

# Produktion, Umwandlung, Verteilung und Nutzung Von Wärme auf Kläranlagen

Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling

*DWA - Energieoptimierung auf Kläranlagen  
am 22.03.2012 in Rüsselsheim (Hessen)*



## 1. Einleitung

Nach dem im Dezember 2011 von der Europäischen Kommission herausgegebenen „Energiefahrplan 2050“ [1] wird heute die Struktur für die Energieerzeugung und -nutzung im Jahr 2050 festgelegt: „Energieinvestitionen brauchen Zeit, bis sie Ergebnisse hervorbringen. In diesem Jahrzehnt findet ein neuer Investitionszyklus statt, da die vor 30 - 40 Jahren gebaute Infrastruktur ersetzt werden muss.“ Nur wenn jetzt gehandelt wird, können sog. Lock-in-Effekte und in der Folge kostspielige Anpassungen vermieden werden.

Diese Erkenntnis ist nicht unbedingt neu; schon seit etwa 10 Jahren wird auf die hohen Folgekosten des Klimawandels hingewiesen. Angesichts der Ergebnisse vieler internationaler Klimakonferenzen kann man den Völkern der Erde aus einer übergeordneten Sicht bescheinigen, dass „sie sich bemüht haben“. Erreicht haben sie leider wenig - gemessen an der Größe der Aufgaben. Der CO<sub>2</sub>-Anstieg hat im Jahr 2011 selbst die schlimmsten Prognosen übertroffen. Die Ursachen für diese bedauerliche Entwicklung sind äußerst komplex und somit nicht einfach abzustellen. Wegen der globalen Auswirkungen der lokalen CO<sub>2</sub>-Emissionen ist insbesondere eine verursachergerechte Zuordnung erschwert. Hier wird es wohl auf absehbare Zeit nicht zu verbindlichen Vereinbarungen kommen, die den bekannten Forderungen zur Eindämmung der negativen Auswirkungen genügen. Man wird sich folglich mit den Klimaveränderungen „anfreunden“ müssen (Adaptation).

Es ist wissenschaftlich unstrittig, dass die Ursachen zum großen Teil hausgemacht und auf den

ungehemmten Verbrauch der fossilen Energieträger im industriellen Zeitalter zurückzuführen sind. Die Wärmeerzeugung und -nutzung spielt dabei eine nicht unwesentliche Rolle. Bedenkt man aber, dass die Wärmeleistung großer Kohlekraftwerke etwa in der gleichen Größenordnung liegt wie die Stromproduktion, dann würde diese ausreichen, um etwa 30 % der an das Kraftwerk angeschlossenen Verbraucher komplett mit (Ab-)Wärme zu versorgen. Stattdessen wird die in den Häusern und Betrieben benötigte Wärme häufig aus Primärenergie erzeugt, so dass aus einer übergeordneten Sicht die Wärme zu einem großen Teil zweimal erzeugt wird mit entsprechend Folgen für die CO<sub>2</sub>-Bilanz. Nicht zuletzt gilt die Wärme deshalb als der eigentliche Klimakiller.

## 2. Wärme im kommunalen und industrielle Bereich

### 2.1 Möglichkeiten der Wärmeversorgung

Für die Wärmeversorgung in kommunalen und industriellen Infrastrukturen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Im kommunalen Bereich überwiegt bisher die auf die Einzelobjekte (Wohnhäuser) bezogene Wärmeerzeugung aus fossiler Primärenergie (Öl- und Gasheizung). Die Verwendung regenerativer Brennstoffe (Holz etc.) ist anteilig noch klein und kommt bevorzugt im ländlichen Raum mit entsprechenden Ressourcen zum Einsatz. Solarthermische Anlagen werden in der Regel als ergänzende Maßnahmen eingesetzt. Die Kraft-Wärme-Kopplung und die Fern- /Nahwärmeversorgung ist in Deutschland vergleichsweise gering verbreitet.

Im industriellen und gewerblichen Bereich ist man von jeher „wärmeverwöhnt“, weil die Auslegung der Erzeugungs- und Verteilungsanlagen noch sehr stark aus der Zeit günstiger Energiepreise und teilweise überzogenen Anforderungen und die Versorgungssicherheit geprägt ist. An den großen Industriestandorten werden eigene Heizkraftwerke betrieben, die auf die sichere Versorgung der Betriebe und Hauptprozesse ausgelegt sind. Eine in Menge und Temperaturniveau bedarfsgerechte Bauweise setzt sich erst allmählich durch. Vor allem wird die anfallende Abwärme noch in geringem Umfang genutzt.

Insgesamt ist jedoch sowohl aus ökonomischen als auch aus ökologischen Gründen ein Umdenken bei der Wärmeversorgung notwendig. Das bislang übliche Denkschema, das von der Nutzung aus nicht beschränktem Vorrat geprägt ist, muss sich wandeln zur bedarfsorientierten Anforderung.

## 2.2 Wärmenutzung und Klimaschutz

Es ist ein volkswirtschaftliches Grundproblem der industrialisierten Gesellschaft, dass wesentlich mehr Wärme erzeugt wird, als gemeinhin zur Befriedigung der materiellen Bedürfnisse und für das körperliche Wohlbefinden erforderlich wäre. Vor allem die Industrialisierung hat dazu geführt, dass der Energieverbrauch und die damit zusammenhängende Wärmeentwicklung Dimensionen erreicht hat, die in den 2000 Jahren zuvor undenkbar waren. Wegen der begrenzten Ressourcen wird der Verbrauch aber ebenso schnell wieder abnehmen müssen (Bild 1).

