

Möglichkeiten zur Energieeinsparung in der Abwassertechnik

Andreas Baumann und Marcus Lopp
Weimar

1 Einführung

Für die Abwasser- und Schlammbehandlung in technischen Kläranlagen wird heute, abhängig von Anschlussgröße und Reinigungsverfahren, je Einwohner und Jahr zwischen 20 und 60 kWh elektrische Energie eingesetzt. Damit sind Kläranlagen nennenswerte Großverbraucher, die etwa ein Fünftel der gesamten Elektrizität der öffentlichen Gebäude und Anlagen einer Kommune benötigen /1/.

Größter Stromverbraucher innerhalb einer Kläranlage (mit Belebtschlammverfahren) ist mit einem Anteil von 50 bis 80 % das Belüftungssystem der biologischen Reinigungsstufe.

Der Bedarf an thermischer Energie ist von der Art der Schlammbehandlung abhängig und kann bei Anlagen mit Schlammfäulung durch das anfallende Faulgas fast zu 100 % abgedeckt werden.

Anlagen ohne Schlammfäulung müssen ihren Wärmebedarf dagegen normalerweise vollständig über externe Energieträger abdecken.

Die Kosten für Elektrizität, Heizöl und Heizgase sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen und machen zusammen zwischen 15 und 20 % der Betriebskosten einer Kläranlage aus. Eine aktuelle Anfrage bei verschiedenen Kläranlagen in Thüringen ergab für den Zeitraum 1999 bis 2007 einen Anstieg der Elektrizitätskosten um 30 bis 100 %. Es ist zu erwarten, dass auf Grund zunehmender Ressourcenverknappung sowie energie- und umweltpolitischer Abgaben auch in den nächsten Jahren die Energiekosten weiter ansteigen.

Der sparsame und effiziente Umgang mit Energie ist jedoch nicht allein aus wirtschaftlichen, sondern auch aus ökologischen Gründen geboten. Die Verbrennung fossiler Primärenergieträger zur Stromerzeugung und zur Bereitstellung von Nutzwärme trägt in hohem Maße zur Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes und damit zur globalen Erwärmung bei. Als Teil des Umweltschutzsektors steht die Abwasserbranche in der Pflicht, die Entlastung unserer Gewässer mit möglichst geringen Sekundärbelastungen in anderen Umweltbereichen zu realisieren.

Die Abwassertechnik verbraucht einerseits große Mengen an Energie, andererseits steht mit dem zu behandelnden Abwasser zugleich eine regenerative Energiequelle zur Verfügung.

Allein die organischen Abwasserinhaltsstoffe eines typischen kommunalen Abwassers mit einer spezifischen CSB-Fracht von 120 g/(EW*d) verfügen theoretisch über ein chemisches Energiepotenzial von ca. 175 kWh je Einwohner und Jahr /3/, von dem heute unter optimalen Bedingungen ca. 50 kWh genutzt werden. Darüber hinaus enthält das im Jahresgang zwischen 10 °C und 20 °C warme Abwasser eine beträchtliche Wärmemenge, deren thermisches Energiepotential durch den Einsatz von Wärmepumpen für die Gebäudeheizung und die Warmwasserbereitung innerhalb und außerhalb der Kläranlagen genutzt werden kann.

Der vorliegende Beitrag soll einen Überblick über Möglichkeiten zur Energieeinsparung in der Abwassertechnik und zur Nutzung des Energiepotenzials im Abwasser geben.

2 Energieeinsparung

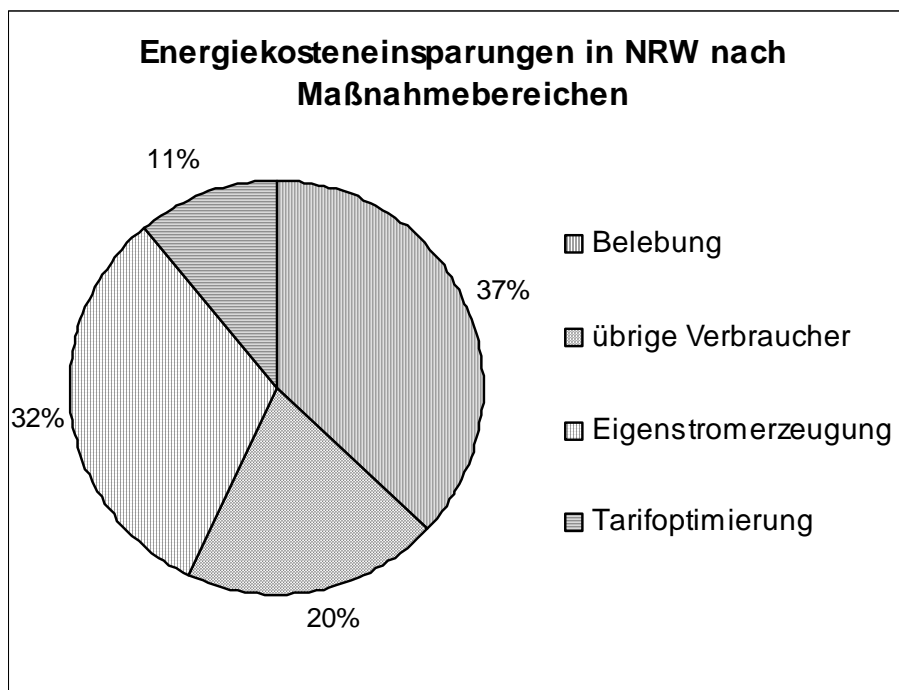
Untersuchungen zum Energieverbrauch von Kläranlagen /1/, /2/, /3/ haben bei vergleichbaren Reinigungsanforderungen und Anschlussgrößen deutliche Unterschiede im Energieverbrauch aufgezeigt, die nicht allein mit topographischen oder anderen Besonderheiten zu begründen sind. Der Vergleich mit Richtwerten für den spezifischen Energieverbrauch ergab, dass die meisten Kläranlagen über größere Einsparpotenziale verfügen.

