

# Verbesserung der Effizienz energieintensiver Aggregate auf Kläranlagen

Dr.-Ing. Gerhard Seibert-Erling

Vortrag anlässlich der Fachtagung  
„Energiemanagement in der Abwasserwirtschaft“  
des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)  
am 13.10.2010 in Linz (Österreich)



Quelle: [http://www.energiekonsens-news.de/news\\_dez2009/cartoon\\_dez.jpg](http://www.energiekonsens-news.de/news_dez2009/cartoon_dez.jpg)

## Zusammenfassung

Für die Gestaltung unserer zukünftigen Energieversorgung gibt es unterschiedliche Vorstellungen und Lösungsansätze. Die zur Diskussion stehende Bandbreite lässt sich anhand von zwei anerkannten Konzepten verdeutlichen, das Energiebild der Gesellschaft für Energietechnik (GET) im Verein Deutscher Ingenieure (VDI, 2003) einerseits und das Infracatur-Konzept mehrerer kommunaler Unternehmen der Ver- und Entsorgungsbranche (weitere Informationen unter [www.infracatur.de](http://www.infracatur.de)) andererseits. Die in der GET organisierten Ingenieure der Energiewirtschaft beharren eher auf der zentralen Versorgungsstruktur mit Großkraftwerken. Zuletzt führte dies zu der schlicht absurden Diskussion über die Verlängerung der Laufzeit der alten Atomkraftwerke mit der Begründung, dass diese besonders klimafreundlich sind (Rubner, 2007). Hingegen setzt das Infracaturkonzept auf eine dezentrale Versorgung mit erneuerbaren Energien und regionaler Wirkung auf Beschäftigung und Verantwortlichkeit.

Wie sich die Energieversorgung am Ende entwickeln wird, lässt sich vor dem Hintergrund der jüngsten wirtschaftlichen Kapriolen kaum vorhersagen. In einem einzigen Punkt stimmen allerdings alle bekannten Konzepte überein: Die Effizienz muss verbessert werden! Jeder Gewinn an dieser Stelle entlastet alle übrigen Forderungen nach Versorgungssicherheit, Umweltschutz etc. und ist in den meisten Fällen die wirtschaftlichste Variante. Das gilt sowohl für die Erzeuger- als auch für die Verbraucherseite. Es ist ein offenes Geheimnis, dass zur Erschließung dieser Potenziale nicht erst noch Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, sondern es

müssen lediglich die bekannten Hemmnisse abgebaut werden.

Welchen Beitrag kann die Abwasserbranche hierzu leisten? In einer Kommune sind sie bekanntlich einer der größten Einzelverbraucher und daher für Maßnahmen zur Effizienzsteigerung prädestiniert. Der Reinigungsprozess ist energieintensiv, und der Stromverbrauch und die Energieerzeugung aus dem Klärgas konzentrieren sich auf wenige gleichartige und meist räumlich konzentriert aufgestellte Aggregate. Die Grundlagen für die energetische Optimierung sind ausführlich im Handbuch Energie in Kläranlagen NRW (Müller et. al., 1999) beschrieben. Dieses Handbuch wird allerdings in diesem Jahr 11 Jahre alt und ist bisher nicht an die technische Entwicklung angepasst worden. Neue Untersuchungen (Seibert-Erling, 2008) haben gezeigt, dass die Vergleichswerte des Handbuches in vielen Fällen mit heute verfügbaren Aggregaten zum Teil deutlich unterboten bzw. übertroffen werden können.

Im vorliegenden Beitrag werden ausgehend von den physikalischen Grundlagen die besonderen Einsatzbedingungen bei der Abwasserreinigung dargestellt. Anhand von Praxisbeispielen wird gezeigt, wie durch systematische Datenauswertung die Effizienzpotenziale ermittelt werden können. Die technischen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung werden anhand der heute verfügbaren Technik erläutert.

## Keywords

Kläranlagen, Energie, Energieversorgung, Effizienz, Optimierung, Belüftung, Verdichter, Rührwerke, Pumpen

## 1. Einleitung – Zur Bedeutung der Energieeffizienz

Es ist in den vergangenen Jahren auf Tagungen, in Seminaren und in Veröffentlichungen immer wieder betont worden, dass die Hauptaufgabe der Kläranlagen die Reinigung des Abwassers und die Einhaltung der Überwachungswert ist. Der Energieverbrauch ist „Nebensache“ und hat sich der genannten Hauptaufgabe unterzuordnen. Diese Forderung soll an dieser Stelle auch nicht bestritten werden. Gleichwohl muss mit dem alten Vorurteil, dass die Reduzierung des Energieverbrauchs zu Lasten der Reinigungsleistung geht, aufgeräumt werden. Im Gegenteil gibt es mittlerweile sogar genügend Einzelfälle, bei denen eine gezielte Verminderung der Aggregateleistung, zum Beispiel zur Belüftung, sogar eine verfahrenstechnische Verbesserung bewirkt hat. Bei der Steigerung der energetischen Effizienz geht es alleine darum, die eingesetzte Primärenergie besser zu nutzen und somit bei gleicher Aggregateleistung den Verbrauch zu reduzieren. Der Prozess wird dabei in keiner Weise nachteilig beeinflusst; das wird in den Diskussionen oft missverständlich dargestellt.

Außerdem wird ignoriert, dass eine „Nebensache“ umso wichtiger wird, je länger man sie vernachlässigt. Für die Energieeffizienz gilt das in besonderem Maße. Das hat zuletzt die Automobilindustrie beim Kraftstoffverbrauch zu spüren bekommen und sich selbst durch jahrelange Ignoranz gegenüber Forderungen nach Effizienzsteigerung an den Rand des Ruins gebracht. Eine Steigerung der Effizienz hätte zugleich eine Minderung der Emissionen mit sich gebracht. So

gesehen hat man es sogar versäumt, zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen.

