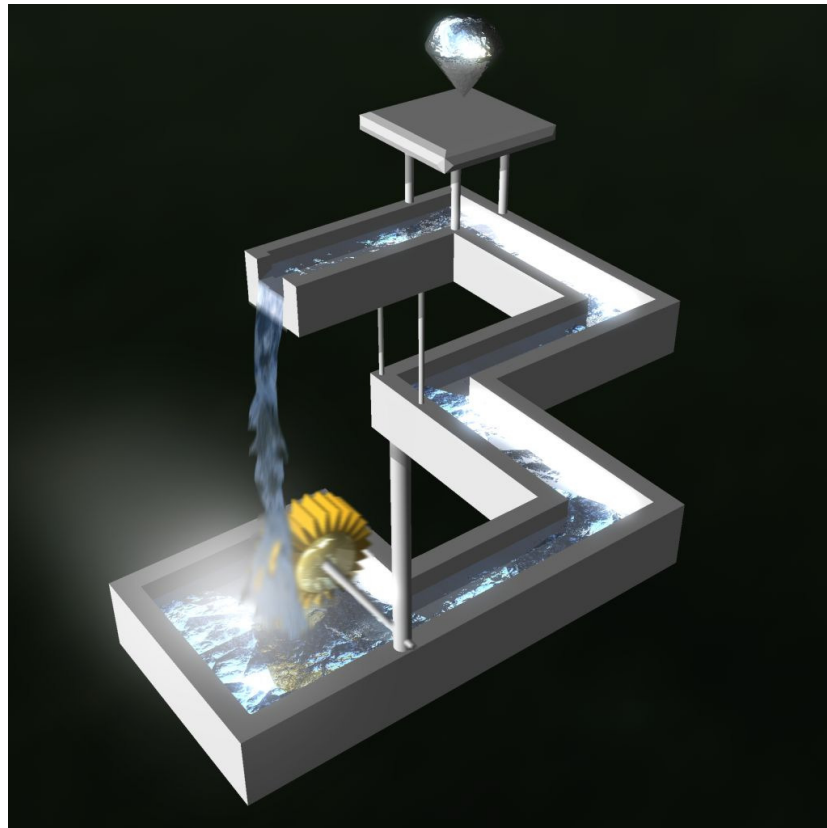


Energieanalysen als Instrumente zur Prozessoptimierung

In (Ab-)Wasser steckt unendlich viel Energie



Dr.-Ing. G. Seibert-Erling

Beitrag zur Fachtagung

„Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft –

Schwerpunkt Energieoptimierung von Kläranlagen“

(Kaiserslautern, 19.11.2007)



john becker
ingenieure

1 Einleitung und aktuelle Situation

Die Leistungsfähigkeit der Kläranlagen lässt sich durch Optimierungsmaßnahmen noch beträchtlich steigern. Die Schaffung zusätzlicher Kapazitäten gelingt heute oft ohne größere bauliche Erweiterungen allein durch den Einsatz neuer Verfahrens- oder Anlagentechniken. Aber auch wenn keine Erweiterungen anstehen, ist eine Prozessoptimierung angezeigt um einerseits die Reinigungsleistung weiter zu steigern und andererseits die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu verbessern.

Die früher oft angeführte Behauptung, dass eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs nur unter Inkaufnahme einer schlechteren Reinigungsleistung zu erreichen ist, wurde zwischenzeitlich durch viele Projektbeispiele widerlegt. Eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg einer energetischen Optimierung ist allerdings eine interdisziplinäre Herangehensweise an die Aufgabe. Im Alleingang der Disziplinen und nur auf der Basis von theoretischen Berechnungen geht die Optimierung in der einen Disziplin zu Lasten einer anderen. Am Ende hat das Betriebspersonal das Nachsehen und muss sich für nicht realisierbare Vorschläge rechtfertigen. Nur wenn elektrotechnischer und verfahrenstechnischer bzw. anlagentechnischer Sachverstand gemeinsam agieren und zudem das erforderliche betriebs-technische Verständnis aufbringen, gelingt der Spagat einer umfassenden und nachhaltigen Verbesserung.