Durch systematische Energieanalysen können Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs aufgezeigt und ihre Wirtschaftlichkeit überprüft werden. Zur fachlichen Unterstützung dieser Untersuchungen stehen Betreibern und externen Beratern u.a. die Handbücher „Energie in Kläranlagen“ und „Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen“ zur Verfügung. An Hand von Richt- bzw. Zielwerten für den spezifischen Energieverbrauch kann man mit wenig Aufwand im Rahmen einer ersten Grobanalyse die energetische Situation einer Anlage beurteilen. Werden die empfohlenen Richtwerte überschritten, können in einer Feinanalyse konkrete Maßnahmen zur Energieeinsparung erarbeitet, wirtschaftlich bewertet und ein Maßnahmenplan erstellt werden.

In Nordrhein-Westfalen wurden seit Mitte der 90er Jahren in über 150 Kläranlagen mit mehr als 18 Mio. Einwohnerwerten (Ausbaugröße) Energieanalysen durchgeführt. Bei allen untersuchten Kläranlagen konnten größere Einsparpotenziale aufgedeckt werden.

Eine Auswertung des MULNV /4/ von 85 Feinanalysen zeigt, dass der Strombezug der untersuchten Kläranlagen im Mittel um 37% und die Energiekosten um 42% verringert werden können. Das größte Einsparpotenzial wurde erwartungsgemäß für den Bereich der Belebung ermittelt. In **Abbildung-1** sind die Anteile einzelner Maßnahmebereiche an den erwarteten Energiekosteneinsparungen dargestellt.

Abbildung-1: Energiekosteneinsparungen nach Maßnahmebereichen in NRW



Die positiven Ergebnisse der in NRW durchgeführten Energieanalysen sollten zum Anlass genommen werden, auch in den Neuen Bundesländern durch gezielte Förderung vermehrt Energieanalysen in Kläranlagen zu veranlassen.

2.1 Verfahrensauswahl

Bereits mit der Auswahl der Verfahrenstechnik zur Abwasser- und Schlammbehandlung wird der zukünftige Energieverbrauch einer Kläranlage maßgeblich beeinflusst. Im Vergleich mit den weit verbreiteten Belebtschlammanlagen haben Tropf- und Tauchkörperanlagen einen deutlich geringeren Energieverbrauch /2/, /3/.

Nachdem die großen und mittleren Kläranlagen bereits gebaut bzw. ertüchtigt wurden, steht in den nächsten Jahren noch der Neubau von Anlagen der Größenklasse 2 (Ausbaugröße 1.000 – 5.000 EW) an.

Im Rahmen der Vorplanungen sollte die Eignung der energetisch vorteilhaften Tropf- und Tauchkörperverfahren, unter Beachtung der Anforderungen an die Schlammbehandlung, geprüft werden.

Im Bereich der Schlammbehandlung besteht mit der anaeroben Stabilisierung die Möglichkeit, ein Teil des im Abwasser enthaltenen Energiepotenzial nutzbar zu machen (s.a. Kapitel 3).

Die Frage, ab welcher Ausbaugröße Faulungsanlagen wirtschaftlich betrieben werden können, ist seit Jahren Gegenstand verschiedenster Untersuchungen. Bei Ansatz aktueller Energiekosten dürfte die Wirtschaftlichkeitsgrenze heute deutlich unterhalb der häufig genannten Grenze von 50.000 Einwohnerwerten liegen. Belastbare Aussagen kann aber nur eine detaillierte Untersuchung jedes Einzelfalles liefern, welche die standortspezifischen Randbedingungen und die Entsorgungskosten für den Schlamm berücksichtigt.

Die in den 1990er Jahren in den Neuen Bundesländern errichteten simultan-aeroben Stabilisierungsanlagen mit Ausbaugrößen > 50.000 EW können aus energetischer Sicht als „Energievernichtungsanlagen“ bezeichnet werden. Bei Neubauten sowie im Zuge notwendig werdender Erweiterungen oder Sanierungen sollte bei simultan-aeroben Stabilisierungsanlagen mit Ausbaugrößen > 20.000 EW die zukünftige Verfahrensumstellung auf getrennte anaerobe Schlammstabilisierung grundsätzlich intensiv geprüft werden.

2.2 Belüftungssteuerung und Belebungsbetrieb

Einen Schwerpunkt zur Energieeinsparung bei vorhandenen Anlagen bilden verfahrenstechnische Maßnahmen, kombiniert mit Änderungen in den steuer- und regelungstechnischen Anlagen.

Sie betreffen vor allem die Regelung des Lufteintrages, die bedarfsgerechte Einstellung von Schlammalter und Feststoffgehalt in der Belebung oder die Reduzierung der Umwälzleistung in den Belebungsbecken.

