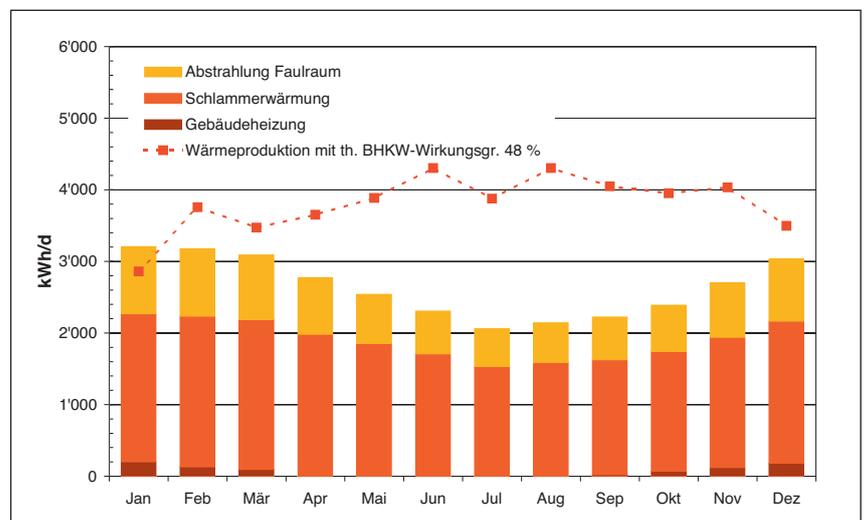


Abb. 4 Wärmebedarf und -produktion einer Kläranlage. Wärmeproduktion durch Klärgasverwertung in einem BHKW mit einem thermischen Wirkungsgrad von 48%. (Quelle: Betriebsdaten einer ARA mit 70 000 EW)

können (Ansiedlung von Gewächshäusern etc.). In diesem Fall kann die verkaufbare Wärmemenge mit der Schlammendickung und mit einer guten Wärmedämmung des Faulraumes noch gesteigert werden.

### Verbrennung im Heizkessel

Bei reiner BHKW-Verwertung des Klärgases kann an einzelnen Tagen im Winter ein Wärmedefizit entstehen. An diesen Tagen kann ein Teil des Klärgases über einen Gasbrenner zur Spitzendeckung verwertet werden. Auf vielen Kläranlagen bestehen die dazu nötigen Installationen. Aus energetischen, aber auch aus finanziellen Aspekten ist es wirtschaftlicher, sämtliches Klärgas im BHKW zu verwerten und das Wärmedefizit notfalls durch den Einsatz von Fremdenergie zu decken. Welche Möglichkeiten ARA-intern zur Verfügung stehen, um ein solches Defizit zu verkleinern, wird im *Kapitel 3.3* aufgezeigt. Zudem besteht die Möglichkeit, den Wärmeverbrauch durch Sparmassnahmen zu senken. Abschliessend lässt sich sagen, dass der alleinige Einsatz eines Heizkessels zur Gasverwertung energetisch nicht sinnvoll ist. Selbst bei kleinen Kläranlagen ist zu prüfen, ob die Installation eines BHKW wirtschaftlich vertretbar ist, denn die maximale KEV-Vergütung beträgt 30 Rp./kWh.

### 3.2 Externe Klärgasnutzung

Zur ARA-externen Klärgasnutzung stehen zwei *Verfahrenswege* offen:

#### Unaufbereitetes Klärgas

Das auf der ARA produzierte Klärgas wird unaufbereitet an einen externen Abnehmer geliefert. Diese Variante kann energetisch sinnvoll sein, wenn das Klärgas ebenfalls hochwertig in einem BHKW verwertet und mehr Abwärme vom BHKW, insbesondere auch im Sommer, ge-

nutzt werden kann. Dadurch wird eine allfällige Überproduktion auf der Kläranlage umgangen, und der Industriebetrieb erzielt mit deren Nutzung eine entsprechende Einsparung bei der herkömmlichen Wärmebereitstellung.