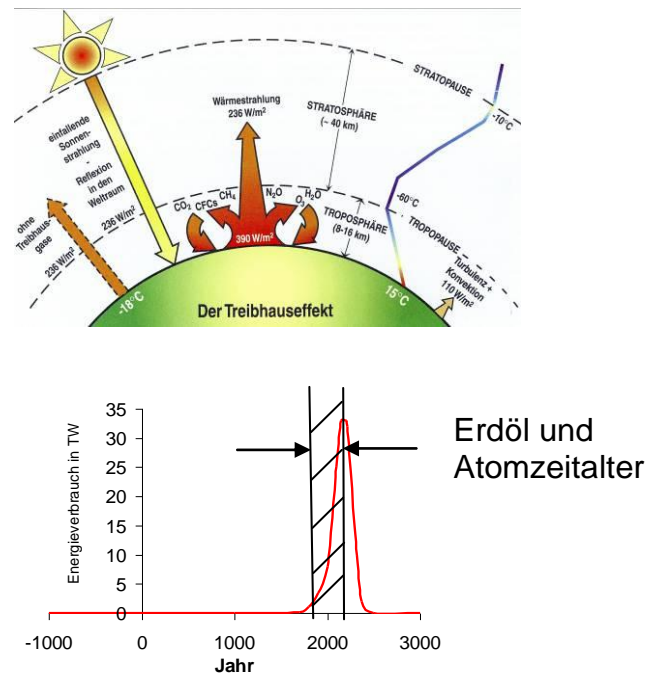


Bild 1: Treibhauseffekt und zeitlicher Verlauf des Energieverbrauchs (Prognose)

Im Erdöl- und Kohlezeitalter des letzten Jahrhunderts wurde der Brennstoff so billig gehandelt, dass man sich bei energetischen Prozessen auf das Abgreifen der unmittelbar benötigten Nutzenergie (Strom, Druckluft, Fortbewegung etc.) beschränkte; für die Wärme als scheinbar unvermeidlichen „Restmüll“ kam es lediglich darauf an, sie möglichst kostengünstig zu entsorgen. Nach diesem Grundprinzip arbeiten die zentralen Großkraftwerke zur Stromproduktion bis heute. Bei einer durchschnittlichen Kraftwerksleistung von 1.000 MW wird Wärme in etwa der gleichen Größenordnung erzeugt und über einen Kühlturm an die Atmosphäre abgegeben, obwohl mit dieser Wärmemenge rechnerisch auch rd. 500.000 Haushalte versorgt werden könnten. Bei vielen anderen Arten der Energieumsetzung in Verfahrenstechnik, Produktionstechnik und bei Infrastruktur und Verkehr sieht es nicht besser aus. Die Aggregate, Maschinen und Anlagen sind seit jeher so

konzipiert, dass sie die benötigte Nutzenergie ohne Rücksicht auf die unvermeidlich anfallende Wärme möglichst (investitions-) kostengünstig erzeugen. Energetisch besonders auffällig sind Autos, die nur etwa 10 - 15 % der eingesetzten Primärenergie zur Fortbewegung benötigen. Sogar unsere erst vor 20 Jahren auf die Welt gekommenen IT-Geräte zeichneten sich bislang energetisch weniger durch ihre Rechenleistung als durch ihre hohe Kühlleistung aus.

Aus der Sicht des Umweltschutzes sind diese Zustände lange Zeit nicht beanstandet worden, weil man davon ausging, dass sich die globale Sonneneinstrahlung und die terrestrische Abstrahlung in Verbindung mit den Schichtungen der Atmosphäre die Waage halten und für eine mittlere Temperatur von etwa 15 °C auf der Erde sorgen. In den neunziger Jahren verdichteten sich allerdings die Hinweise darauf, dass sich die Erde zunehmend erwärmt mit der Folge gravierender klimatischer Veränderungen [2]. Ursächlich dafür sind nach dem derzeit anerkannten Stand der Klimaforschung in erster Linie die sogenannten Treibhausgase und hier vor allem das Kohlendioxid, welches bei der Verbrennung fossiler Energien entsteht. Die Anreicherung in der Atmosphäre wirkt sich global aus, unabhängig vom Ort der Entstehung auf der Erde.

Der bereits eingetretene Schaden ist dagegen beträchtlich. Nach Schätzungen des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung belaufen sich die Kosten für die zu erwartenden Schäden durch den Klimawandel auf 3.000 Mrd. EUR bis zum Jahr 2100, davon bereits 800 Mrd. EUR bis zum Jahr 2050 mit einem Anteil von 300 Mrd.

EUR für erhöhte Energiekosten, die vorwiegend von den privaten Haushalten zu tragen sind.

### **2.3 Wärmeorientierte Energiekonzepte**

Aus dem Blickwinkel der verfügbaren Primärenergie führt die Nichtnutzung der Wärme für das Klima zu doppeltem Schaden: Die Umwelt wird nicht nur durch die sog. „Abwärme“ beeinträchtigt, sondern es wird für tatsächlich benötigte Wärme zusätzliche Primärenergie verheizt. Eine Veränderung dieser Situation lässt sich nur erreichen, wenn zukünftig eine möglichst hohe Primärenergieausnutzung (verpflichtend) angestrebt wird und vor allem die bei technischen Umwandlungsprozessen unvermeidlich anfallende Wärme konsequent genutzt wird.