Kläranlagen sind große Stromverbraucher und oft der größte Einzelverbraucher innerhalb einer Kommune (Bild 1). Außerdem ist die Menge des bei der Schlammfäulung anfallenden Klärgases nicht unbeträchtlich und kann nach neueren Erkenntnissen durch eine Ausnutzung der vorhandenen baulichen Kapazitäten noch wesentlich erhöht werden.

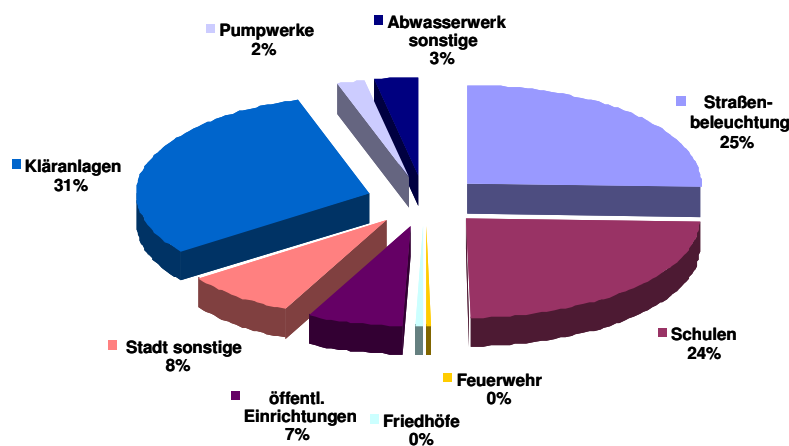


Bild 1: Typische Aufteilung des Stromverbrauchs einer Kommune

Mit der in den 90er Jahren eingeleiteten Liberalisierung des Energiemarktes und den in den nächsten Jahren anstehenden weitreichenden Maßnahmen zur Erreichung der politisch abgesteckten Klimaziele ergeben sich zukünftig wesentlich veränderte Randbedingungen. Für die Kläranlagen sind dabei neben den drastisch steigenden Stromkosten vor allem die zu erwartenden Verpflichtungen zu einer möglichst hochwertigen Nutzung des anfallenden Klärgases (Primärenergie!) wichtige Eckpfeiler für die Erstellung von Energiekonzepten und

die energetische Optimierung. Die bisherigen Energiekonzepte für Kläranlagen basieren meist auf einer Nutzung des anfallenden Klärgases zur Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung mittels BHKW) mit dem Ziel, den hohen Stromverbrauch möglichst vollständig durch Eigenerzeugung zu decken. Diese in der Abwasserbranche schon seit etwa 25 Jahren kursierende Idealvorstellung einer energieautarken Kläranlage umfasst allerdings nur den Strom. Bezieht man die für den Klimaschutz ebenfalls relevante Wärmesituation ein und verlangt zudem eine möglichst hohe Primärenergieausnutzung, dann ergeben sich unter Berücksichtigung des Trends zu dezentralen Energieversorgungsstrukturen alternative Möglichkeiten, die den neuen Anforderungen besser gerecht werden und eine deutlich höhere Flexibilität bei der Gestaltung von Energiekonzepten zulassen.

Für die Energieoptimierung im Abwasserbereich haben sich unterschiedliche Methoden und Instrumente etabliert und in der Praxis bewährt, u. a. das Benchmarking, um aus dem Vergleich mit anderen Anlagen und Betreibern Hinweise auf Verbesserungsmöglichkeiten abzuleiten, die Simulation als Ergänzung zur konventionellen Bemessung und zur verfahrenstechnischen und betrieblichen Optimierung oder der Vergleich von spezifischen Kennzahlen für einzelne Aggregate oder Verfahrensstufen. An vorderster Stelle dürfte allerdings die sog. Energieanalyse stehen, die speziell auf die verfahrens- und prozesstechnischen Belange der Kläranlagen zugeschnitten ist mit dem Ziel einer wirtschaftlichen und effizienten Energienutzung.