2.2.1 Belüftung bei getrennter Stabilisierung

Die Sauerstoffzufuhr bei Belebungsanlagen ohne simultane Schlammstabilisierung dient ausschließlich der Veratmung organischer Substrate (exogene Atmung) und der Ammoniumoxidation.

Der zugeführte Sauerstoff wird aufgrund von Wachstumsvorteilen der heterotrophen Organismen gegenüber den Nitrifikanten zuerst durch den BSB₅-Abbau gebunden und steht erst danach der Nitrifikation zur Verfügung. Daher lässt sich der Mindestbedarf an Luftsauerstoff einfach über den Ammoniumabbau kontrollieren und regeln. Vereinfacht gesagt, ist so viel wie nötig (für NH₄-Oxidation) und so wenig wie möglich Luft einzutragen.

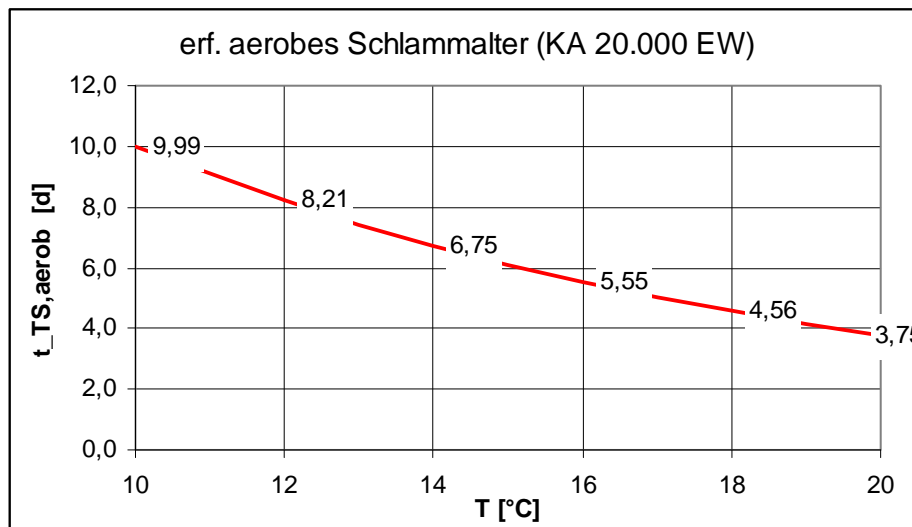
Mit Hilfe moderner Messtechnik lassen sich die eindeutig definierten verfahrenstechnischen Ziele und das Ziel der Energieminimierung in Einklang bringen. Neben automatischen NH₄-Analysatoren mit relativ genauen Analysewerten stehen auch In-Situ-Sensoren mit ausreichender Genauigkeit für die Online-Erfassung derartige Prozessparameter zur Verfügung.

In Kombination mit Online-Sauerstoffsensoren zur Erfassung der O_2 -Konzentration in belüfteten Zonen oder belüfteten Zyklen und ggf. moderner Regelprozessoren (Fuzzy-Logic oder neuronale Netze) ist eine energieoptimale Betriebsweise auch bei komplexen hydraulischen Systemen und Einflüssen möglich.

Die tatsächliche Sauerstoffzehrung ergibt sich neben der (nicht beeinflussbaren) Fracht im Zulauf auch aus dem Feststoffgehalt im Belebungsbecken (endogene Atmung).

Eine Reduzierung des Feststoffgehalts im Belebungsbecken (TS_{BB}) um 1 mg/l führt zu einer Verminderung des Sauerstoffbedarfs um ca. 10 %.

Aus energetischer Sicht ist daher eine Limitierung des Feststoffgehaltes anzustreben. Der minimale Feststoffgehalt wird durch das erforderliche Schlammalter bestimmt, das wiederum für die Bemessungstemperatur bemessen wird.



Bei nicht energieoptimierter Fahrweise führen die bei höherer Temperatur steigenden Stoffwechselraten zu einer endogenen Atmung in der Belebung, welche die Ablaufwerte nicht verbessert aber dafür (Belüftungs-) Energie kostet und die Energieausbeute in der Faulung reduziert. Daher bringt eine Anpassung des TS-Gehalts (Reduzierung der Biomasse auf das nötige Maß) im Belebungsbecken an die Temperatur-Jahresganglinie gleich zweifachen energetischen Nutzen.

2.2.2 Belüftung bei simultan-aerober Stabilisierung

Bei Anlagen mit simultan-aerober Stabilisierung wird das Schlammalter erhöht, um gezielt eine endogene Atmung und damit den Abbau von organisch gebundener Trockensubstanz zu erreichen. Der hierfür erforderliche kontinuierliche Lufteintrag ist für das Betriebsregime maßgeblich. Er wird theoretisch nur für die Denitrifikationsphasen oder -zonen eingeschränkt.

Beachtet man die empfohlenen Schlammalter von 20 d (ohne Denitrifikation) und 25 d (mit Denitrifikation), so müsste bei Bemessungstemperatur die Belüftungsanlage zur Einstellung des angestrebten O_2 -Gehalts kontinuierlich (20 d, ohne Deni) bzw. mind. zu 80 % (25 d, mit Deni) betrieben werden.