Ein Beispiel ist die ARA Röti in Neuhausen/Schaffhausen. Sie betreibt eine Faulung und liefert das Klärgas an ein Medizinalunternehmen, das es vor Ort in einem Gasometer speichert und daraus ein BHKW beschickt. Vorteilhaft gegenüber einer ARA-internen Nutzung ist hier, dass der Industriebetrieb auch im Sommer sehr viel Wärme verbraucht und deshalb die gesamte BHKW-Abwärme genutzt werden kann. Wärme auf einem Temperaturniveau von 80 °C/60 °C wird über eine Fernleitung an die ARA zurück geliefert. Mit diesem Regime wird die produzierte Wärme zuverlässig ganzjährig genutzt.

#### Einspeisung ins Erdgasnetz

Eine weitere externe Nutzungsart des Klärgases ist die Einspeisung ins Erdgasnetz. Klärgas enthält ungefähr 35–40% CO<sub>2</sub>. Die Einspeiseanforderungen für das Erdgasnetz verlangen aber unter anderem einen Methananteil von grösser als 96%. Das Klärgas muss folglich durch CO<sub>2</sub>- und Wasserdampfabtrennung aufbereitet werden, was mit Methanverlusten und einem Energieaufwand für die Aufbereitung verbunden ist. Die Aufbereitung ist eine junge Technologie, welche sich langsam am Markt zu etablieren versucht. Aktuelle Beispiele (ARA Region Bern, ARA Meilen) zeigen, dass die Technik beherrschbar ist und die Anforderungen an die Gasqualität erfüllt werden können. Eine Klärgasaufbereitung und Einspeisung ist heute allerdings erst ab 50–100 Nm<sup>3</sup>/h wirtschaftlich, also erst bei grossen Kläranlagen mit mehr als 500 000 m<sup>3</sup> Klärgas pro Jahr oder vergleichsweise ab etwa 50 000 bis 100 000 EW.

Bei der Aufbereitung gilt ein besonderes Augenmerk dem *Methanschlupf* (Emission von Methan mit den abgetrennten Restgasen). Das Treibhauspotenzial von Methan beträgt gemäss der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) [3] auf einen Zeithorizont von 100 Jahren das 21-fache von CO<sub>2</sub>. Bereits ein Methanschlupf von wenigen Prozenten verursacht so einen grösseren Treibhauseffekt als das durch die gesamte Klärgasverwertung eingesparte CO<sub>2</sub>. Ein Methanschlupf von unter einem Prozent muss also das Ziel sein. Grundsätzlich ist die Nutzung des Klärgases auf der ARA zur Stromproduktion und Wärmenutzung sehr sinnvoll. Kann die Abwärme aus dem BHKW – wie am Beispiel der ARA in Luzern [4] – nicht genutzt werden, so ist die Einspeisung ins Erdgasnetz als Alternative zu prüfen. Dank der Befreiung von der Mineralölsteuer wurde auch ein interessanter finanzieller Anreiz zur Einspeisung ins Erdgasnetz und Verwendung als Treibstoff geschaffen. Ein einschneidender Nebeneffekt bei ausschliesslicher Gaseinspeisung ist, dass Klärgas als Wärmequelle für Faulung und Gebäudeheizung vollständig wegfällt. Die Kläranlage muss nun die betriebsintern benötigte Wärme anderweitig generieren.

### 3.3 Wärmebereitstellung

Im Normalfall besteht auf einer Kläranlage kein nennenswertes Wärmedefizit bzw. nur an wenigen kalten Tagen. In Ausnahmefällen oder wenn z. B. das Faulgas ARA-extern verkauft wird, sind bei einem grösseren Wärmedefizit verschiedene Möglichkeiten zu prüfen, Wärme aus ARA-internen Prozessen zu gewinnen. Begünstigt wird die *Wärmerückgewinnung* (WRG) vor allem durch das tiefe Temperaturniveau von 50–55 °C im Vorlauf, welches für den Betrieb der Faulung und Gebäudeheizung ausreichend ist.