Für die Aufstellung von Energiekonzepten folgt daraus, dass sich der Denkprozess und die Entwicklungsrichtung umkehren müssen. Die bisherige Vorgehensweise beginnt mit dem (Primär-) Energieeinsatz und zielt auf die hohe Effizienz der einzelnen Umwandlungsprozesse; am Ende bleibt die sogenannte Restwärme oder Überschusswärme, die durch Lüftung oder Kühlung möglichst kostengünstig entsorgt werden muss. Stattdessen wird man zukünftig wohl mit der Planung am Ende der Umwandlungskette beginnen müssen, um von dort aus die Wärme frühzeitig ins Visier zu nehmen. Nur in Ausnahmefällen darf die direkte Produktion von Wärme aus Primärenergie zulässig sein. Wärme sollte nach Möglichkeit immer aus gekoppelten Prozessen gewonnen werden. Wie vielfältig die Möglichkeiten dazu sind, wird in diesem Beitrag dargestellt und anhand von Beispielen verdeutlicht. Die hochgesteckten Ziele für den Klimaschutz und speziell für die Begrenzung der Erd-

erwärmung werden wir nur erreichen, wenn wir unser "Wärmeproblem" in den Griff bekommen.

### 3. Wärme auf Kläranlagen

#### 3.1 Kläranlagen als Bausteine kommunaler Infrastrukturen

Kläranlagen sind Energieverbraucher und Energieerzeuger zugleich. Der Verbrauch resultiert aus dem Energieaufwand für die Belüftung, die Umwälzung und das Pumpen von Abwasser und Schlamm. Die Eigenerzeugung von Strom und Wärme erfolgt aus dem bei der Schlammfäulung gewonnenen Klärgas.

Bis vor wenigen Jahren galt die vollständige Eigenversorgung mit Strom und Wärme allein aus dem produzierten Klärgas als unerreichbar. Durch Verbesserung der Effizienz auf der Verbraucherseite und vor allem bei der Strom- und Wärmeproduktion mittels Blockheizkraftwerken ist es nicht nur möglich, eine Kläranlage zumindest bilanziell über ein Jahr gesehen ohne externe Energiezufuhr zu betreiben, sondern es werden sogar Überlegungen angestellt, wie man die Überschüsse ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll vermarkten kann. Neuere Lösungsansätze gehen deshalb über die singuläre Betrachtung der Aggregate oder der Anlage hinaus. Als ein großes Potenzial sind Kombinations- oder Verbundlösungen im Blickfeld, die nicht mehr dem Autarkie- oder Autonomiegedanken folgen, sondern der möglichst effizienten Verwendung sämtlicher genutzter Energien und die Erzielung einer möglichst hohen Primärenergieausnutzung.

Energieanfall	Energiebedarf	Energienutzung
Organische Verschmutzung (175 kWh/E*a)	Mechanische und elektrische Energie (20 - 54 kWh/E*a)	Klärgas zur Strom- und Wärmeerzeugung (45 kWh/E*a = 15+30)
Lageenergie (Wasserkraft)	Wärme zur Schlamm- aufheizung und für Gebäude	Wasserkraft zur Stromerzeugung
Abwasserwärme	Kälte für Räume und Maschinen	Wärmepumpe zur Nutzung der Abwasserwärme

Bild 2: Energieinhalt des Abwassers, Energiebedarf und -nutzung auf der Kläranlage

Dies führt zu der Frage, inwieweit durch die Einbindung einer Kläranlage in eine regionale energetische Infrastruktur eine Verbesserung gelingen kann. Aufgrund erster Erfahrungen bei der Erarbeitung der Energiekonzepte und den in der Fachliteratur erschienenen Erfahrungsberichten über die Ergebnisse umgesetzter Projekte sind die Vorteile signifikant. Insbesondere kann durch die Bündelung mehrerer Objekte mit unterschiedlichen Anforderungen an die Energieversorgung der zeitlich schwankende Bedarf im täglichen oder sogar im jahreszeitlichen Rhythmus ausgeglichen werden.

Die Bedeutung solcher Projekte kann nicht hoch genug eingeschätzt werden, weil sie beispielhaft für die Dezentralisierung der Energieversorgung und eine neue kommunale Infrastruktur stehen. Für die örtlichen Energieversorger ergeben sich daraus vielfältige Aufgaben, die insgesamt ein entscheidender Schritt zu mehr Unabhängigkeit von den großen Energiekonzernen sind. Einschränkung ist allerdings darauf hinzuweisen, dass der Energieverbrauch oder die Energieproduktion sämtlicher Kläranlagen sich etwa im Bereich von 1 bis 2 % des Gesamtverbrauchs einer Volkswirtschaft bewegen und somit viel zu klein sind, um einen Einfluss auf die Gesamtentwicklung auszuüben. Hinzu kommt noch,