2 Das Instrumentarium der Energieanalyse

Entwicklung der Instrumente

Die Methode der systematischen Energieoptimierung wurde ursprünglich vor ca. 15 Jahren in der Schweiz entwickelt und in den folgenden an vielen schweizerischen Kläranlagen erprobt und verfeinert. In diesem Zuge entstand das erste Handbuch „Energie in Abwasserreinigungsanlagen“.

Beeindruckt von Veröffentlichungen und Vorträge über die großen Potenziale durchgeführter Analysen beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen (früher: MURL = Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft) Mitte der 90er Jahre den schweizerischen Initiator Ernst A. Müller mit der Entwicklung eines Instrumentariums, mit dem die Energiesituation der kommunalen Kläranlagen landesweit überprüft und verbessert werden sollte. Wichtigstes Element war das auf der schweizerischen Vorlage aufbauende Handbuch Energie in Kläranlagen NRW [1], das von einer interdisziplinär zusammengesetzten Autorengruppe aus Abwasser- und Energiefachleuten erstellt und dabei von einer Arbeitsgruppe aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Betreibern unter Leitung des Landesumweltamtes begleitet wurde. Es enthält als Nachschlagewerk die grundlegenden Zusammenhänge über den Energiehaushalt von Kläranlagen, gibt Hinweise auf mögliche Einsparungen und vermittelt die systematische Vorgehensweise zur Durchführung von Energieanalysen. Es wird ergänzt durch eine Broschüre mit bereits durchgeführten Musterenergieanalysen [2] und ein EDV-Programm zur Durchführung der notwendigen Berechnungen und zur einheitlichen Darstellung der Ergebnisse. Es war vorgesehen, dass die Energieanalysen von auf diesem Fach-

gebiet tätigen Ingenieurbüros durchgeführt werden, wobei die entsprechende Zusatzqualifikation durch Schulungen oder gleichwertige Nachweise belegt sein sollte.

Als Anreiz für die Durchführung einer Energieanalyse wurde vom MUNLV die Erstellung eines entsprechenden Gutachtens im Rahmen der „Initiative ökologische und nachhaltige Wasserwirtschaft“ mit bis zu 70% der Kosten des Gutachtens gefördert. Dies hat dazu geführt, dass in den Jahren 1999 – 2005 eine fast flächendeckende Verbreitung erzielt wurde; über die großen ermittelten Potenziale wurde bereits mehrfach berichtet [3], [4]. Zu beklagen bleibt allerdings, dass die Umsetzung der Maßnahmen selbst bei hoher gegebener Rentabilität nur schleppend verläuft. Das erklärt sich möglicherweise durch die zeitgleich mit dem Förderprogramm einhergegangenen Strompreissenkungen etwa um 2001. Durch die danach einsetzende Preisspirale der Stromkosten, deren Ende heute kaum noch absehbar ist, landen viele zunächst in der Schublade verschwundene Analysen jetzt wieder auf den Schreibtischen.

Der Bedarf an einer Fortsetzung der insgesamt erfolgreichen Aktion wird auch dadurch bestätigt, dass vom Umweltministerium das ursprüngliche Förderprogramm in modifizierter Fassung neu aufgelegt wurde. Der Fördersatz liegt weiterhin bei 70% der Kosten des Gutachtens. Der Umfang der Analysen wurde über die Kläranlage hinaus auf sämtliche Abwasseranlagen einschließlich Kanalnetz und Pumpwerke ausgedehnt. Als durchaus sinnvolle Bedingung für die Förderung wird allerdings gefordert, dass die Umsetzung der sog. Sofortmaßnahmen nachzuweisen ist.