#### Abwärme aus Abwasser

Abwasser fliesst ständig nach und weist eine Temperatur von 10–18 °C auf. Statt diese Wärme in den Vorfluter zu leiten, kann sie mit einer Wärmepumpe dem Abwasser entzogen werden. Dank der relativ hohen Abwassertemperaturen arbeiten die Wärmepumpen mit der Wärmequelle Abwasser sehr effizient; sie können mit einer Energieeinheit an Strom vier Wärmeeinheiten und mehr bereitstellen (Jahresarbeitszahl = 4). Erfolgt die WRG erst im Ablauf der ARA, so hat dies keinen Einfluss auf die Belebtschlammbiologie. Zudem ist die Biofilmbildung auf den Wärmetauschern bei

tiefen GUS<sup>1</sup>-Werten im gereinigten Abwasser kleiner, als wenn die Wärmeentnahme im Kanalnetz erfolgt. In den Kläranlagen Mellingen, Werdhölzli, Wohlen AG, Bern, Birs, Rheinfelden etc. sind solche Anlagen mit Abwärmenutzung aus gereinigtem Abwasser in Betrieb.

### Abwärme aus Faulschlamm

Die Schlammfäulung ist der grösste Wärmekonsument auf einer Kläranlage (ohne Schlamm-trocknung). Eine naheliegende Wärmequelle ist der Faulschlamm selbst, welcher den Faul-turm mit einer fast konstanten Temperatur von 35–39 °C verlässt. Die Energie kann über einen *Schlamm-Schlamm-Wärmetauscher* vom Faul- in den Frischschlamm übertragen werden. Da das Temperaturgefälle im Winter höher ist als im Sommer, arbeitet das System in der kalten Jahreszeit effizienter. Im Jahresmittel kann bis zu einem Drittel des Wärmebedarfes für die Fäulung zurückgewonnen werden. Technisch und betrieblich stellt der Schlamm-Schlamm-Wärmetauscher allerdings eine Herausforderung dar, da beide Medien sehr dickfüssig sind. Entsprechende Wärmetauscher und Reinigungssysteme sind sorgfältig zu planen.

Der Faulraum selbst kann im langfristigen Wärmeregime einer Kläranlage durchaus als Wärmespeicher betrachtet werden. Aufbauend auf einer üblichen Verweilzeit des Schlammes im Faulraum von rund 20 Tagen können die Frischschlammwärme und die Wärmebereitstellung für die Schlammheizung unabhängig voneinander in vernünftigen Variationen über den Tag verteilt werden. Der Faulraum kann somit durchaus als Wärme-Puffer aktiv genutzt werden, indem das Beschickungsregime für Frischschlamm und die Wärmebereitstellung innerhalb der Toleranzen der Fäulung entkoppelt werden. Rechenbeispiele zeigen, dass die mittlere Temperatur im Faulraum dabei nur unbedeutend variiert. Die zumeist auf den Kläranlagen vorhandenen Wärmespeicher für Heizwasser dienen somit primär als Wärmepuffer für die Gebäudeheizung.

### Abwärme aus ARA-Prozessen

Neben der Abwärme aus dem Abwasser und dem Faulschlamm seien hier noch weitere *zwei Prozesse* erwähnt, aus denen Abwärme gewonnen werden kann:

Alle aeroben, biologischen Abwasserreinigungssysteme benötigen *Druckluft*. Dazu wird vor