Für die Schlammstabilisierung gibt es keinen klar definierten Parameter / Grenzwert, den es einzustellen gilt (im Gegensatz zum oben beschriebenen NH_4 -Abbau).

Strebt man eine möglichst weitgehende Schlammstabilisierung an, so lautet das Ziel vereinfacht gesagt, so wenig wie möglich unbelüftete Deni-Phasen (zur Unterschreitung des NO_3^- - bzw. N_{ges} -Grenzwertes) und möglichst lange belüftete Phasen einzustellen. Diese Strategie widerspricht aber jeglicher Energieoptimierung und verursacht damit einen Zielkonflikt.

Daher ist für jede Anlage das Verhältnis aus Schlammstabilisierungsgrad und Energieeinsparung zu finden.

Mit Hilfe moderner Mess- und Regelungstechnik lassen sich die teilweise recht komplexen Prozesse gut kontrollieren und regeln. Die lange Zeit erfolgreich verwendete Redoxpotentialmessung wird zunehmend abgelöst durch moderne In-Situ-Sensoren für die direkte Messung der relevanten Prozessparameter (NO_3 , O_2) und ggf. ergänzt durch moderne Regelprozessoren (Fuzzy-Logic oder neuronale Netze).

Dieses notwendige Handwerkszeug bei der Umsetzung von Optimierungsstrategien verfehlt allerdings seinen Zweck, wenn die Optimierungsziele nicht klar definiert sind.

Nur auf Basis des jeweiligen Schlammstabilisierungskonzeptes lassen sich die Anforderungen an den Stabilisierungsgrad definieren. Während bei einer anschließenden Lagerung oder direkten stofflichen Verwertung (z.B. Landwirtschaft oder Landschaftsbau) eine möglichst weitgehende Stabilisierung anzustreben ist, können bei nachfolgenden Weiterbehandlungen (z.B. Kompostierung) die Anforderungen ggf. energiewirksam abgemindert werden.

Bei der häufig praktizierten Mitfaulung aerob stabilisierter in anaeroben Anlagen ist dies sogar geboten.

Die tatsächlich angestrebten Verhältnisse sind im Einzelfall zu ermitteln.

Wesentlich ist auch hier der Umgang mit den verfahrenstechnischen Reserven, die sich aus Temperaturen ergeben, die über der Bemessungstemperatur liegen. Die höheren Stoffwechselraten lassen sich (nicht energieoptimiert) in zusätzliche endogene Atmung und damit weitergehender Stabilisierung/Mineralisierung umsetzen oder energiewirksam durch

- Reduzierung des TR-Gehalts im Belebungsbecken,
- Schaffung anaerober Zonen für die biologische P-Eliminierung oder
- zumindest ausgeweitete anoxische (unbelüftete Phasen) berücksichtigen.

2.2.3 Energieoptimierung von Aggregate-Antrieben

Ein weiterer Ansatzpunkt zur Energieeinsparung liegt in der Überprüfung der installierten Maschinentechnik.

Viel Energie geht in abwassertechnischen Anlagen verloren, wenn Aggregate (z.B. Pumpen, Gebläse, Rührwerke) mit hohen Antriebsleistungen und langen Laufzeiten über Jahre in Kennlinienbereichen mit ungünstigem Wirkungsgrad laufen.

Häufige Ursachen dafür sind

- übertriebene / unnötige Sicherheitszuschläge bei der Auslegung/Dimensionierung
- Auslegung auf Ausbaustufen, die in der Praxis (noch) nicht immer erreicht werden
- Änderung von betrieblichen Randbedingungen

Sowohl die Abdeckung eines evtl. breiten Betriebsspektrums (Fördermenge) als auch nötiger oder gewollter Anlagenreserven sollten möglichst nicht über die die Dimension des Einzelaggregates sondern durch eine effektive Staffelung mehrerer paralleler Maschinen erfolgen.

Die Zweckhaftigkeit der damit häufig verbundenen höheren Investitionskosten kann nur durch Kostenprognosen nachgewiesen werden. Unnötig hohe Energiekosten haben ihre Ursache ohnehin häufig in einer fehlerhaften Übergewichtung der Investitions- gegenüber den Betriebskosten.

Dies trifft umso mehr auf die Ausschreibungs- und Vergabephase zu, in der Alternativfabrikate unter den gleichen Gesichtspunkten der langfristigen Wirtschaftlichkeit zu bewerten sind.

Ein Austausch vorhandener Aggregate ist zwar häufig erst im Zuge einer ohnehin notwendigen Ersatzbeschaffung auf Grund von Verschleiß oder im Zusammenhang mit Sanierungs- oder Erweiterungsmaßnahmen möglich. Um jedoch zu verhindern, dass energetisch unwirtschaftliche Aggregate bei Havarie automatisch durch baugleiche Aggregate ersetzt werden, sollten für leistungsstarke und wichtige Maschinen regelmäßige Überprüfungen des Wirkungsgrades vorgenommen und bei Bedarf die geänderten Leistungsparameter dokumentiert werden.

Diese Aussagen treffen nicht nur auf Gebläse und Pumpen innerhalb der Abwasserbehandlungsanlagen zu sondern sind auch auf Pumpwerke im Kanalisationsnetz anzuwenden.