Vorgehensweise und Leistungsumfang einer Energieanalyse

Nach dem Handbuch gliedert sich die Vorgehensweise bei der Energieanalyse einer Kläranlage in 4 Schritte (Bild 2):

- Mit der Grobanalyse wird die Kläranlage zunächst anhand weniger und einfach zu ermittelnder Betriebswerte energetisch eingeordnet.
- Bei der Feinanalyse werden die Verbrauchswerte nach Teilanlagen differenziert und mit theoretischen berechneten Werten gemäß Handbuch verglichen. Soweit sich dabei Abweichungen nach oben ergeben, muss untersucht werden, mit welchen technischen oder organisatorischen Maßnahmen eine Verbrauchssenkung möglich ist. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden die dafür erforderlichen Aufwendungen dem resultierenden Nutzen gegenübergestellt.
- Die Umsetzung erfolgt nur dann, wenn die einzelnen Maßnahmen oder Maßnahmenpakete wirtschaftlich sind und sich für den Betreiber rechnen.
- Mit der Erfolgskontrolle wird die Einsparung nachgewiesen; ggf. werden korrigierende Maßnahmen veranlasst, um ein optimales Ergebnis zu erhalten.

Der Leistungsumfang für die Grob- und Feinanalyse ist in Form eines Pflichtenheftes im Handbuch detailliert festgelegt. Dadurch wird die für eine Gesamtbewertung der Aktion notwendige Einheitlichkeit gewährleistet.

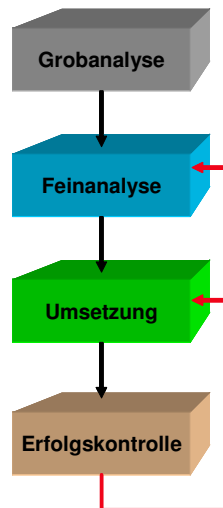


Bild 2: Vorgehensweise bei einer Energieanalyse gem. Handbuch Energie auf Kläranlagen

Vergleichbare Aktivitäten in anderen Bundesländern und den europäischen Nachbarländern

Für das Land Baden-Württemberg hat die Universität Stuttgart aufgrund von Umfragen die energetische Situation auf den Kläranlagen des Landes beleuchtet [5]. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden nach Verfahrensstufen katalogisiert und als Leitfaden für das Betriebspersonal herausgegeben [6].

Die Abwassertechnische Vereinigung (ATV) hat zum Thema die Broschüre Energiebilanzierung auf Kläranlagen [7] herausgegeben, die sich allerdings auf die Problematik des Energieverbrauchs für die Belüftung auf der Basis der CSB-Bilanz beschränkt.

Nach dem Schema des Handbuchs Energie in Kläranlagen NRW wurden seit etwa 2002 auch vermehrt außerhalb von NRW Energieanalysen durchgeführt. Da bei diesen Projekten in der Regel keine finanzielle Förderung erfolgte, war hier erstaunlicherweise oft sogar eine noch höhere Motivation für die Durchführung der Analysen und die nachfolgende Umsetzung der Maßnahmen vorhanden. Untersucht wurden u. a. die Kläranlagen Ahrensburg, Bremen-Seehausen und Nürnberg.

In Österreich wurde eine flächendeckende zeitgleiche Untersuchung an rd. 20 Kläranlagen vorgenommen. Die Ergebnisse sind in einem gemeinsamen Abschlussbericht zusammengefasst. Dieser ist allerdings bisher nicht veröffentlicht, liegt dem Verfasser allerdings vor.

In der Schweiz wurde die Methodik aufgrund der erfolgreichen Ergebnisse im Abwasserbereich zwischenzeitlich auch für die Wasserversorgung eingeführt. Hierzu existiert seit 2005 ein Handbuch, und es liegen die Ergebnisse der ersten Musteranalysen vor [8]. Mit der Erkenntnis, dass das Instrumentarium der Energieanalysen universell anwendbar ist, wurden

die kommunalen Anlagen zu einem neuen Bereich „Infrastrukturanlagen“ zusammengefasst. Ausführliche und aktuelle Informationen dazu sind über die entsprechende Homepage einzusehen <http://www.infrastrukturanlagen.ch>.