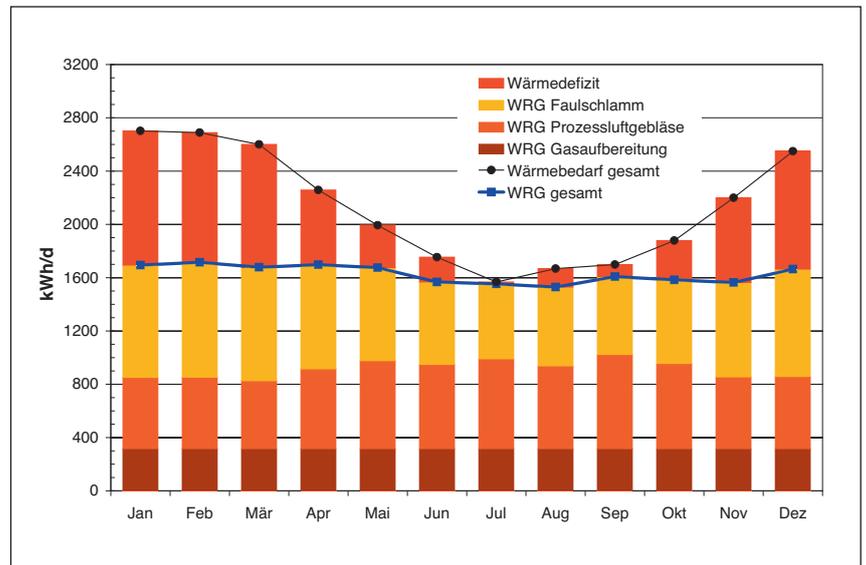


Abb. 5 Wärmebedarf und Wärmerückgewinnung (WRG) einer Kläranlage ausgelegt auf 70 000 EW, die eine Klärgaseinspeisung betreibt. (Quelle: Betriebsdaten)

Ort Umgebungsluft komprimiert und fein verteilt in die Biologie eingeblasen. Die von den Kompressoren geleistete Arbeit geht z. T. in Wärmeenergie über, welche sich in einem erheblichen Temperaturanstieg der Druckluft von 70–100 °C zeigt. Die Temperaturerhöhung ist umso grösser, je tiefer die Luft in die Belebungsbecken eingeblasen wird. Diese Wärme kann durch einen *Röhrenbündelwärmetauscher* zurückgewonnen und in den Heizkreislauf eingespeist werden.

Bei der Klärgasaufbereitung nach dem Prinzip der *Aminwäsche* wird ebenfalls Prozesswärme freigesetzt, welche bei entsprechender Planung weitgehend ins ARA-interne Heizsystem zurückgeführt werden kann. *Abbildung 5* zeigt eine Bilanz von Wärmebedarf und Wärmebereitstellung für eine Kläranlage mit 70 000 EW. Obwohl hier kein BHKW betrieben wird, kann über das ganze Jahr betrachtet ein grosser Teil (>75%) der benötigten Wärme durch Abwärmenutzung aus internen Prozessen gedeckt werden. Der restliche Bedarf kann vom Angebot her pro-

blemlos mittels Wärme aus dem Abwasser mit Wärmepumpen gedeckt oder der Bedarf durch gezielte Sparmassnahmen gesenkt werden.

### 3.4 Klärgasproduktion

Durch eine *Steigerung* der Klärgasproduktion sollen zum einen mögliche Überkapazitäten von bestehenden Infrastrukturanlagen (BHKW, Faul-turm, Gasometer etc.) besser genutzt werden, zum anderen ist es sinnvoll, möglichst viel organisches Material in Methangas umzuwandeln, da neben dem Energiegewinn zum Teil gleichzeitig eine Reduktion der Klärschlamm-sorgung erreicht werden kann.

#### Co-Vergärung (anaerober Abbau)

Bei der Co-Vergärung werden ARA-externe organische Abfälle direkt der Fäulung zugegeben. Dies ist möglich, wenn der Faulraum genügend Kapazität aufweist. Insbesondere Flüssigsubstrate können so zur Steigerung der Klärgasproduktion bei gleichzeitig geringerem Schlamm-anfall im Vergleich zur Behandlung in einer aeroben Biologie beitragen.

<sup>1</sup> GUS = Gesamte ungelöste Stoffe

Dabei ist zu beachten, dass mit stark CSB<sup>2</sup>-haltigen Substraten ein Klärgas mit höherem CO<sub>2</sub>-Anteil resultiert. Dies muss bei der Auslegung der nachgeschalteten Verbrennungsaggregate berücksichtigt werden.