Die Aufgabenstellung zur Steigerung der Effizienz bei der Abwasserreinigung lässt sich wie folgt einordnen und umreißen:

- Der Anteil der Kläranlagen am gesamten Stromverbrauch der Volkswirtschaft liegt im kleinen 1stelligen Prozentbereich. Von daher spielt der absolute Verbrauch energiepolitisch keine Rolle. Daher sollte man auch nicht erwarten, dass für den „Spezialfall Kläranlage“ besonders zugeschnittene gesetzliche Regelungen geschaffen werden oder durchsetzbar sind. Dies hat die Branche vor kurzem bei Verhandlungen über die Vergütungssätze für Klärgas nach dem EEG erfahren müssen. In ähnlicher Weise gilt das auch für das neue Erneuerbare-Energien-Gesetz Wärme (EEWärmeG), bei der die Nutzung der Abwasserwärme gegenüber anderen Quellen (Geothermie etc.) als „Wärme 2. Klasse“ eingestuft und benachteiligt worden ist. Es ist daher nicht zu erwarten, dass außer der Verbrauchsreduzierung selbst Anreize vorhanden sind oder noch geschaffen werden. Die steigenden Kosten müssen Motivation genug sein, etwas zu tun. Hier besteht ein Konsens darüber, dass auf Dauer von einer mittleren Preissteigerungsrate über alle Energieträger von ca. 5 % pro Jahr auszugehen ist.
- Interessant wird eine Steigerung der Energieeffizienz, wenn man die Kläranlage im Umfeld der regenerativen Energien betrachtet. Bei der Strategie „Faktor 4“ (von Weizsäcker et. al., 1995) wird gefordert, dass im

Zusammenhang mit dem Einsatz regenerativer Energiequellen stets auch eine Steigerung der Energieeffizienz, mindestens um den Faktor 2, verbunden sein soll. Mit der heute verfügbaren Technik sind viele Kläranlagen vom Zustand der vollständigen Eigenversorgung mit Strom (Autarkie) nicht weit entfernt, wenn als erster Schritt schon die Steigerung der Energieeffizienz auf der Verbraucherseite in Angriff genommen wurde. Das bestätigt insofern die „Faktor 4“-Theorie.

- An kaum einem anderen Objekt lassen sich die Möglichkeiten eines modernen nachhaltigen Umgangs mit der Energie besser darstellen als an einer Kläranlage. Hier sind mehrere unterschiedliche Energiearten bzw. Energieträger vorhanden (Klärgas, Strom, Wärme, Kälte, Druckluft, Wasserkraft, Sonnenenergie etc.) und bei optimierter Nutzung kann das Kunststück gelingen, sämtliche benötigten Energien für die Abwasserreinigung, die Schlammbehandlung und möglicherweise sogar für die Schlamm Trocknung und -entwässerung allein aus den im Abwasser enthaltenen Schmutzstoffen und gegebenenfalls noch am Standort erzeugbaren Energien zu decken. Teilweise fällt sogar ein Überschuss an, früh morgens beim Strom und im Sommer bei der Wärme.
- Das seit Jahren angestrebte Ziel der Energieautarkie ist unter dem Gesichtspunkt einer deutlichen Effizienzsteigerung bei einer ganzheitlichen Betrachtung zukünftig nicht mehr erstrebenswert. Eine Integration der Kläranlage in einen örtlichen bzw. regionalen Energieverbund bietet wesentlich mehr Frei-

heitsgrade für alle Beteiligten und kann sowohl technisch als auch wirtschaftlich attraktiver sein.

Insgesamt sind die von einer Steigerung der Energieeffizienz ausgehenden Potenziale beträchtlich. Gleichwohl ist deren Entdeckung bzw. Feststellung nicht ganz einfach. Ein Vergleich der Verbrauchswerte einzelner Aggregate mit den Referenzwerten des Energiehandbuchs reicht heute nicht mehr aus, um sämtliche Potenziale auszuschöpfen. Hier müssen schon intensivere Analysen mit modernen Werkzeugen durchgeführt werden, um beispielsweise eine bessere Anpassung an die Belastungscharakteristik vornehmen zu können. Wenn das Potenzial einmal erkannt ist, geschieht die Umsetzung der Effizienzsteigerung meist ohne größeren Aufwand. Ein ineffizientes Aggregat wird im Zuge einer Wartung oder Sanierung ausgetauscht und verbraucht dann in der Folge deutlich weniger Energie.

Eine solche Aktion verursacht weit weniger Aufregung als der Bau einer neuen Erzeugungsanlage, vor allem wenn es um die Solartechnik geht. Vor etwa einem Jahr wurde in einer Stadt in Süddeutschland auf dem Dach eines größeren Unternehmens eine Fotovoltaikanlage installiert - unter großer Anteilnahme der örtlichen Presse und im Beisein der Vertreter aus der Politik. Obwohl es sich um eine größere Installation mit Anschaffungskosten im 7stelligen Bereich handelt, ist die produzierte Strommenge nicht größer als der Mehrertrag, der durch eine Sanierung der veralteten (ca. 15 Jahre!) BHKW-Anlage auf der örtlichen Kläranlage erzielt werden kann. Die Kosten da-

für dürften deutlich geringer ausfallen. Aber wo haben sich Presse und Politik schon einmal für die Inbetriebnahme eines neuen BHKWs auf einer Kläranlage interessiert? Abwasserbetriebe oder Kommunen sollten sich mit der Solartechnik erst dann beschäftigen, wenn sie ihre Hausaufgaben bei der Energieeffizienz im Blick oder bereits gemacht haben.

Vielleicht lohnt es sich darüber nachzudenken, wie Maßnahmen zur Effizienzsteigerung attraktiver gemacht werden können. Das gesamte Denken und Handeln im Energiebereich ist immer noch sehr auf die Größe von Investitionen, die Inbetriebsetzung neuer Anlagen und ähnliche „öffentlichkeitswirksame“ Muster fixiert. Interessant, wirtschaftlich sinnvoll und wirklich nachhaltig sind aber gerade die Einsparungen.