Energieanalysen haben auch Eingang in den industriellen Bereich gefunden, hier zunächst für die Werkskläranlagen. Untersuchungen wurden u. a. durchgeführt für die Gemeinschaftskläranlage Wupperverband/BAYER-Werk in Leverkusen sowie für die Infraserb am Standort Wiesbaden. Weiterhin wurden in modifizierter Form branchenspezifische Untersuchungen für Brauereien, Molkereien, Bäckereien, Hotels und Flughäfen durchgeführt.

Kurzum gibt es kaum noch Bereiche, verfahrenstechnische Anlagen oder Produktionsstätten, für die nicht in irgendeiner Form Energieanalysen durchgeführt wurden, aus denen Vergleichs- oder Referenzwerte für weitere Untersuchungen herangezogen werden können. Diese Entwicklung ist insgesamt erfreulich. Dass dabei die Feinanalyse häufig Pate gestanden hat, bestätigt die universelle Anwendbarkeit dieser Methode. Das sollte aber keinesfalls dazu führen, diese als Standard festzuschreiben. Vielmehr muss die Methode aufgrund der Erfahrungen aus den zuletzt durchgeführten Projekten und mit Blick auf die sich ändernden Strukturen im Energiebereich in den nächsten Jahren an die zukünftigen Anforderungen angepasst werden. Das betrifft u. a. die Differenzierung des Energiepreises, die stärkere Berücksichtigung der Wärme, den Nachweis der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten der Aggregate, die Dezentralisierung der Energieversorgung und vor allem die Wertigkeiten der einzelnen Energieformen (fossil, erneuerbar, Klima schädigend, transportierbar, etc.)

3 Zur Motivation der Betreiber und zu den Aktivitäten in der Abwasserbranche

In den ersten Jahren nach Anlaufen des Untersuchungsprogramms in NRW wurden von der DWA (früher ATV-DVWK) Schulungen, Seminare und Tagungen veranstaltet. Die erste größere überregionale Veranstaltung waren im Jahr 2000 die Energietage in Bielefeld.

Bedauerlicherweise ließ dann das Interesse in Erwartung noch weiter sinkender Strompreise (Bild 3) nach. Dies änderte sich auch nach der erkennbaren Trendumkehr in der Preisentwicklung um 2001 nicht sonderlich, obwohl zu diesem Zeitpunkt auch schon erkennbar war, dass der Anteil an Steuern und Umlagen (Ökosteuer, EEG- und KWK-Umlage) absehbar zu einer merklichen Preissteigerung beitragen würde. Rückblickend wäre es möglicherweise wirkungsvoller gewesen, die Ökosteuer nicht „schleichend“ mit jährlicher Steigerung, sondern sofort mit dem vollen Betrag von 2 Ct./kWh einzuführen. Mit der dadurch verursachten „Schockwirkung“ hätte man möglicherweise die politisch angestrebte Änderung des Verbrauchsverhaltens erreicht. Die schrittweise Erhöhung hat hingegen außer den alljährlichen Unmutsäußerungen kaum konkrete Änderungen auf der Verbraucherseite hervorgerufen.