Werden nicht oder schlecht abbaubare Co-Substrate in den Faulraum zugegeben, so führt dies zu einer deutlichen Erhöhung der Klärschlammproduktion. Dies kann wohl zu einer bescheidenen Steigerung des Klärgasvolumens führen. Der Gewinn fällt aber weniger ins Gewicht als die bedeutend höheren Kosten für die zusätzliche Klärschlamm Entsorgung. Daher sollen solche Co-Substrate mit Vorteil in einer eigenen Grüngutvergärung behandelt werden, nach welcher die Feststoffe als Kompost verwertet werden können. Allerdings kann es sinnvoll sein, die Grüngutvergärung und die Klärschlammfäulung am selben Standort zu realisieren, um eine gemeinsame Gasverwertung und einen grösseren Wärmeverbund betreiben zu können. Dies hat nicht nur betriebliche und personelle Vorteile, sondern dank der höheren Klärgasproduktion können auch grössere BHKW eingesetzt werden, die höhere elektrische Wirkungsgrade erreichen.

#### Leistungssteigerung der Vorklärung

Die meisten Kläranlagen in der Schweiz werden ohne Chemikalieneinsatz in der Vorklärung betrieben. Durch eine Dosierung von P-Fällungsmitteln und/oder von Flockungsmitteln kann die CSB-Eliminationsleistung der Vorklärung erhöht werden. Wird das so abgetrennte, organische Material der Faulung zugegeben, kann einerseits der Stromverbrauch durch eine Entlastung der aeroben biologischen Stufe reduziert, andererseits im Faul-

turm mehr Klärgas produziert werden. Verfügt die Anlage über eine Denitrifikation, ist auf jeden Fall zu prüfen, ob das zusätzliche Abziehen von CSB in der Vorklärung eine relevante Leistungssenkung der Denitrifikation zur Folge hat.

#### Desintegration und Zusatzstoffe

Die Desintegration und der Einsatz von biologisch wirksamen Zusatzstoffen haben zum Ziel, den Abbau von organischem Material in der Faulung zu steigern, um mehr Klärgas und weniger Schlamm produzieren zu können.

Bei der *Desintegration* wird versucht, die teilweise sehr stabilen Zelloberflächen des Überschussschlammes zu öffnen. Es stehen dazu verschiedene Verfahren zur Verfügung, die mit Prozessen wie Kavitation, thermischer Behandlung oder hohem Druck arbeiten.

Biologisch wirksame *Zusatzstoffe* werden ebenfalls zur Steigerung der Gasproduktion oder unterstützend bei Betriebsproblemen verwendet. Noch stehen zu wenig Betriebsdaten zur Verfügung, um eine verlässliche Aussage über die Wirksamkeit dieser Methoden zu machen. Eine länger dauernde Pilotierung ist bei einem geplanten Einsatz der beschriebenen Verfahren angezeigt. Wirtschaftlichkeit, Energieeinsatz und -ertrag sowie Betriebsstabilität sollten dabei detailliert mittels Massenbilanzen gegeneinander abgewogen werden.

#### Verlängerung der Faulzeit

In der Regel sind Faulräume auf eine mittlere Faulzeit von ca. 20 Tagen dimensioniert. Erfahrungen zeigen, dass der Faulprozess bei dieser Dimensionierung stabil läuft und die Organik zufriedenstellend abgebaut wird. Dennoch kann eine längere Aufenthaltszeit einen weitergehenden Abbau bzw. eine grössere Klärgasausbeute bewirken, da der Faulprozess in reduziertem Mass auch

nach 20 Tagen weiterläuft. Mit einem *weitergehenden Organikabbau* verbessern sich auch die Entwässerungseigenschaften des Klärschlammes, was die Entsorgungskosten senkt.