dass das Umfeld auf der energiepolitischen Ebene durch eine intensive Lobbyarbeit geprägt ist, die von Betreibern von Abwasseranlagen nicht geleistet werden kann. Vor dem Hintergrund, dass die Abwasserreinigung in absehbarer Zeit nicht privatisiert wird, ist das allerdings auch nicht zwingend erforderlich, solange unter technischen und organisatorischen Aspekten durch die laufende Gesetzgebung keine unmittelbaren Nachteile entstehen. Es wird immer wieder betont, dass die primäre Aufgabe der Kläranlagen die Reinigung des Abwassers ist; die energetischen Aspekte sind die Nebensache. Unter dem Gesichtspunkt der steigenden Energiekosten und nicht zuletzt im Sinne einer Betrachtung der Gesamtemissionen muss dem Thema deshalb eine angemessene Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die energetische Betrachtung von Kläranlagen konzentriert sich häufig auf die elektrische Energie, während die Wärmeseite als nachrangig angesehen wird. Weil aber gerade der Wärmebedarf jahreszeitlich bedingt sehr viel stärker schwankt als die Faulgasproduktion und der Stromverbrauch, tritt in der warmen Jahreszeit ein erheblicher Überschuss auf, der ungenutzt an das abfließende Abwasser, das Grundwasser oder die Atmosphäre abgegeben wird. Dabei sind grundsätzlich die bei der Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung anfallende Wärme und die beim Betrieb großer Verbraucher anfallende Abwärme in der Summe zu berücksichtigen. Abwärme bleibt deshalb auf Kläranlagen heute noch weitgehend ungenutzt. Durch einen stärker auf den Wärmebedarf ausgerichteten Ansatz können nach den Ergebnissen zu-

letzt durchgeführter Analysen jedoch deutliche Verbesserungen erzielt werden.

### **3.2 Wärmeerzeugung und Wärmenutzung auf Kläranlagen**

Aus thermodynamischer Sicht lässt sich Wärme allgemein als diejenige Energie definieren, die ein System mit seiner Umgebung austauscht und die nicht als Arbeit oder mit Materie die Systemgrenze überschreitet [3]. Auf dieser Definition gründen die beiden Hauptsätze:

- Nach dem ersten Hauptsatz kann Energie nicht verloren gehen und ebenso wenig aus dem Nichts entstehen.
- Nach dem zweiten Hauptsatz laufen thermodynamische Ausgleichsprozesse bevorzugt in eine Richtung ab und sind nicht umkehrbar (irreversibel).

Weil die technische Interpretation dieser Zusammenhänge nicht ganz einfach ist, behilft man sich im Ingenieurwesen zuweilen mit den Hilfsgrößen Exergie und Anergie. Energie ist demnach die Summe aus Exergie und Anergie. Exergie ist derjenige Anteil, der in (mechanische) Arbeit umgewandelt werden kann. Anergie ist das verbleibende energetische Potenzial, welches mit der vorhandenen Umgebung im thermodynamischen Gleichgewicht steht und daher zunächst nicht weiter nutzbar ist.

In der Praxis stellt sich die Situation unter Bezugnahme auf die bei Kläranlagen vorhandenen und benötigten Energien wie folgt dar:

- Elektrischer Strom ist die hochwertigste und zugleich auch spezifisch teuerste Energieart. Strom ist reine Exergie und

kann mit einem Elektromotor unmittelbar in mechanische Energie zum Antrieb von Verdichtern, Pumpen und Rührwerken umgewandelt werden. Dabei entstehen zunächst elektrische Verluste im Motor selbst. Bei Rührwerken kommen mechanische Reibungsverluste und bei Pumpen hydraulische Verluste dazu. Interessant sind vor allem Verdichter, weil die konventionelle Erzeugung von Druckluft aus thermodynamischen Gründen stets mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist. In den vergangenen Jahren sind auf mehreren Kläranlagen Wärmetauscher in die Drucksammelleitung eingebaut worden, um die erzeugte Wärme zurückzugewinnen und sie in den Heizkreislauf einzukoppeln. Eine größere Verbreitung hat diese Technik jedoch wegen der vergleichsweise geringen Ausbeute nicht gefunden. Neuere wissenschaftliche Untersuchungen zum Temperaturverhalten von Verdichtern haben außerdem gezeigt, dass durch die Ansaugung möglichst kühler Luft die Effizienz um ca. 3 % pro 10°C gesteigert werden kann. Dadurch wird wiederum das Temperaturniveau auf der Druckseite gesenkt. Unter dem Strich dürfte diese Maßnahme jedoch größeren wirtschaftlichen Nutzen bringen als die Wärmeentnahme auf der Druckseite.

- Klärgas ist regenerative Primärenergie und damit ein besonders hochwertiger Energieträger. Bei der direkten Verwendung zu Heizzwecken wird keine Exergie gewonnen. Der gesamte Energieinhalt

geht als Wärme in den Schlamm über. Weil dessen Temperatur aber nur noch wenig über der Umgebungstemperatur liegt, ist eine weitere Nutzung kaum möglich; insofern hat diese Wärme fast das Stadium der Anergie erreicht. Im Sinne einer rationellen Energieverwendung sollte aus Gas daher stets ein möglichst hoher Anteil an Exergie gewonnen werden. Deshalb ist der Einsatz von Klärgas zur Kraft-Wärme-Kopplung mittels eines BHKWs oder eines vergleichbaren Aggregates (Microgasturbine, Brennstoffzelle) der „Verheizung“ grundsätzlich vorzuziehen.