## **2. Energieeffizienz bei der Belüftung**

Von den unterschiedlichen Belüftungssystemen kommt auf Kläranlagen am häufigsten die Druckbelüftung zum Einsatz. Sie besteht aus der Druckluftherzeugung, dem Rohrleitungsnetz mit den Armaturen zur Luftverteilung und den in den Becken eingebauten Belüfterelementen. Für alle genannten Teilsysteme ergeben sich nach allgemeinen Erfahrungen große Optimierungspotenziale, sowohl einzeln als auch in der Kombination durch die richtige Abstimmung auf die tatsächlichen Belastungsverhältnisse (Seibert-Erling, 2008). Bei der Druckluftherzeugung lässt sich die energetische Effizienz der Verdichter durch den auf die Luftmenge bezogenen spezifischen Energiebedarf in  $W/(Nm^3/h)$  bewerten. Der Druck kann zunächst unberücksichtigt bleiben, weil er für einen bestimmten Auslegungsfall gleich ist. Von den unterschiedlichen Aggrega-

ten eignen sich Turboverdichter für große Mengen bei hohen Drücken und Drehkolbengebläse für kleine Mengen bei niedrigen Drücken. Eine interessante Alternative sind die seit etwa 10 Jahren am Markt angebotenen magnetgelagerten Turboverdichter, die im mittleren Bereich angesiedelt sind. Die Relevanz der Energieeffizienz bei der Druckluftherzeugung ergibt sich schon daraus, dass die jährlichen Stromkosten eines Verdichters im Dauerbetrieb etwa so hoch sind wie die einmaligen Anschaffungskosten. Oder anders ausgedrückt: Würde man Druckluft für 10 Jahre kaufen, dann machen die Investitionskosten nur 1/10 des Gesamtbetrages aus – bei steigenden Stromkosten! Unter diesen Voraussetzungen ist die wesentliche Grundlage für eine Optimierung die Überprüfung der energetischen Effizienz, entweder anhand der vom Hersteller zur Verfügung gestellten Kennlinien oder durch Messungen an dem in Betrieb befindlichen Aggregat. Eine Untersuchung auf der Kläranlage Selbitztal führte zu folgenden Ergebnissen: Zur Druckluftherzeugung werden dort 3 Turboverdichter und ein Drehkolbengebläse eingesetzt. Durch Optimierungen im Bereich der Belüfter und wegen der geringen Auslastung liegt der Luftbedarf heute deutlich unter der Auslegungsmenge. Im Normalbetrieb reicht ein einziger Turboverdichter für die Luftversorgung aus. Bei belastungsschwachen Zeiten läuft das Aggregat im Teillastbereich an der unteren Grenze bei etwa 40 % des Volllastpunktes. Sinkt der Luftbedarf noch weiter, springt das Drehkolbengebläse an. Vergleicht man die Kennlinien (Abb. 1), dann arbeitet das Drehkolbengebläse bei Volllast energetisch günstiger als der Turboverdichter im Teillastbetrieb. Eine Optimierung lässt sich daher schon mit „Bordmitteln“ vorneh-

men, indem die Einschaltung des Drehkolben-gebläses nicht wie bisher erst dann vorgenommen wird, wenn der Turboverdichter längere Zeit auf Minimum läuft, sondern am Punkt der maximalen Luftmenge des Drehkolbengebläses. Nach Rücksprache mit dem Hersteller kann das Drehkolbengebläse zudem noch mit geringem Kostenaufwand durch eine andere Keilriemen-übersetzung in der Luftmenge nach oben angepasst werden. Dadurch lässt sich der Einschalt- punkt noch weiter verschieben. Die zu erwartende Energieeinsparung liegt bei rd. 100.000 kWh pro Jahr bei einem einmaligen Kostenauf- wand von rd. 5.000 EUR.

Im Bereich der Luftverteilung wurden früher oft einfache Klappen oder sogar Plattenschieber eingesetzt. Diese sind jedoch für eine Verstel- lung der Luftmenge gänzlich ungeeignet. Am Markt ist eine hinreichend große Auswahl an Regulierringen verfügbar, allerdings in einer nicht unwesentlichen Kostenbandbreite. Hier muss der Anwender selbst entscheiden, welche Genauigkeits- und Qualitätsansprüche er stellt. Zwei Dinge sind zu beachten: Erstens liegt die Lebensdauer der Regulierringe bei etwa 20 - 25 Jahren. Dadurch relativieren sich die hohen Anschaffungskosten. Nach der Umrechnung in Jahreskosten wird man feststellen, dass der Betrag angesichts der durch eine höhere Ge- nauigkeit erzielbaren Einsparungen nachrangig ist. Zweitens ist großer Wert auf die Vorgabe der tatsächlich zu regulierenden Luftmenge zu le- gen. Nichts ist für eine Regelung ungünstiger als ein zu groß dimensioniertes Stellorgan.

Bei den Belüftern sind in den vergangenen Jah- ren umfassende Erfahrungen mit dem Betriebs- verhalten gemacht worden. Die vor etwa 8 - 10 Jahren aufgeworfene Problematik der biogenen Schädigung von EPDM-Belüftern ist durch eine andere Materialwahl (resistente EPDM- Mischung, Silikon) vermeidbar. Regelmäßige Spülungen der Belüfter tragen ebenfalls zur ver- längerten Lebensdauer bei. Oft sind die Systeme überdimensioniert und zu viele Belüfter in den Becken eingebaut. Hier ergibt sich neuer- dings bei einer Sanierung eine interessante Op- timierungsmöglichkeit, indem nicht wie vor eini- gen Jahren einfach die Zahl der Belüfter redu- ziert wird, sondern indem bei gleicher Belegung die Schlitzung der Belüfter verändert wird. Da- durch wird die gute Verteilung in der Fläche bei-