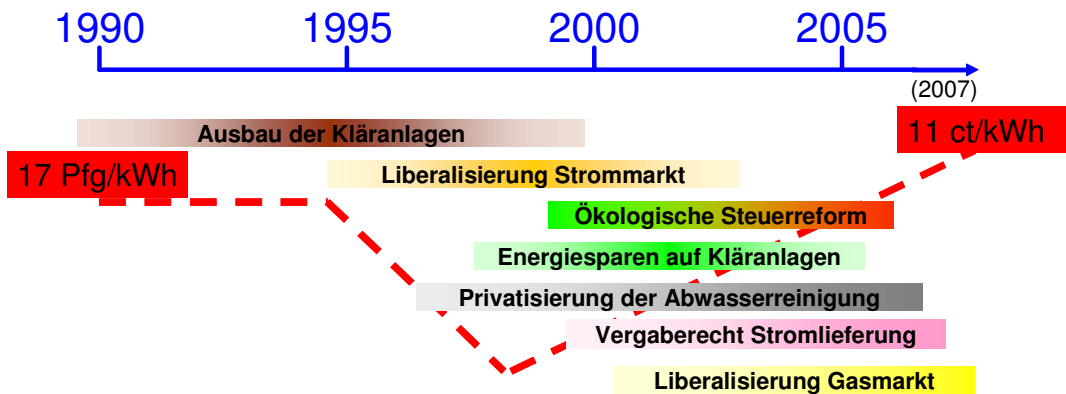


Bild 3: Preisentwicklung und energetische Einflussfaktoren

Das böse Erwachen ist somit eigentlich erst eingetreten, nachdem in den letzten beiden Jahren die Strompreise von den Energieversorgern teilweise drastisch erhöht wurden (Bild 4). In Verbindung mit den steigenden Umlagen EEG und KWK sowie der Mehrwertsteuererhöhung zum Jahreswechsel 2006/2007 standen viele Betreiber am Ende vor einer „saftigen“ Erhöhung der Energiekosten von etwa 30%. Mit der zeitgleich entfachten Diskussion um den Klimawandel und die seitdem gesammelten Erfahrungen mit den der Menschheit ganz offensichtlich bevorstehenden Veränderungen in Form bisher nicht gekannter Wetterkapriolen und Naturkatastrophen ist das Thema Energie jetzt Chefsache.

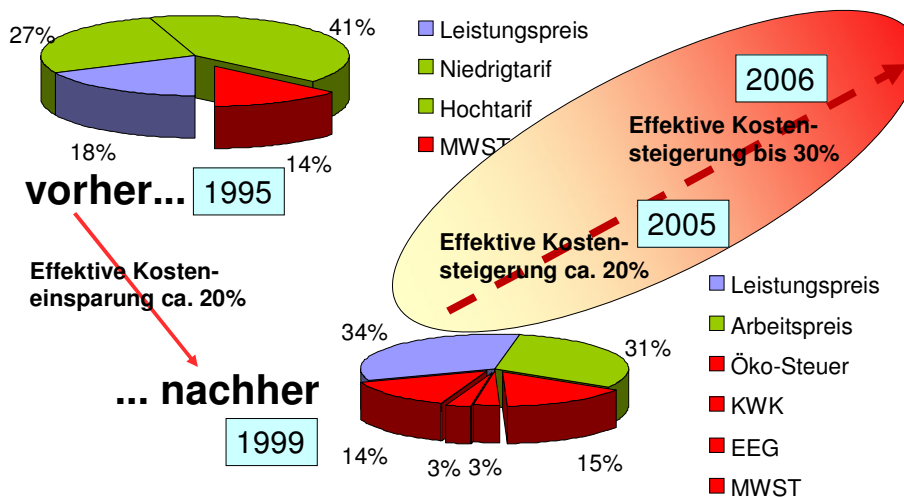


Bild 4: Kostenaufteilung vor und nach der Liberalisierung des Strommarktes

Für weiteren Zündstoff sorgt die Diskussion um die Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit bei der Elektrizität. Die abgeknickten Strommasten im Münsterland haben uns vor Augen geführt, wie abhängig wir im privaten, gewerblichen und industriellen Bereich von einer gesicherten Stromversorgung sind. Die Beteuerungen der großen Energieversorger, dass uns das europäische Verbundnetz als Rückgrat nahezu unverwundbar macht, ist seit dem „Fall Papenburg“ fast ins Gegenteil verkehrt; es hat sich nämlich gezeigt, dass ein einzelner Mitarbeiter in der Lage ist, in halb Europa den Strom auszuknipsen. Nachdem sich abzeichnet, dass die Energieversorger für die Folgen solcher Ausfälle nicht in die Haftung genommen werden können, kommt bei vielen Kläranlagenbetreibern Unruhe auf in Bezug auf die Verantwortung für die Nichteinhaltung der Reinigungsleistung bei Stromausfällen.