- Interessant ist in diesem Zusammenhang noch, dass bei der Kraft-Wärme-Kopplung abhängig von dem verwendeten Aggregat die Wärme anteilig auf unterschiedlichen Temperaturniveaus anfällt. Bei einem BHKW teilt sich die Wärme etwa zur Hälfte auf in Hochtemperaturwärme aus dem Abgas mit ca. 500 °C und in Niedertemperaturwärme aus dem Kühlwasser mit etwa 90 °C. Die zunächst höherwertige Wärme aus dem Abgas wird üblicherweise durch den Einsatz eines Abgaswärmetauschers ebenfalls auf eine Temperatur von 90 °C abgekühlt und dem Niedertemperatur-Heizkreislauf beigemischt. Obwohl dabei grundsätzlich keine Energie verloren geht (1. Hauptsatz), erhöht sich durch die Reduzierung der Differenztemperatur zur Umgebung der Anteil der Anergie beträchtlich und irreversibel (2. Hauptsatz).

- Der eingetretene Verlust an Wertigkeit ließe sich nur dann vermeiden, wenn auf der Verbraucherseite ein Bedarf an Wärme auf einem höheren Temperaturniveau vorhanden wäre wie beispielsweise bei einer Schlamm-trocknung. Eine interessante Alternative ist außerdem der Einsatz einer ORC-Anlage (Organic Rankine Cycle) zur zusätzlichen Stromerzeugung. Die technische Entwicklung solcher Aggregate hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht, sodass heute für den Leistungsbereich ab ca. 500 kW Aggregate am Markt etabliert sind. Der Trend geht allerdings auch zu Aggregaten mit kleinerer Leistung.

- Die Lageenergie des Abwassers kann mittels Wasserkraftanlagen zur Stromerzeugung genutzt werden; dadurch entsteht unter Abzug der Umwandlungsverluste reine Exergie. Die anteilige Anergie ergibt sich aus der Differenz zwischen der Höhenlage am Ort der Nutzung und der Meeresspiegelhöhe. Energetisch betrachtet ist Wasser (erst) auf Meeresspiegelhöhe wertlos.

- Bemerkung: An diesem Beispiel lässt sich der Zusammenhang zwischen Exergie und Anergie besonders anschaulich verdeutlichen und für den Wärmebereich auf die von den jeweiligen Temperaturniveaus auf Erzeugungs- und Bedarfsseite abhängige Nutzung übertragen.

- Abwasserwärme ist zunächst wertlose Anergie. Zwar ist aufgrund der großen

Abwassermengen der Energiegehalt in Bezug auf die Wärme beträchtlich, aber eben auf diesem Temperaturniveau nicht nutzbar. Deshalb muss die Temperatur durch Zufuhr von Exergie angehoben werden. Dies geschieht üblicherweise mit einer (elektrisch betriebenen) Wärmepumpe. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Temperaturdifferenz, die sich aus der Abwassertemperatur und der vorgesehenen Wärmenutzung ergibt. Wenn die Differenz gering ist, kann die Wärmeerzeugung durchaus technisch, wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll sein.

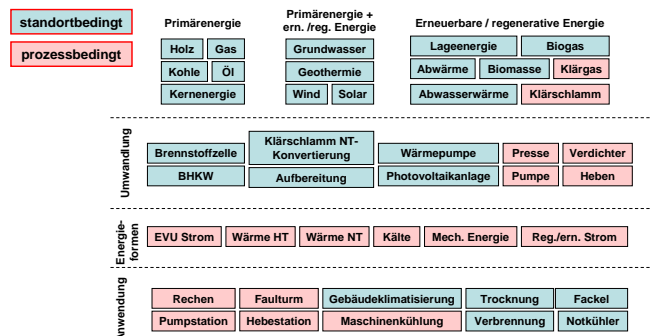


Bild 3: Energiearten, Energieträger und Umwandlungsstufen auf Kläranlagen

Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen auf Kläranlagen verfügbaren und benötigten Energiearten kann auf die energetische Situation grundsätzlich sehr flexibel eingegangen werden. Voraussetzung dafür ist allerdings eine Einbeziehung aller infrage kommenden Energiearten, der technisch verfügbaren Umwandlungsstufen und der speziellen örtlichen Voraussetzungen (Bild 3). Durch eine sorgfältige Analyse der Belastungssituation und entsprechende Abstimmung von Fremdbezug, Eigenproduktion



und Energieexport lässt sich durchaus eine umfassende energetische Optimierung erreichen.

#### **4. Nachhaltigkeit bei Wärme- und Energiekonzepten**

Eine wesentliche Grundlage ist die Bestimmung des Wärmebedarfs. Abgesehen von der stiefmütterlichen Behandlung der gesamten Wärmeschiene bereitet die Aufstellung der Wärmebilanz aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Messdaten und des nur sehr schwierig zu berechnenden wärmetechnischen Verhaltens der Bauwerke (Faulbehälter, Gebäude) viel Mühe und birgt trotz alledem große Unsicherheiten. Bekannte Fehlerquellen sind unzuverlässige Durchfluss- und Temperaturmesswerte im Schlammbereich, falsche Annahmen über die Wärmeisolierung des Faulbehälters oder eine Fehleinschätzung des Wärmeverlustes bei flächigem Kontakt des im Erdreich liegenden Bauteils mit Grundwasser.

Als durchaus praxistaugliche und betrieblich einfach durchzuführende Methode hat sich hier eine experimentelle Bestimmung durch eine zeitweilige wärmetechnische Abkopplung des Faulbehälters von der Schlamm- und Wärmezufuhr bewährt. Dadurch können die Transmissionsverluste unter Betriebsbedingungen sehr genau bestimmt werden. Der Wärmebedarf zur Schlammaufheizung lässt sich zuverlässig aus der Schlammmenge und der Temperaturdifferenz berechnen. Für die praktische Durchführung wird auf eine ausführliche Anleitung mit den erforderlichen Berechnungsgleichungen verwiesen [7].