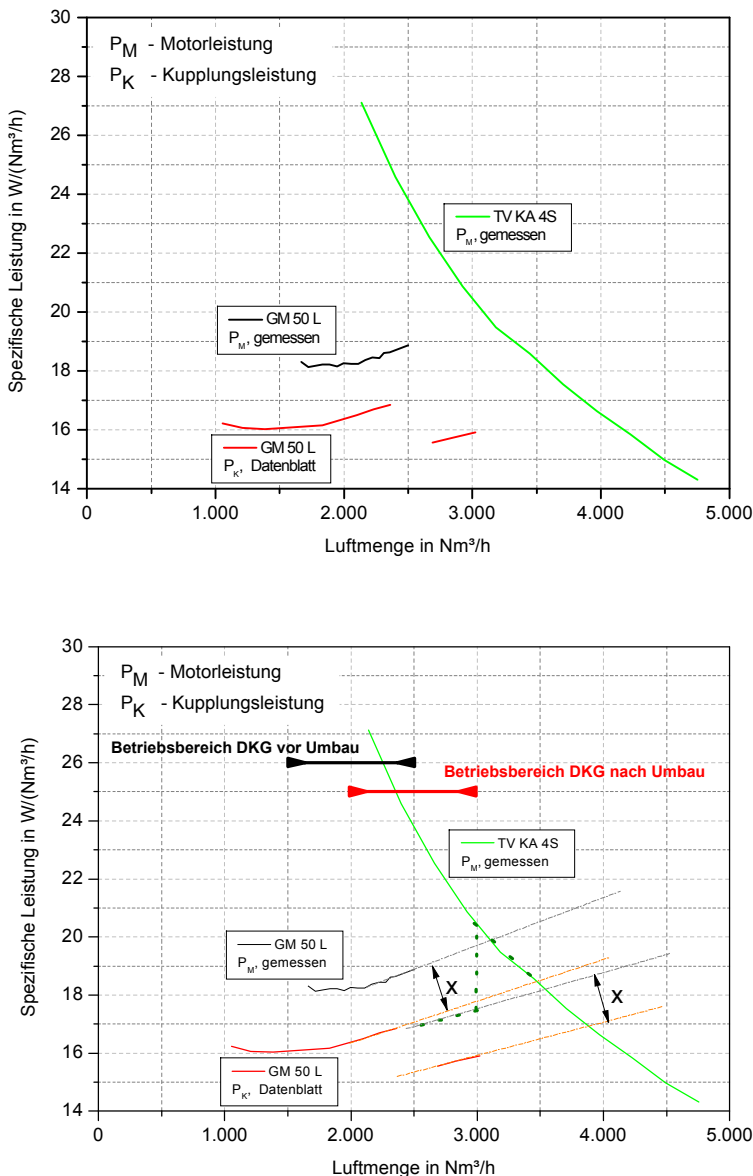


Abbildung 1: Situation/Kennlinien vor und nach dem Umbau

behalten und zugleich die Effizienz des Sauerstoffeintrags erhöht. Eine Alternative besteht darin, Teilflächen in den belüfteten Becken auszusparen und dadurch eine gezielte Strömung in vertikaler Richtung zu erzeugen, weil sich dadurch das Verweilzeitverhalten und die Durchmischung verbessern lassen.

### **3. Energieeffizienz beim Heben, Fördern und Pumpen**

Abwasser und Schlamm müssen auf einer Kläranlage auf vielfältige Art und Weise bewegt und transportiert werden. Abhängig von den topografischen Gegebenheiten und der Verfahrenstechnik sind folgende Pumpwerke anzutreffen:

- Zulaufpumpwerk
- Rohschlammumpwerk
- Rücklaufschlamm-/Überschussschlammumpwerk
- Rezirkulationspumpen
- diverse Pumpen im Bereich der Schlammbehandlung
- Kellerentwässerungspumpen, Dosierpumpen

Für alle genannten Aufgabenstellungen gibt es heute geeignete Pumpen, die sich im Wesentlichen durch die Aufstellungsart (nass, trocken), das hydraulische Grundprinzip (Strömungsmaschine, Verdrängerpumpe, Schnecke etc.), die Bauform (radial, axial) und die Art des Laufrades (Freistromrad, Kanalrad, Schraubenrad, Axial-/Halbaxialrad) unterscheiden. Neben diesen betriebs- und strömungstechnischen Angaben sind für die vollständige Spezifikation weitere Angaben zur Abdichtung, zur Werkstoffauswahl, zur Art des Antriebes und zur elektrischen Anschlusstechnik erforderlich. Ausführliche Hinweise zu diesen Grundlagen finden sich im

Energiehandbuch und in der aufgeführten Literatur (Hellmann et. al., 2003, Holzenberger et. al., 1989, Weismann, 1999).

Insgesamt ist anzustreben, dass einerseits eine möglichst hohe Prozess- und Betriebssicherheit erreicht wird und auf der anderen Seite ein niedriger Energieverbrauch. Auf die energetische Effizienz muss grundsätzlich umso mehr geachtet werden, je länger die Pumpe dauernd in Betrieb ist. Bei einem Hochwasserpumpwerk, welches nur 1 - 2 x pro Jahr anspringt, ist die Effizienz sicherlich zweitrangig; hier steht ganz klar die Betriebssicherheit im Vordergrund. Dagegen ist bei dauernd laufenden Zulaufpumpwerken, Rücklaufschlamm- und Rezirkulationspumpen sowie Umwälzpumpen im Bereich der Schlammbehandlung ein sparsamer Umgang mit der Energie in jedem Fall angezeigt.

Der theoretische Energieverbrauch für das Pumpen ergibt sich aus den physikalischen Grundgleichungen. Er ist abhängig von der Fördermenge und der Förderhöhe und liegt bei 2,7 Wh/(m<sup>3</sup> m). Weil ein völlig verlustfreier Betrieb in der Praxis nicht möglich ist, liegen die realen Verbrauchswerte bei 3 - 11 Wh/(m<sup>3</sup> m) entsprechend einem Gesamtwirkungsgrad zwischen etwa 30 und 80 %. Ein Wert für den spezifischen Energieverbrauch zwischen 4 - 5 Wh/(m<sup>3</sup> m) wird in der Praxis nur selten erreicht. Oft sind Werte zwischen 6 - 8 Wh/(m<sup>3</sup> m) anzutreffen. Bei Werten darüber ist eine Überprüfung der Situation angezeigt, vor allem wenn die Pumpe im Dauerbetrieb läuft.