Folgende *vier Technologien* sind hierzu denkbar:

- *Frischschlammeindickung*  
Der Schlamm wird vor der Faulung stärker eingedickt. Die Volumenreduktion verlängert die Aufenthaltszeit entsprechend. Gleichzeitig sinkt der Wärmebedarf für die Schlamm-aufheizung. Allerdings darf nicht über 6–8% TS eingedickt werden, da darüber Hemmungen wegen zu hoher Ammoniakkonzentrationen auftreten können.
- *Vergrösserung des Faulraumvolumens*  
Viele Kläranlagen besitzen neben dem Faul-turm einen offenen Nachfaulraum und einen Stapel. Gefaulter Schlamm kann so über mehrere Monate gelagert werden. Seit Klärschlamm nicht mehr landwirtschaftlich genutzt werden darf, besteht zumeist kein Bedarf mehr für eine mehrmonatige Schlammstapelung. So kann die Stapelkapazität anderweitig genutzt werden, indem z. B. der Nachfaulraum gasdicht gemacht und in den Faulprozess als zweiter Faulraum seriell oder parallel integriert wird.
- *Vollständige Nutzung des Faulraumes*  
Bei der Dimensionierung wird der Faulraum als voll durchmischter Reaktor angenommen. Wegen Ablagerungen im unteren Trichterbereich des Faulraumes und durch ungenügende Umwälzung des Faulraumes kann sich die effektive im Vergleich zur rechnerischen Aufenthaltszeit massiv verkürzen. Bei ungeschickter Hydraulik können sich zudem Kurzschlüsse einstellen, welche die vermeintliche Aufenthaltszeit nochmals stark reduzieren. Tracerversuche einerseits und ein hoher Organik-Anteil im Ablauf andererseits helfen, Probleme mit der Umwälzung zu erkennen. Häufigere Faulraumleerungen oder der Einbau eines effizienteren Rührsystems sind mögliche Lösungen zur Verbesserung der Situation.
- *Hochlastfäulung*  
In der Hochlastfäulung wird analog zum konventionellen Belebtschlammverfahren die Flüssigphase von der Festphase getrennt, wobei die Feststoffe nach der Abtrennung wieder in den Faulraum zurückgeführt werden. Damit ist eine höhere volumenspezifische Belastung des Faulraumes möglich, da viel des – bezüglich der Ammoniakhemmung –

<sup>2</sup> CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf

kritischen Ammoniums über die Flüssigphase aus dem System abgezogen wird.

#### Ausgasung und Nachfaulung

Durch den Austrag von Faulschlamm gelangt über den Partialdruck gebundenes Methangas in den Ablauf. Bei einer Entspannung unter atmosphärischen Bedingungen wird Methan freigesetzt, welches unkontrolliert in die Umgebung entweicht. Ein systematischer Methanschleupf von ca. 0,5% ist die Folge. Mit einer Vakuumentgasung kann das Methan dem Klärschlamm effizient entzogen und über die Gasstrasse verwertet werden.

Wird der Faulschlamm vom Faulturm in einen offenen Stapel verdrängt und dabei nicht abgekühlt, so bleiben die methanerzeugenden Bakterien immer noch aktiv und bauen die vorhandene Restorganik weiter ab. Es werden somit erhebliche Mengen Methan unkontrolliert freigesetzt. Werden also nur rund 5% der verwertbaren organischen Substanz erst in der Nachfaulung abgebaut, so hat dies den gleichen Effekt auf die Treibhausgasbildung, wie das gesamte bei der Klärgasverbrennung freigesetzte CO<sub>2</sub>.

Die unerwünschte Ausgasung und Nachfaulung kann somit die Ökobilanz der Schlammfaulung und Klärgasnutzung massiv verschlechtern. Bis heute liegen zu dieser Problemstellung nur wenig gesicherte Betriebsdaten vor. Eine breit angelegte Untersuchung könnte hier Klarheit schaffen. Eine effiziente Schlammkühlung nach der Faulung, eine möglichst kurze Aufenthaltsdauer in offenen Stapeln bzw. eine rasche Entwässerung und Verbrennung des gefaulten Schlammes würde diese Problematik entschärfen.