#### **4.1 Wege zu einer ausgeglichenen Energiebilanz**

Eine nachhaltige Energienutzung basiert in der angegebenen Reihenfolge auf der Vermeidung unnötigen Verbrauchs, der effizienten Verwendung, der Kraft-Wärme- bzw. Kälte-Kopplung und dem Einsatz regenerativer Energien. Nachhaltigkeit orientiert sich nicht an kurzfristigen wirtschaftlichen oder finanziellen Vorteilen, weil in den dafür herangezogenen Bewertungskriterien die langfristigen Auswirkungen auf die Umwelt nur unzulänglich berücksichtigt sind. Die durch den ungehemmten Verbrauch fossiler Energien eingetretenen Klimaschäden sind dafür ein anschauliches Beispiel.

Bei der energetischen Optimierung der Kläranlagen sind in den letzten 10 Jahren große Fortschritte erzielt worden. Das betrifft die Methoden und Instrumente einerseits [4], [5] und die Weiterentwicklung der Aggregate auf der Verbraucher- und der Erzeugerseite andererseits [6]. Bei konsequenter Anwendung aller verfügbaren Möglichkeiten dürfte bei nicht wenigen Kläranlagen zukünftig die aus dem Abwasser gewinnbare Energie zur Deckung des Eigenbedarfs ausreichen (Bild 4). Das gilt allerdings zunächst nur bilanziell, weil Verbrauch und Eigenzeugung zeitlichen Schwankungen unterliegen. Soweit die prozessbedingten Energien aus dem Abwasser (Faulgas, Abwasserwärme etc.) nicht ausreichen, kann der Fehlbedarf auch durch standortbedingte Energien (Windkraft, Wasserkraft, Solarenergie etc.) oder durch zusätzliche Energieproduktion (Covergärung) ergänzt werden.

Die energieautarke Kläranlage galt in der Vergangenheit und auch heute noch als erstrebenswertes Ziel einer energetischen Optimierung. Die Betrachtung beschränkt sich dabei allerdings auf die elektrische Energie, während die Wärmeseite als nachrangig angesehen wird.

Weil aber gerade der Wärmebedarf jahreszeitlich bedingt sehr viel stärker schwankt als die Faulgasproduktion und der Stromverbrauch, tritt in der warmen Jahreszeit ein erheblicher Überschuss auf, der ungenutzt an das abfließende Abwasser, das Grundwasser oder die Atmosphäre abgegeben wird. Dabei sind grundsätzlich die bei der Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung anfallende Wärme und die beim Betrieb großer Verbraucher anfallende Abwärme in der Summe zu berücksichtigen. Abwärme bleibt deshalb auf Kläranlagen heute noch weitgehend ungenutzt. Durch einen stärker auf den Wärmebedarf ausgerichteten Ansatz können nach den Ergebnissen zuletzt durchgeführter Analysen jedoch deutliche Verbesserungen erzielt werden.

#### **4.2 Kläranlagen als regionale Energiestandorte**

Bei konsequenter Umsetzung der Effizienzpotenziale auf der Verbraucher- und der Erzeugerseite gelingt es immer häufiger, Kläranlagen in die Lage zu versetzen, ihren Strom- und Wärmebedarf aus der im zufließenden Abwasser enthaltenen Energie zu decken. Wenn außerdem noch die standortbedingten Möglichkeiten zur Energieerzeugung ausgeschöpft werden, können sogar Überschüsse entstehen, für deren Nutzung man unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten rechtzeitig ein Konzept erarbeiten

muss. Nur bei frühzeitiger Weichenstellung kann die gesamte Energieumwandlungskette auf einer Kläranlage so aufgebaut werden, dass die entstehenden Überschüsse optimal genutzt werden können.

Für die Aufstellung eines Konzeptes müssen die erzielbaren Überschüsse der Menge nach in Abhängigkeit unterschiedlicher Nutzungsmöglichkeiten und der sich ergebenden Kosten bzw. Vergütungen bewertet werden. Besondere Aufmerksamkeit ist geboten, wenn zwischen den Preisen für bezogene Energie und der Vergütung für überschüssige Energie eine deutliche Differenz besteht. Ein typischer Effekt bei der Einspeisung von elektrischer Energie ist die sich einstellende exponentielle Erhöhung des Kilowattstunden-Preises, weil vergleichsweise die fixen Kosten für die Vorhaltung der Leistung dann anteilig sehr groß werden. Das gilt in gleicher Weise für den Gasbezug. Kommt es im Weiteren zur physikalischen Einspeisung, dann erhält der Betreiber üblicherweise eine Vergütung nach EEG oder KWKG, die allerdings deutlich niedriger liegt als die Bezugskosten. Das führt zu der Überlegung, Direktabnehmer im regionalen Umfeld zu suchen, bei denen teurer Energiebezug vermindert werden kann. Aus den Randbedingungen, die für jede Kläranlage individuell untersucht werden müssen, leitet sich dann ein Suchmuster für eine Verbundlösung ab. Besonders günstig ist demnach beispielsweise die Kopplung einer Kläranlage mit hohem Energie- bzw. Wärmeüberschuss im Sommer und einem in der Umgebung liegenden Objekt, welches zur gleichen Zeit mit elektrisch betriebenen Aggregaten gekühlt wird. Hier ist eine Verbundlösung durch Kraft-Wärme-Kälte-

Kopplung in der Regel wirtschaftlich und führt darüber hinaus zu einer deutlichen CO<sub>2</sub>-Einsparung gegenüber der getrennten Versorgung. Das beschriebene Beispiel sollte allerdings weniger als das einzige reale Suchmuster, sondern vielmehr als Leitgedanke für entsprechende Überlegungen angesehen werden. Es kommt stets darauf an, möglichst kostengünstig erzielbare Überschüsse an den Kläranlagenstandorten zu produzieren und dann in der Umgebung nach Nutzern mit entsprechendem Bedarf bei möglichst hohen Preisen zu finden.