Die Auslegung einer Pumpe bzw. eines Pumpwerks erfordert die Betrachtung der Anlage bzw. Aufgabenstellung auf der einen Seite und des

Aggregates auf der anderen Seite. Je nach Komplexität und Betriebsbedingungen sind Berechnungen durchzuführen, um die hydraulischen Verhältnisse möglichst genau abzuklären. Man erhält auf diese Weise die sog. Anlagen- oder Rohrnetzkenlinie (Förderhöhe in Abhängigkeit der Fördermenge), die dann mit der Kennlinie einer geeigneten Pumpe zu überlagern bzw. zu verschneiden ist. Dann ergibt sich für jeden Betriebszustand ein Schnittpunkt. Dieser muss zwingend im zulässigen Kennfeldbereich des Aggregates liegen. Üblicherweise werden in der Planung viele Sicherheiten eingerechnet, so dass nur selten die Förderleistung oder die Förderhöhe nicht erreicht werden. Eine großzügige Auslegung hat jedoch den Nachteil, dass die Pumpe im unteren Bereich aus dem Kennfeld heraus fällt. Möglicherweise treten sogar Betriebspunkte unter der sog. NPSH-Linie auf, die zur Kavitation mit Schäden am Laufrad und Gehäuse führen können. Vor allem erhöht sich der Energieverbrauch, weil die Pumpe nicht im optimalen Bereich betrieben wird.

In der Kläranlagenpraxis wird die Auslegung durch variierende Randbedingungen erschwert, die sich aus dem Tagesgang und durch wechselnde Niederschlagsmengen ergeben. Die wesentlichen Ansatzpunkte für eine Steigerung der energetischen Effizienz im laufenden Betrieb ergeben sich im Umkehrschluss aus einer Überprüfung, ob unter den nunmehr bekannten Betriebsbedingungen die in der Planungsphase zugrunde gelegten Verhältnisse möglichst gut getroffen sind. Aus der Höhe und der Dauer der Abweichung lässt sich dann die mögliche Effizienzsteigerung ableiten.

### **3.1 Überprüfung eines Rücklaufschlamm-pumpwerks**

Mit dem hier betrachteten Rücklaufschlamm-pumpwerk wird der aus zwei Nachklärbecken mit Regelarmaturen abgezogene Schlamm aus einem gemeinsamen Pumpensumpf in die Belebung gefördert. Wegen der topografischen Gegebenheiten ist dabei eine ungewöhnlich große geodätische Höhe von ca. 4,70 m zu überwinden. Der Trockenwetterzufluss beträgt 1.400 m<sup>3</sup>/h und der Regenwetterzufluss 2.880 m<sup>3</sup>/h. Im Normalbetrieb ist ein Rücklaufverhältnis von 0,75 bezogen auf die tatsächliche Ablaufmenge eingestellt.

Das Pumpwerk besteht aus 3 gleich großen Pumpen, wovon eine als redundante Reserve vorgesehen ist. Es handelt sich um Kanalrad-pumpen im Rohrschacht mit einer Förderleistung zwischen 200 und 1.600 m<sup>3</sup>/h. Die Drehzahl bzw. der Förderleistung aller drei Pumpen kann mit Frequenzumrichtern stufenlos verstellt werden. Die Nennleistung liegt bei 37 kW.

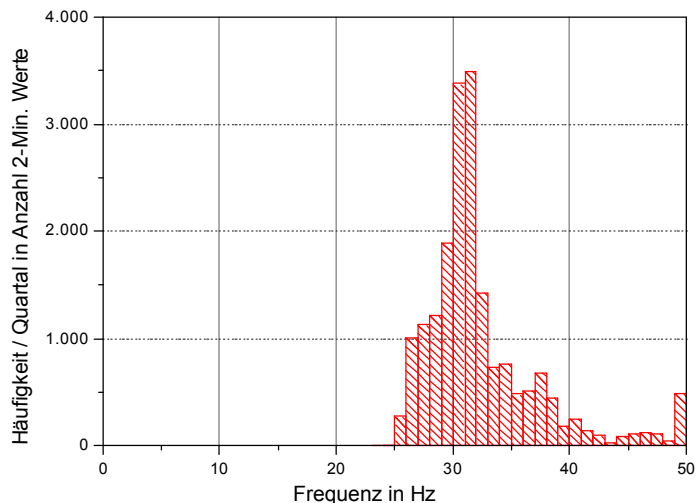
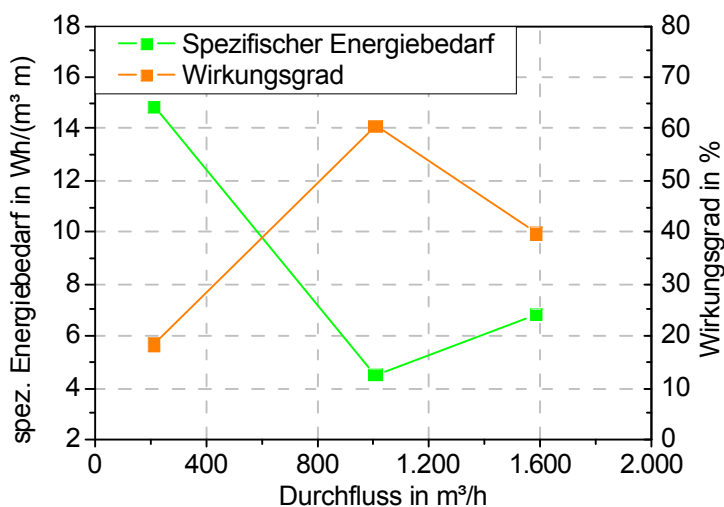
Auf den ersten Blick ist die Auslegung des Pumpwerks sowohl in Bezug auf die Wahl der Aggregate selbst als auch auf die Kombination und die Staffelung korrekt. Nach den Herstellerdaten (Kennlinien) liegt der spezifische Energiebedarf im Volllastpunkt bei 5 Wh/(m<sup>3</sup> m). Bei Trockenwetterzufluss kann die vorgesehene Rücklaufschlammmenge mit einer der drei Pumpen bei etwa 90 % Last gefördert werden; ein energetisch ungünstiger Parallelbetrieb wird dadurch vermieden.