Besonderes Augenmerk ist darüber hinaus auf Rührwerke in Belebungsbecken – typischerweise in anaeroben oder anoxischen Zonen – zu legen.

Während man früher von erforderlichen Energieeinträgen von 5 W/m^3 (alte A 131) ausging, wird die notwendige Umwälzleistung durch moderne Systeme schon ab ca. 2 W/m^3 erbracht. Daraus können bei Neubauten oder ohnehin anstehenden Umbaumaßnahmen oder Ersatzbeschaffungen Energieeinsparungen generiert werden.

Maßnahmen im Bereich des Energie- und Lastmanagements, wie

- die Verschiebung von ausgewählten Verbrauchern aus Hochtarif- in Niedrigtarifzeiten oder
- die gegenseitige steuerungstechnische Verriegelung von Hauptverbrauchern

führen zwar nicht zu einer Verringerung des Energieverbrauchs, können aber zur Kosteneinsparung durch die Optimierung von Leistungs- und Arbeitspreisen beitragen.

3 Nutzung des Energiepotenzials im Abwasser

Neben planerischen und betrieblichen Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs bietet sich die Nutzung des im Abwasser enthaltenen Energiepotenzials zu energetischen Optimierungen in der Abwassertechnik an.

Dabei kann zwischen der Nutzung des (chemischen) Energiepotenzials der organischen Abwasserinhaltsstoffe und der in Abwasser oder an anderen Stellen enthaltenen Wärmemenge (thermisches Energiepotenzial) unterschieden werden.

3.1 Energiepotenzial der organischen Abwasserinhaltsstoffe

Eine Nutzung der im organischen Material des Abwassers enthaltenen Energie ist praktisch nur durch anaerobe Verfahren der Abwasser- und Schlammbehandlung möglich.

Während die energiereichen, organischen Abwasserinhaltsstoffe bei der aeroben Abwasserreinigung nahezu vollständig zu CO_2 und H_2O abgebaut werden und die dabei frei werdende Energie ungenutzt als Abwärme verloren geht, werden diese unter anaeroben Bedingungen zu CO_2 und energetisch verwertbaren Methan (CH_4) abgebaut.

Die energetische Faulgasverwertung erfolgt überwiegend in Heizkesseln oder Blockheizkraftwerken. In Blockheizkraftwerken können bis ca. 35 % des Energiegehaltes des Faulgases als hochwertige elektrische Energie nutzbar gemacht werden.

Erste Pilotanlagen werden bereits mit Klärgas-Brennstoffzellen betrieben, die elektrische Wirkungsgrade bis zu 50 % erwarten lassen, aber heute noch nicht wirtschaftlich sind.

Die anaerobe Abwasserbehandlung kann nur bei organisch hoch belasteten Industrieabwässern und als Vorbehandlungsstufe wirtschaftlich betrieben werden. Neue Ansatzpunkte für die anaerobe kommunale Abwasserbehandlung ergeben sich dann, wenn man das System der Schwemmkanalisation verlässt und eine Trennung der Abwasserströme unter Einsatz wasserarmer oder wasserloser Sanitäranlagen einführt. Durch den Einsatz von Vakuumtoiletten kann das fäkalienhaltige Abwasser (Schwarzwasser), ohne Umweg über die aerobe Abwasserbehandlung, direkt in dezentralen Anlagen energetisch effizient verwertet werden /5/.

Da die Schwemmkanalisation aus wirtschaftlichen und siedlungshygienischen Gründen auch in den nächsten Jahren das dominierende System der Abwasserableitung bleiben wird, richten sich die Bemühungen, das Energiepotenzial der organischen Abwasserinhaltsstoffe nutzbar zu machen, aktuell auf die Ausweitung der Anwendung sowie auf die Intensivierung der anaeroben Schlammbehandlung.

Der anaerobe Abbau der organischen Ausgangsstoffe verläuft nach heutigem Kenntnisstand in vier aufeinander folgenden Phasen ab:

Hydrolysephase - Versäuerungsphase - Acetogene Phase - Methanogene Phase

Für die komplex zusammengesetzten kommunalen Klärschlamm ist die Hydrolysephase, in welcher hochmolekulare, ungelöste Stoffe durch Enzyme in gelöste und damit für die weiteren Phasen verwertbare Stoffe überführt werden, der Verfügbarkeits- und geschwindigkeitslimitierende Schritt.

In kommunalen Faulbehältern mit üblichen Faulzeiten von ca. 20 Tagen werden nur ca. 50 % der organischen Feststoffe (oTR) abgebaut. Eine Erhöhung der Faulzeit auf > 20 Tage führt zu keiner bedeutsamen Erhöhung des Abbaugrades bzw. der Faulgasausbeute und ist daher keine wirtschaftliche Option.

Verfahren zur Intensivierung des anaeroben Abbaus wie die Klärschlamm-Desintegration oder der Einsatz von Enzympräparaten setzen deshalb gezielt bei der Hydrolyse schwer abbaubarer organischer Inhaltsstoffe an.

3.1.1 Klärschlamm-Desintegration

Unter Klärschlamm-Desintegration wird die Zerkleinerung von Klärschlamm verstanden. Im Vordergrund steht dabei die Zerstörung lebender und toter Zellsubstanz um die Zellinhaltsstoffe (Enzyme und gelöste oder partikuläre organische Verbindungen) dem anaeroben Prozess verfügbar zu machen.