Derzeit wird auf politischer Ebene der Einsatz von Speichertechnologien intensiv diskutiert, weil der erhöhte Anteil an regenerativen Energien, vor allem Windkraft und Solarenergie, starken tageszeitlichen Schwankungen unterworfen sind. In der Abwasserbranche ist diese Diskussion zwischenzeitlich auch angekommen und es wird diskutiert, ob die Kläranlagen dazu einen signifikanten Beitrag leisten können. Grundsätzlich ist das zu bejahen, weil der Verbrauch der Kläranlagen im regionalen Umfeld schon ein energetisches Schwergewicht ist. Die naheliegende Lösung ist die Errichtung zusätzlicher Gasspeicher. Diese sind jedoch in dieser Größenordnung spezifisch sehr teuer, sodass die Neuanschaffung nur für diesen Zweck vermutlich nicht rentabel sein wird. Bekanntlich lässt sich die Gasproduktion aber auch über die Schlammzugabe auf den Faulturn merklich beeinflussen. Als Schlamm Speicher stehen nicht selten Eindicker zur Verfügung, die heute aufgrund einer veränderten Verfahrensführung (Primärschlamm wird direkt in den Faulturn gepumpt, Überschussschlamm wird maschinell

eingedickt, auf eine Nacheindickung wird verzichtet etc.) nicht mehr benötigt werden.

Als Baustein regionaler Konzepte sind möglicherweise Latentwärmespeicher interessant. Dabei wird die Eigenschaft bestimmter Materialien genutzt, beim Wechsel von einem auf den anderen Aggregatzustand auf einem bekannten Temperaturniveau wesentlich mehr Wärme speichern zu können als dies aufgrund ihrer spezifischen Wärmekapazität möglich ist (z. B. Schmelzwärme). Bekannte Anwendungen im Haushalt sind Wärmekissen oder Kühlakku. Diese Technik steht seit einigen Jahren in Containerbauweise zur Verfügung. Bei der Auswahl des Speichermediums wurde darauf geachtet, dass der Austausch der Wärme in einem für Heizungstechnik üblichen Temperaturbereich stattfinden kann. Ein weiteres wesentliches Kriterium waren die Umwelteigenschaften des Materials; eine Gefährdung bei der Nutzung und beim Transport soll weitgehend ausgeschlossen sein. Durch die Containerbauweise können vorhandene logistische Infrastrukturen genutzt werden, was den wirtschaftlichen Einsatz begünstigt. Die Wärmekapazität eines Standardcontainers liegt bei ca. 2,5 MWh. Das entspricht etwa dem energietechnischen Gegenwert von 2.500 m<sup>3</sup> Erdgas oder dem jährlichen Wärmeverbrauch eines Einfamilienhauses. Wirtschaftlich interessante Anwendungen sind beispielsweise die Unterstützung der Wärmeversorgung von Schwimmbädern mit Abwärme aus der Stahlproduktion. Für Kläranlagen lassen sich auch Einsatzfelder finden, um Überschusswärme standortnah abzugeben. Denkbar ist allerdings auch der umgekehrte Fall, fehlenden Wärmebedarf im Winter aus dem Speicher zu

decken. Die Verlustrate ist mit 0,5 %/Tag sehr gering.

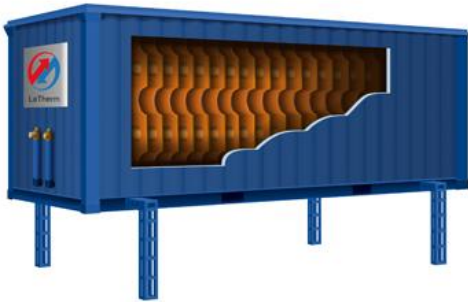


Bild 4: Latentwärmespeicher in Containerbauweise

Seit einiger Zeit wird in Verbänden oder bei Betreibern mehrerer Kläranlagen die Zentralisierung der Schlammbehandlung diskutiert. Aus energetischer Sicht ist das vor allem für aerobe Stabilisierungsanlagen interessant, weil dann einerseits der Energiebedarf für die Belüftung deutlich reduziert werden kann und andererseits der anfallende Rohschlamm oder der Überschussschlamm zentral ausgefault werden kann und zur Klärgasproduktion beiträgt. Oft orientiert sich die Wahl des Standortes für die zentrale Schlammbehandlung an der Logistik oder der vorhandenen Anlagentechnik. Dabei wird die Problematik der langfristig wirtschaftlichen Nutzung der entstehenden Energieüberschüsse zuweilen übersehen, obwohl genau von diesem Faktor die Realisierbarkeit abhängt [8]. Die Standortwahl muss sich stattdessen an den

Möglichkeiten zur Nutzung der Energieüberschüsse im regionalen Umfeld der Kläranlage orientieren.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Bei der energetischen Optimierung von Kläranlagen wurde die Wärme bislang oft als nachrangig angesehen. Im Vordergrund standen die Optimierungen auf der elektrischen Seite, was unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchaus nachvollziehbar ist. Betrachtet man die Verhältnisse allerdings aus dem Blickwinkel des Klimaschutzes, dann erlangt die Wärme durchaus eine größere Bedeutung. Der insgesamt sorglose Umgang mit der Wärme und vor allem die ungenutzte Abgabe in die Atmosphäre wurden bisher nicht sanktioniert; vielmehr wird eine solche Vorgehensweise offenbar durch unsere hohen Strompreise subventioniert.