Für das betrachtete Pumpwerk wurden die Leistungsdaten durch Messungen (elektrische Wirkleistung, Durchfluss, Förderhöhe) im eingebau-



ten Zustand verifiziert. Die ermittelten Werte stimmen mit den Prüfstandswerten (Werksprüfprotokoll) exakt überein. Die sich daraus ergebenden Werte für den spezifischen Energieverbrauch sind in der Abb. 2 dargestellt. Es ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung mit den Herstellerangaben und mit den zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme durchgeführten Referenzmessungen, was nach 10 Betriebsjahren ohne nennenswerte Störungen und Schäden insgesamt erfreulich ist.

Der Planer des Pumpwerks wäre zu beglückwünschen, wenn im realen Betrieb die der Bemessung zugrunde gelegten Wassermengen tatsächlich auftreten würden. Leider ist das nach den aufgezeichneten Messwerten nicht der Fall. Der Trockenwetterzufluss wird allenfalls im Jahresmittel erreicht. Die im Tagesrhythmus auftretenden Schwankungen, Regenwetter und jahreszeitliche Einflüsse führen dazu, dass in der überwiegenden Zeit deutlich kleinere oder größere Wassermengen anfallen. Folglich wird auch der energetisch optimale Betriebszustand nur selten angetroffen.



**Abbildung 2: Energetische Kennwerte der Pumpe und Häufigkeit der Betriebspunkte**

Auf der betreffenden Kläranlage werden alle Stellwerte der eingesetzten Frequenzumrichter im Prozess-Leitsystem aufgezeichnet, so auch die der Rücklaufschlammumpen. Diese Daten wurden für einen repräsentativen längeren Zeitraum untersucht. Die Analyse der Häufigkeiten ist dabei besonders interessant. Demnach wird gerade der Bereich nahe des Volllastpunktes bei etwa 45 Hz, in dem die Pumpe energetisch optimal laufen würde, mit der geringsten Häufigkeit angetroffen. Die meiste Zeit verbringt die Pumpe bei einer Frequenz um die 30 Hz; das entspricht einem Durchfluss von 200 - 400 m³/h (Abb. 2). Das ist aber gerade der Bereich mit dem schlechtesten Wirkungsgrad.

Es ist müßig, die Ursachen für diese Abweichungen von der Bemessung zu analysieren. Vielmehr muss man aus solchen Ergebnissen die Lehre ziehen, dass man energieintensive Aggregate auf Kläranlagen, deren Betriebspunkt von der Belastung abhängt, nicht punktgenau auslegen sollte, sondern für einen weiten Betriebsbereich. Das erfordert zuweilen die Abkehr von den bisherigen Paradigmen wie die hier an-

zutreffende Auslegung mit 3 gleich großen Aggregaten. Mit einer ungleichen Staffelung (klein - groß) lassen sich die auftretenden Bandbreiten im Durchfluss wesentlich besser abdecken.

Als Maßnahme zur Verbesserung der Situation wurde daher vorgeschlagen, anstelle der Reservepumpe ein kleineres Aggregat einzusetzen. Ein passendes Aggregat des Herstellers wurde zwischenzeitlich schon ausgewählt. Es wird noch geprüft, ob die neue Pumpe sogar in die vorhandene Aufnahme passt; sonst muss noch ein Adapter angefertigt werden.

Die neue Pumpe wird so ausgelegt, dass sie ihren energetischen Bestwert in dem am häufigsten auftretenden Lastbereich erreicht. Damit ergibt sich gegenüber der heutigen Situation eine Verbesserung des spezifischen Energieverbrauchs um ca.  $10 \text{ Wh/m}^3 \text{ m}$ . Unterstellt man, dass die Pumpe etwa zu einem Drittel der Zeit dort betrieben wird, dann ergibt sich ein Energieeinsparpotenzial von  $10 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ m}) * 4,7 \text{ m} * 300 \text{ m}^3/\text{h} * 3.000 \text{ h} = 42.300 \text{ kWh/a}$ . Mit den eingesparten Energiekosten von rd. 5.000 EUR/a amortisiert sich eine neue kleine Pumpe in kurzer Zeit.

Zwischenzeitlich wurden im Rahmen von Energieanalysen eine ganze Reihe weiterer Pumpwerke auf Kläranlagen überprüft. Aus den Ergebnissen dieser systematischen Analysen liegen für fast alle gängigen Pumpentypen und Einsatzfälle Erfahrungswerte vor. Die Untersuchungsmethoden werden laufend verfeinert und rationalisiert mit dem Ziel, Effizienzpotenziale möglichst schnell zu erkennen, abzuschätzen und praktikable Vorschläge zur Verbesserung der Situation vorzulegen.

### **3.2 Überprüfung eines Schneckenpumpwerks**

Die Effizienz von Schneckenpumpwerken und die Vorteile eines drehzahlgeregelten Betriebes sind ein Thema, das weder in der Praxis noch in der Literatur abschließend behandelt ist. Nach hier vorliegenden Optimierungsergebnissen ist durch Drehzahlregelung durchaus eine Verbesserung der energetischen Effizienz im Bereich von 10 - 20 % zu erzielen. Durch Drehzahlregelung nach dem Füllstand im Pumpensumpf kann das Niveau genau in der Höhe des Füllpunktes gehalten werden. Dadurch werden hydraulische Verluste vermieden, die bei niedrigerem Wasserstand durch das „Schlagen“ der Schnecke im Wasser auftreten. Die hydraulischen Verluste sind anteilig die größten. Verluste durch Keilriemenantrieb, Motoren und Getriebe sind im Vergleich geringer.

Die Ursachen für eine schlechte energetische Effizienz können sich auch aus dem betrieblichen Verschleiß ergeben. Dieser kann schnell und einfach beurteilt werden, wenn zur Drehzahlverstellung ein Frequenzumrichter vorhanden ist. Man betreibt die Schnecke dann mit sehr geringer Drehzahl, so dass sich die einzelnen Gänge bis fast an den Rand füllen. Ein Vergleich des Füllgrades der Schnecke auf dem Weg des Wassers nach oben liefert oft erstaunliche Ergebnisse. Bei der kürzlich durchgeführten Überprüfung eines energetisch auffälligen Schneckenpumpwerks zeigen Fotos vom laufenden Betrieb, dass im oberen Bereich nicht einmal die Hälfte des Wassers ankommt, welches die Schnecke unten aufgenommen hat. Deshalb steht hier eine Sanierung des Schneckenpumpwerks oder der Schnecke selbst an.