Zur Anwendung kommen dafür mechanische, thermische oder chemische Verfahren.

Zur Intensivierung der Schlammfäulung wird überwiegend voreingedickter Überschussschlamm behandelt /6/, der aufgrund seiner Herkunft überwiegend aus zellulärer Substanz besteht. Die Desintegration des gut abbaubaren Primärschlammes führt dagegen kaum zu einer weiteren Erhöhung des Faulgasanfalls.

Bei spezifischen Energieeinträgen von 0,5 bis 16 kWh/m³ Schlamm konnten bisher zwischen 2 und 50 % höhere Abbaugrade bzw. Faulgasausbeuten erzielt werden.

Eine Steigerung der oTR-Abbaugrade wird prinzipiell nur durch eine Steigerung der Aufschlussgrade erreicht, was wiederum höhere Energieeinträge erfordert. Neben dem spezifischen Energieeintrag haben aber noch weitere Einflussgrößen, wie Art, Herkunft, Schlammalter und der zuvor (ohne Desintegration) bereits erreichte Abbau Einfluss auf die Erhöhung des oTR-Abbaugrades. Genauere Vorhersagen zur Steigerung des Abbaugrades sind deshalb nur nach einzelfallspezifischen Vorversuchen möglich.

In einem Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe „Klärschlamm-Desintegration“ /6/ wurde der Einfluss der Überschussschlamm-Desintegration auf die Energiebilanz einer Modellkläranlage mit 100.00 Einwohnerwerten für verschiedene Varianten untersucht.

Neben dem Energiebedarf der Desintegrationsaggregate und der zusätzlichen Eigenstromerzeugung durch erhöhten Faulgasertrag wird auch der erhöhte Strombedarf für die Nitrifikation der zusätzlich rückgelösten Stickstofffracht, angesetzt in Höhe der erhöhten Abbaugrade, berücksichtigt. Die Ergebnisse der Berechnungen werden in **Tabelle-1** auszugsweise wiedergegeben.

	Variante A	Variante B	Variante C
Erhöhung oTR-Abbaugrad			
Erhöhung Faulgasanfall	+ 5 %	+ 20 %	+ 30 %
Erhöhung Stickstoff - Rückbelastung			
oTR-Abbau, absolut	42 %	48 %	52 %
spezifischer Energieeintrag	12 kWh/m ³ _{ÜS}	9 kWh/m ³ _{ÜS}	5 kWh/m ³ _{ÜS}
Stromverbrauch der Desintegration	149.346 kWh/a	142.900 kWh/a	77.438 kWh/a
zusätzliche Stromerzeugung durch Desintegration	74.487 kWh/a	297.947 kWh/a	446.920 kWh/a
zusätzlicher Stromverbrauch für Belüftung des rückgelösten Stickstoffs	8.118 kWh/a	32.474 kWh/a	48.710 kWh/a
Energiebilanz	- 82.977 kWh/a	+ 122.573 kWh/a	+ 320.772 kWh/a

Tabelle-1: Energiebilanzen für eine Modellkläranlage mit 100.000 EW und Überschussschlamm - Desintegration, nach /6/

Die Berechnungsergebnisse für die Modellkläranlage zeigen, dass die Desintegration nicht in jedem Fall zu einem energetisch positiven Ergebnis führt.

Die Entscheidung für oder wider eine Desintegrationsanlage fällt selbstverständlich nicht allein nach energetischen, sondern auch nach wirtschaftlichen Kriterien. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind zusätzlich zur Energiebilanz die Auswirkungen der Desintegration auf den Entwässerungsgrad des Schlammes, den Polymerbedarf und eine mögliche Erhöhung der Abwasserabgabe durch erhöhte Stickstoffablaufwerte zu berücksichtigen. Betriebliche Vorteile, wie eine Reduzierung des Schäumens von Faulbehältern, können ebenfalls ausschlaggebend für den Einsatz einer Desintegrationsanlage sein.

Um zu belastbaren Aussagen über die Auswirkungen einer Desintegration für eine Kläranlage zu gelangen, muss der Ausgangszustand der Anlage ohne Desintegration vorab ausreichend dokumentiert und bilanziert werden. Hierzu sind im Allgemeinen auch zusätzliche Messprogramme erforderlich.

3.1.2 Dosierung von Enzympräparaten

Eine Intensivierung der Hydrolysephase ist auch durch den Einsatz von externen Enzymen möglich. Ihre Verwendung ist auch als „Biologische Klärschlamm-Desintegration“ bekannt.

Da die Mechanismen der Enzymbehandlung sich weniger auf Zellerstörung sondern mehr auf die Hydrolyse komplexer oder langkettiger Organika konzentrieren, ist dies begrifflich nicht korrekt. Vielmehr ist eine gegenseitige Ergänzung beider Verfahren durchaus denkbar.

Zum Einsatz kommen in Fermentationsanlagen gewonnene Enzyme, die auf die Hydrolyse von schwer abbaubaren Stoffen, wie Zellulose, langkettigen Eiweißen und Lipopolyptiden spezialisiert sind.