#### 4. Fazit

Die Rahmenbedingungen für die Energienutzung auf Kläranlagen haben sich in den letzten Jahren stark verändert. Neue Verfahren und Technologien sind auf den Markt gekommen, andere wurden überflüssig. Steigende Energiepreise erhöhen das Investitionspotenzial, ener-

gieeffiziente Systeme beweisen ihre Wirtschaftlichkeit. Teilweise lösen geringe Investitionen grosse Effekte aus.

Viele Wege stehen offen, die Kläranlagen diesen Veränderungen anzupassen. Eine generell gültige Bestvariante gibt es dabei nicht. Nur mit einer standortspezifischen Untersuchung können die Möglichkeiten optimal aufgezeigt und ausgeschöpft werden. Eine ganzheitliche Betrachtung des Systems Kläranlage ist daher angezeigt. Im Handbuch *Energie in ARA* wird eine systematische Vorgehensweise für die energetische Optimierung der Kläranlagen von der Grobanalyse zur Feinanalyse und zur Umsetzung aufgezeigt. Diese Arbeitsinstrumente haben sich im In- und Ausland bewährt. Die Veränderungen sind Grund genug, auf den Kläranlagen eine Grob- oder noch besser eine Feinanalyse zu erstellen. Gegenüber der früheren Handhabung soll dabei aber die Systemgrenze von der Entstehung des Abwassers beim Verbraucher bis hin zur Lagerung der Verbrennungssasche erweitert werden, um die grossen Optimierungspotenziale auszuschöpfen. Dabei sollen auch Massnahmen zur Verminderung der Abwassermenge beim Verbraucher, über die Verminderung des Fremdwassers und den Verlusten im Kanal sowie die Nutzung des Abwassers als Energiequelle im Kanal oder nach der ARA (Abwasserwärmenutzung, Abwasserkraftwerke) heute zusätzlich betrachtet werden. EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen ([\[strukturanlagen.ch\]\(http://www.infrastrukturanlagen.ch\)\) bietet dazu neutrale kompetente Vorgehensberatungen kostenlos an. Im neuen Handbuch \*Energie in ARA\* des VSA wird die bewährte Methode von der Grob- und Feinanalyse unter diesem erweiterten Blickwinkel aufgezeigt. Ökologie, Ökonomie und Gesetzgebung sind die aktuellen Katalysatoren für eine ganzheitliche Neuorientierung des «Energiesystems Kläranlage».](http://www.infra-</a></p>
</div>
<div data-bbox=)

#### Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Statistik (2009).
- [2] Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV): Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV) Stand 1. Jan. 2009.
- [3] UNFCCC: Global warming potentials (<http://unfccc.int>).
- [4] Hunziker, P. (4005): Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz, gwa 4/05.
- [5] Müller, E. A.; Kobel, B.; Schmid, F.; Levy, G.; Moser, R. et al (2009): Handbuch Energie in ARA, Bezug Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzleute VSA, Zürich.

#### Keywords

Klärgasnutzung – Abwärmennutzung – neue Technologien – Systemgrenzen

#### Adresse der Autoren

Gian Andri Levy, dipl. Kult.-Ing. ETH  
gian.levy@holinger.com

Ivo Engeler  
ivo.engeler@holinger.com

HOLINGER AG  
Mellingerstr. 207, CH-5405 Baden  
Tel. +41 (0)56 484 85 00  
Fax +41 (0)56 484 85 45

## TALIMEX-Umwelttechnik

ISO 9001  
zertifiziert

- Störfallsysteme
- Löschwasser-Rückhaltung
- Hochwasserschutz
- Tank- und Behälterschutz
- Sicherheits-Rohrleitungen
- Abwassertechnik

Beratung, Verkauf, Installation und Service.

#### TALIMEX AG

Ifangstrasse 12a · CH-8603 Schwerzenbach/ZH  
Telefon 044 806 22 60 · Fax 044 806 22 70  
[www.talimex.ch](http://www.talimex.ch) · [info@talimex.ch](mailto:info@talimex.ch)

#### Filialen in:

Dulliken/SO · Cugy/VD · Visp/VS · Riazzino/TI