#### 4. Energieeffizienz bei der Umwälzung

Im Bereich der Belebung muss das Belebtschlamm-Abwasser-Gemisch ständig umgewälzt werden, um ein Absetzen des belebten Schlamms zu verhindern. Bei den belüfteten Becken ist durch den Lufteintrag eine hinreichende Durchmischung gewährleistet. In den unbelüfteten Becken kommen spezielle Umwälzaggregate zum Einsatz.

Nach der Wasserbewegungsrichtung unterscheidet man Horizontal- und Vertikalrührwerke. Bei der Bauform gibt es Varianten hinsichtlich der Drehzahl (langsam laufend, mittelschnell und schnell laufend) und der Zahl der Flügel des Laufrades. Die überwiegende Anzahl ist zweiflügelig aufgebaut; seltener kommen 3flügelige Aggregate zum Einsatz.

Die Auslegung wurde lange Zeit alleine nach dem Energieeintrag vorgenommen. Im Arbeitsblatt A 131 wurde noch Anfang der 90er Jahre ein Wert von 3 - 8 W/m<sup>3</sup> vorgegeben. Dieser wurde später auf 1,5 - 3 W/m<sup>3</sup> reduziert. An dieser Angabe orientiert sich die Auslegung auch heute noch.

Der Energieeintrag ist jedoch nicht die entscheidende Auslegungsgröße, viel wichtiger ist der Propellerschub. Die strömungstechnischen Grundlagen dazu sind nicht ganz einfach. Soweit hier Informationsbedarf besteht, sollte man sich umfassend anhand von Seminarunterlagen oder Veröffentlichungen zu diesem Thema (Frauendorf, 2000) einarbeiten. In diesem Beitrag wird wegen der hohen Komplexität nicht weiter darauf eingegangen.

Um dennoch ein Gefühl für die speziellen Eigenheiten bei der Auslegung und das Verhalten im praktischen Kläranlagenbetrieb zu erhalten, kann man den Vergleich mit dem Antrieb eines Schiffes heranziehen. Schließlich handelt es sich strömungstechnisch um das gleiche Grundproblem der Relativbewegung zwischen Propeller und Wasser. Beim Umwälzen bewegt sich das Wasser relativ zum feststehenden Propeller/Rührwerk. Im Vergleich bewegt sich ein Schiff relativ zum stehenden Wasser.

Der Energieertrag in W/m<sup>3</sup> ist ein erster Anhaltswert für die überschlägige Auslegung oder die grobe energetische Bewertung. Bei dieser Angabe handelt es sich eigentlich nicht um eine echte Auslegungsgröße, sondern um einen vergleichenden Kennwert. Bei einem Schiff sagt die auf die Größe bezogene Motorleistung auch zunächst nichts über das Verhalten im Fahrbetrieb aus. Es ist nicht ersichtlich, ob der Antrieb richtig dimensioniert ist und vor allem nicht, ob die Fortbewegung des Schiffes energiegunstig erfolgt.

Die für die Umwälzung bzw. die Fortbewegung des Schiffes entscheidende physikalische Größe ist der Schub. Die Schubkraft des Schiffspropellers bestimmt die Geschwindigkeit und die für die Erzeugung der Schubkraft benötigte Energie die energetische Effizienz. Mit der vom Propeller erzeugten Schubkraft muss das Schiff beschleunigt und in Bewegung gehalten werden; ein fest stehendes Rührwerk in einem Becken muss genau das mit dem Belebtschlamm-Abwasser-Gemisch leisten.

Bleibt man bei dem Vergleich Umwälzung-Schiff, dann kommt es bei der Auslegung von

Rührwerken mit dem Ziel eines energieeffizienten Betriebes besonders darauf an, dass die sich ergebende Geschwindigkeit nur so groß ist, dass sich der Schlamm gerade nicht absetzt. Und genau in diesem Betriebspunkt muss der Energieverbrauch optimal sein.

Bei der Lösung dieser Aufgabenstellung sind in den letzten 10 - 20 Jahren enorme technische Fortschritte erzielt worden. Die besten Ergebnisse werden heute mit großen langsam laufenden Rührwerken erzielt. Die früher oft eingebauten mittelschnell laufenden kleinen Propeller erreichen bei weitem nicht diese hohe energetische Effizienz. Die Entwicklung der spezifischen Verbrauchswerte der letzten 20 Jahre ist in der Abb. 3 dargestellt.

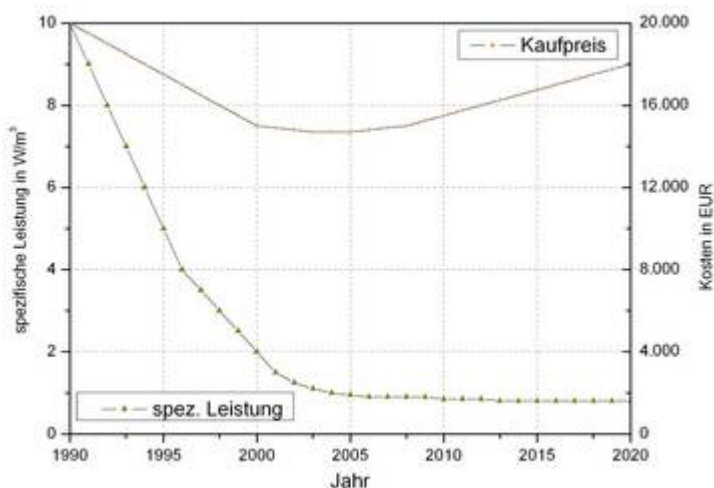


Abbildung 3: Spezifische Verbrauchswerte und Kaufpreis eines Rührwerkes

Eine weitere Verbesserung der Effizienz der Rührwerke selbst ist kaum noch zu erwarten. Neue interessante Optimierungsansätze ergeben sich allerdings durch strömungstechnische Untersuchungen (CFD, Strömungssimulation) mit dem Ziel, die hydraulischen Bedingungen durch die Gestaltung der Becken und die Beeinflussung der Fließwege zu verbessern. Außerdem kann mit diesem Werkzeug der kombinierte Betrieb von Umwälzung und Belüftung beurteilt werden. Nicht selten können als Ergebnis solcher Analysen sogar einzelne Rührwerke eingespart werden (Armbruster, 2009). Insofern können die nicht unerheblichen Kosten einer solchen Untersuchung durchaus eine gute Investition sein.