Extern erzeugte Enzympräparate sind in Deutschland bereits in mehreren Kläranlagen im Einsatz. Der oTR-Abbau konnte, ausgehend von 48 bis 54 % (vor Einsatz externer Enzyme) auf 62 bis 68 % gesteigert werden. Der Faulgasertrag der Anlagen erhöhte sich um 15 bis 35 %. Eine Zusammenstellung erreichter Abbaugrade verschiedener Kläranlagen erfolgt in **Tabelle-2**.

	oTR – Abbaugrad [%]	TR – Abbaugrad [%]
Kläranlage A	65,2	52,9
Kläranlage B	62,8	54,4
Kläranlage C	60,8	51,3
Kläranlage D	65,9	53,7
Kläranlage E	62,1	49,9
Kläranlage F	66,4	52,7
Kläranlage G	63,7	52,3
Kläranlage H	67,6	51,1
Kläranlage I	62,9	51,8
Kläranlage J	66,8	53,8
Kläranlage K	64,3	50,3
Kläranlage L	55,7	44,2
Kläranlage M	66,3	55,7
Kläranlage N	61,0	53,4

Tabelle-2: oTR – und TR - Abbaugrade nach Einsatz eines Enzympräparates /7/

Die Enzyme, welche als Biokatalysatoren nach der von Ihnen beschleunigten Reaktion unverbraucht wieder vorliegen, müssen nur in sehr geringen Mengen, z.B. 400 – 500 ml/d in einen Faulbehälter für ca. 50.000 Einwohnerwerte, zugegeben werden.

Nach Aussagen der Hersteller werden während der Startphase vorhandene Schwimmdecken und Verzottungen aufgelöst und deren Neubildung verhindert. Negative Auswirkungen der Enzyme auf die Entwässerbarkeit des Faulschlammes und den Polymerbedarf treten nach Angaben der Hersteller nicht auf.

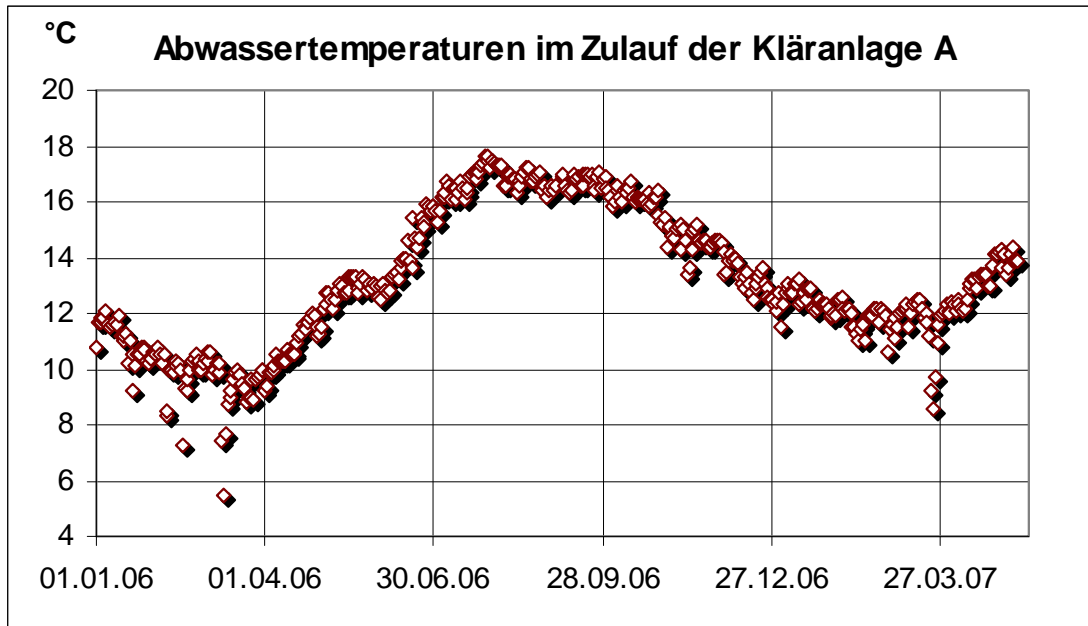
Die in zwei Thüringer Kläranlagen durchgeführten Versuche mit Enzympräparat brachten keine Erfolge, die in den oben beschriebenen Größenordnungen liegen.

3.3 Wärmeentzug aus Abwasser

Im kommunalen Abwasser ist ganzjährig eine große Wärmemenge enthalten, die mittels Wärmepumpen auf ein technisch nutzbares Temperaturniveau angehoben werden kann. Auch in den Wintermonaten sinkt die Abwassertemperatur nur an wenigen Tagen unter 10 °C und bietet damit im Vergleich zu anderen Wärmequellen für Wärmepumpen gute Voraussetzungen für einen effizienten Wärmepumpeneinsatz.

In Betrieb befindliche Abwasser-Wärmepumpen erreichen Leistungsziffern zwischen 3 und 6¹. In der Schweiz wird Abwasserwärme bereits seit mehr als 20 Jahren genutzt.

¹ Als Leistungsziffer wird das Verhältnis von Wärmeleistung einer Wärmepumpe zum Fremdenergieaufwand (i.d.R. Elektroenergie) definiert.

Abbildung-2: Abwassertemperaturen im Zulauf einer Kläranlage mit ca. 80.000 EW

Durch die Abkühlung von 1 m³ Abwasser um 1 Kelvin wird eine Wärmemenge von 1,163 kWh entzogen. Eine Wärmepumpe mit einer Leistungszahl von 4,0 kann daraus unter Einsatz von ca. 0,39 kWh elektrischer Energie 1,55 kWh Nutzwärme bereitstellen.