Bekanntlich ist aber gerade die Wärme der Klimakiller, einerseits, weil der Anteil des Energieverbrauchs an der Wärmeherzeugung mehr als die Hälfte bezogen auf die eingesetzte Primärenergie ausmacht. Andererseits muss für jede ungenutzt in die Atmosphäre abgegebene Kilowattstunde noch einmal eine weitere Kilowattstunde, meist aus wertvoller Primärenergie, aufgewendet werden. Deshalb brauchen wir nachhaltige Energiekonzepte, die sich über die derzeit üblichen (kurzfristigen) wirtschaftlichen Kriterien hinwegsetzen und (langfristige) Aspekte stärker in den Vordergrund rücken.

Bei den Kläranlagen liegt die energetische Optimierung seit fast 10 Jahren im Fokus der Betreiber, und es zeichnen sich durchaus messbare Erfolge ab. Der Einsatz einer Kraft-Wärme-

Kopplung zur Klärgasnutzung gehört bei mittleren und großen Kläranlagen zum Standard.

Mit einer verbesserten Wärmenutzung steht bei der Kläranlage durchaus eine weitere Optimierung in Aussicht. Wegen des im Jahresverlauf schwankenden Wärmebedarfs ist es schwierig, eine ausgeglichene Energiebilanz zu erreichen. Der Weg dorthin führt deshalb über Verbundlösungen mit in räumlich näher liegenden Objekten. Die Umsetzung solcher Konzepte ist in jedem Fall ökologisch sinnvoll und in den meisten Fällen auch für die Betreiber wirtschaftlich. Die gestellten Aufgaben sollten die Betreiber der Kläranlagen möglichst gemeinsam mit den örtlichen Energieversorgern angehen. Dezentralen Lösungen auf der Basis regenerativer Energien gehört die Zukunft [9], und die kommunalen Versorger sollten dies als Chance sehen und die Herausforderung annehmen.

## Literatur

[1] Europäische Kommission: Energiefahrplan 2050  
Brüssel, den 15.12.2011

[2] Grote, K.-H., Feldhusen, J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau  
Springer-Verlag, 22. Auflage, August 2007

[3]<http://www.klaerwerk.info/Schlammbehandlung/Ca-kir---Trocknungsverfahren>

[4] Handbuch „Energie in Kläranlagen NRW“, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, September 1999

[5] Seibert-Erling, G.: Erfolgskontrolle von energetischen Feinanalysen, Beitrag zum DWA-Seminar Energieoptimierung auf Kläranlagen am 24.06.2008 in Köln

[6] Seibert-Erling, G.: Verbesserung der Effizienz energieintensiver Aggregate auf Kläranlagen – Neue Ergebnisse aus der betrieblichen Praxis, Beitrag zur 21. Norddeutschen Tagung für Abwasserwirtschaft und Gewässerentwicklung, Lübeck 2009

[7] Seibert-Erling, G., Etges, T.: Wärmeüberschuss auf Kläranlagen - stillschweigend vernichten oder intelligent nutzen?, Beitrag zum DWA-Seminar Energieoptimierung auf Kläranlagen am 01.10.2009 in Berlin

[8] Hansen, J. et al.: Energie- und Kostenoptimierung durch Schaffung von semizentralen Schlammbehandlungszentren, Beitrag zur 21. Norddeutschen Tagung für Abwasserwirtschaft und Gewässerentwicklung, Lübeck 2009

[9] Held, Chr., Theobald, Chr. (Hrsg.): Kommunale Wirtschaft im 21. Jahrhundert, Rahmenbedingungen, Strategien und Umsetzungen, VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt 2006

## Anschrift des Verfassers

Dr.-Ing. G. Seibert-Erling

Augustinusstraße 9b

50226 Frechen

Mail: [g.seibert-erling@setacon.de](mailto:g.seibert-erling@setacon.de)

## Literaturangabe

Wenn Sie auf diesen Text oder Teile davon verweisen möchten, verwenden Sie bitte folgende Quellenangabe:

Seibert-Erling, G.: Produktion, Umwandlung, Verteilung und Nutzung von Wärme auf Kläranlagen. In: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hg.): Energieoptimierung auf Kläranlagen, Rüsselsheim, 22.03.2012, S. 1 - 10.





**setacon GmbH**  
**Augustinusstrasse 9b**  
**50226 Frechen**  
**Telefon: (02234) 988095-0**  
**Fax (02234) 988095-11**  
**[www.setacon.de](http://www.setacon.de)**

### **Copyright**

Das Copyright der Veröffentlichung liegt bei setacon GmbH, Geschäftsführer Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling, Augustinusstraße 9b, 50226 Frechen. Das Copyright bezieht sich auf die Grafiken, den Text sowie den elektronischen Quelltext zu Grafiken, Text und Vorlage insgesamt.

© setacon GmbH