## 5. Ausblick

Es wurde an einfachen Beispiel gezeigt, dass auf Kläranlagen im Bereich der Belüftung, der Umwälzung und Förderung von Abwasser noch große energetische Potenziale vorhanden sind. Bei der Belüftung ergeben sich bei allen Einzelkomponenten (Verdichter, Verteiler und Belüfter) Einsparmöglichkeiten. Bei der Förderung von Abwasser kommt es auf die möglichst gute Anpassung der Aggregate auf die tatsächlichen Betriebszustände an. Bei der Optimierung der Umwälzung gilt es, uneffiziente Rührwerke auffindig zu machen und zeitnah durch moderne und hocheffiziente Aggregate zu ersetzen. Durch eine Strömungssimulation lässt sich dann der Energieverbrauch zwar kaum noch verbessern, jedoch können möglicherweise Aggregate komplett eingespart werden, und es lassen sich verfahrenstechnische Vorteile (höhere Verweilzeiten, reduzierte Sauerstoffverschleppung, Vermeidung von Ablagerungen, etc.) erzielen.

Die Abwasserbranche kann sich durchaus mit anderen Bereichen in der Energieeffizienz messen lassen. Das sollen die folgenden beiden Vergleiche zeigen:

- Mit einer elektrischen Leistung von nur 0,5 kW lässt sich heute ein Becken mit einem Inhalt von 500 m<sup>3</sup> umwälzen. Blickt man im Vergleich auf die für energetische Effizienz bisher nicht unbedingt sensible IT-Branche, dann besteht dort durchaus noch Nachholbedarf. Eine Leistung von 0,5 kW bzw. 500 W reichte bisher kaum aus, um einen PC zu betreiben. Nach aktuellen Hochrechnungen sind weltweit 14 (!) Großkraftwerke erforderlich, um die Server von „Google“ zu betreiben. Obwohl die Internetdienstleister (auch Google) dies bislang öffentlich bestritten haben, setzt auch hier allmählich ein Umdenkprozess ein: Energie sparende EDV-Geräte werden neuerdings mit dem Label „Green-IT“ ausgezeichnet.
- Die deutlichen Unterschiede zwischen (hocheffizienten) Rührwerken und einer im Teillastbereich laufenden Pumpe kann man an dem oben beschriebenen Beispiel festmachen. Die dort behandelte Rücklaufschlammpumpe würde bei weiterer Reduzierung der Drehzahl bis zu Null-Fördermenge immer noch eine Leistung von 10 kW verzehren. Das ist bei der betreffenden Kläranlage genauso viel, wie alle (energetisch sehr effizienten) Rührwerke auf der Anlage zusammen verbrauchen.

Mit dem Blick nach vorne lässt sich also durchaus das Ziel einer 4 - 10fachen Verbesserung der energetischen Effizienz angehen (Schmidt-

Bleek, et. al., 2008). Die Abwasserbranche hat mit den Kläranlagen die Chance, sich als Kristallisationspunkt für neue, fortschrittliche Ideen im Energiebereich in einer durchaus diskutablen und vorzeigbaren Größenordnung im kommunalen Umfeld zu positionieren. Auch wenn der Beitrag gemessen an der volkswirtschaftlichen Größenordnung des Energieverbrauchs und der Energieproduktion gering ist, kann die regionale Signalwirkung durchaus prägend sein für die zukünftige Entwicklung einer dezentralen kommunalen Energieversorgungsstruktur (Held et. al., 2006).

## Literatur

[1] Frauendorf, G.: Tauchmotor-Rührwerke zur wirtschaftlichen Strömungsbildung in Belebungsanlagen, Korrespondenz Abwasser 47 (11), 2000, S. 1634-1636

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

[3] Holzenberger, K., Jung, K.: Kreiselpumpenlexikon, Schneiderdruck GmbH, 1989, 3. Auflage

[4] Armbruster, M.: Persönliche Mitteilung über die Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen mittels Strömungssimulation

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

[6] Hellmann, D.-H., Riegler, G.: Maschinentechnik in der Abwasserreinigung, WILEY-VCH Verlag, 2003

[7] Rubner, J.: Das Energiedilemma - Warum wir über Atomkraft neu nachdenken müssen, Pantheon Verlag, August 2007

[8] Schmidt-Bleek, F.: Nutzen wir die Erde richtig? Die Leistungen der Natur und die Arbeit des Menschen, 4. Auflage, April 2008, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt

[9] Seibert-Erling, G.: Energieanalysen der Kläranlagen Biggetal, Iserlohn-Baarbachtal und Hemer des Ruhrverbandes, Kerpen, Dezember 2008 (unveröffentlicht)

[10] Seibert-Erling, G.: Erfolgskontrolle von energetischen Feinanalysen, Beitrag zum DWA-Seminar Energieoptimierung auf Kläranlagen am 24.6.2008 in Köln

[11] VDI, Mitteilung der GET, [www.vdi.de/fileadmin/vdi\\_de/redakteur\\_dateien/get\\_dateien/Energiebild.pdf](http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/get_dateien/Energiebild.pdf)

[12] von Weizsäcker, Ernst Ulrich, Lovins, Amory B., Lovins, L.Hunter: Faktor vier - Doppelter Wohlstand - halbiertes Verbrauch / Der neue Bericht an den Club of Rome, Droemersch Verlagsgesellschaft Th. Knauer Nachf., München, 1995

[13] Weismann, D.: Kommunale Abwasserpumpwerke, Vulkan-Verlag 1999

### Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. G. Seibert-Erling

Augustinusstraße 9b

50226 Frechen

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





**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