Lokale Energieentnahmen werden nach einer entsprechenden Fließzeit durch den Einfluss der Bodentemperatur und ggf. vorhandene Fremdwasserzuflüsse wieder ausgeglichen, so dass eine Beeinträchtigung der Abwasserreinigung ausgeschlossen werden kann. Eine Absenkung der Abwassertemperatur um kleiner 0,5 K am Zulauf zur Kläranlage wird als unkritisch angesehen.

Um die Energie des Abwassers für Heizzwecke nutzbar zu machen, werden spezielle Wärmetauscher benötigt, welche die Wärmeenergie auf ein Zwischenmedium übertragen. Die Wärmeenergie kann entweder direkt aus dem Abwasserstrom von Gebäuden mit hohen Abwassermengen und -temperaturen, aus der öffentlichen Kanalisation (Kanäle oder Pumpwerke) entnommen werden. Die Nutzung der Wärmeenergie des Abwassers bietet sich auf der Kläranlage besonders an, da hier das verfügbare Potential besonders groß und die vertraglich-organisatorischen Aufwendungen eher gering sind.

Für den Einbau in vorhandene Kanäle und zur Vormontage in Beton-Rohrwerken werden von verschiedenen Herstellern spezielle Kanalwärmetauscher angeboten, deren Lebensdauer mindestens 50 Jahren betragen soll.

Die Wärmeübertragungsleistung von Kanalwärmetauschern wird mit ca. 600 bis 900 W/(m³*K) angegeben. Die Übertragungsleistung nimmt allerdings durch biologischen Bewuchs ab, wenn der Wärmetauscher nicht regelmäßig gereinigt wird. Sollte keine regelmäßige Kanalspülung erfolgen, muss der Wärmetauscher entsprechend höher dimensioniert werden.

Nach den Erfahrungen aus verschiedenen Anlagen, die in der Schweiz und in Deutschland realisiert wurden, sind für einen wirtschaftlichen Betrieb ein Mindestabfluss von ca. 15 l/s im Mittel bei Trockenwetter, eine Wärmeabnahme von mindestens 150 kW und möglichst geringe Entfernungen zum Wärmeabnehmer (ca. 300 m) erforderlich.

In der Regel werden Anlagen mit Abwasserwärme als bivalente Systeme betrieben, d.h. neben der Abwasser-Wärmepumpe kommt ein Spitzenlastkessel zum Einsatz. Die Abwasser-Wärmepumpe deckt dann den Grundlastbetrieb der Heizungsanlage ab. In Kombination mit einem Blockheizkraftwerk, das die erforderliche Elektroenergie für die Wärmepumpe liefert, kann die Effektivität und die Ökobilanz der Anlagen weiter gesteigert werden.

Ein wirtschaftlicher Betrieb solcher Anlagen ist wegen der hohen Investitionskosten derzeit nicht immer möglich. Viele Anlagen werden vorerst noch als Pilotanlagen durch öffentliche oder private Mittel gefördert. Mit der Weiterentwicklung dieser Technik und der zu erwartenden Entwicklung der Energiekosten wird die Schwelle zur Wirtschaftlichkeit in den nächsten Jahren bald erreicht werden.

Günstige Randbedingungen für die Nutzung von Abwasserwärme liegen vor, wenn die Erneuerung, bzw. Sanierung eines Kanalabschnittes und der Neubau oder die Erneuerung der Heizungsanlage geplant ist.

4 Zusammenfassung

Die vorliegenden Erfahrungen mit systematischen Energieanalysen für Kläranlagen lassen auch für viele Kläranlagen im Landesverband Nord-Ost auf ein hohes energetisches Einsparpotenzial schließen. Gleichwohl ist bei allen Maßnahmen zu beachten, dass Energieeinsparungen nicht zu Lasten der Abwasserbehandlung gehen dürfen.

Neben Maßnahmen zur Energieeinsparung in Entwässerungsnetzen und Kläranlagen bieten auch Verfahren zur Intensivierung der Schlammfäulung und zur Wärmenutzung aus Abwasser und anderen verfügbaren Quellen interessante Ansätze für energetische Optimierungen in der Abwassertechnik.

5 Literatur

- /1/ Energie in Kläranlagen, Handbuch, Hrsg: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 1999
- /2/ Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen (1998), Handbuch Wasser 4, Bd. 13, Hrsg: Landesanstalt für Umweltschutz des Landes Baden-Württemberg
- /3/ Energiebilanzierung auf Kläranlagen, Arbeitsbericht des ATV-Fachausschuss 3.1, Juli 1999
- /4/ Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen, Hrsg: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), 2006
- /5/ Neue Konzepte in der Abwasserentsorgung – Pilotprojekt Lübeck-Flintenbreite, Otterpohl, R., ATV-DVWK – Energietage in Bielefeld, 2000
- /6/ Wirtschaftlicher und betrieblicher Vergleich verschiedener Verfahren zur Klärschlamm-desintegration, Arbeitsbericht der DWA Arbeitsgruppe AK-1.6 „Klärschlamm-desintegration“, in: KA – Abwasser, Abfall 2005(52) Nr. 2
- /7/ Eurozymes Biotec GmbH, persönliche Mitteilungen und Unterlagen