Von den Kläranlagenbetreibern und nahezu der gesamten Abwasserbranche weitgehend unbemerkt geblieben sind die in den nächsten Jahren zu erwartenden Änderungen im energierechtlichen Umfeld, welches zwischenzeitlich selbst für Spezialisten eine kaum noch zu überblickende Komplexität angenommen hat (Bild 5). Die systematische Übersicht soll nicht darüber hinwegtäuschen, dass es sich um ein Geflecht aus konkurrierenden, nicht aufeinander abgestimmten und teilweise sogar zueinander widersprüchlichen Einzelgesetzen handelt, deren Halbwertszeit zuweilen kürzer ist als der Zeitbedarf für die Umsetzung der europäischen Richtlinien in nationales Recht; überspitzt ausgedrückt sind manche Gesetze schon am Tage ihrer Verkündung inhaltlich überholt.

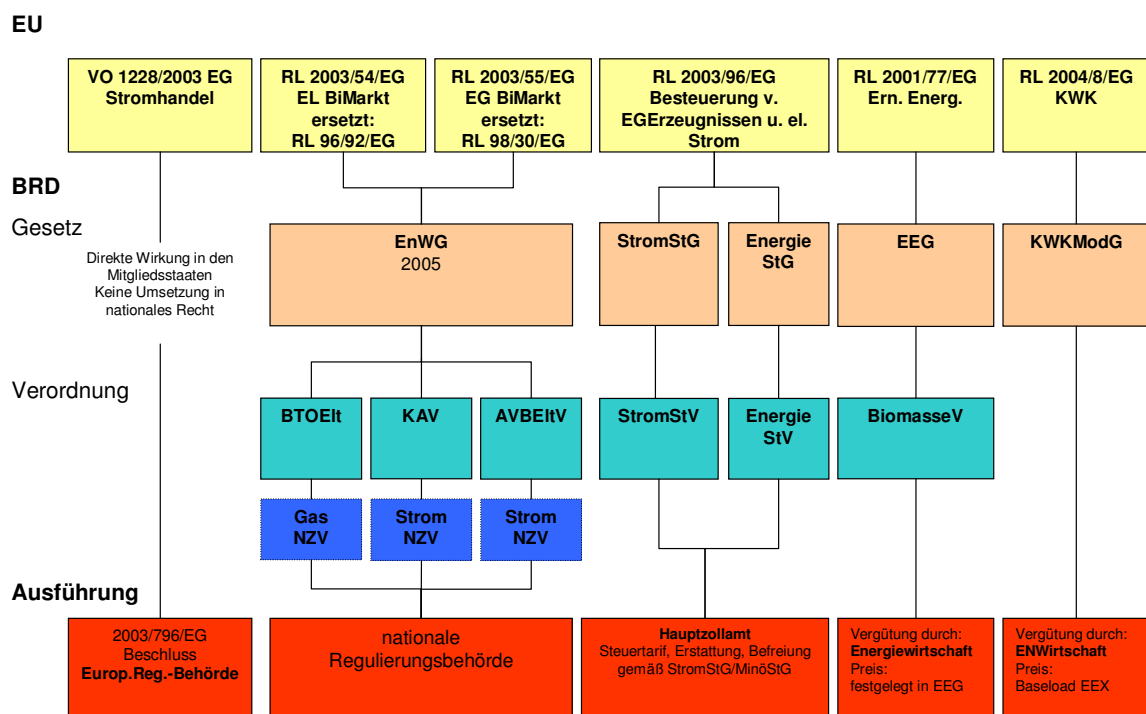


Bild 5: Energierecht 2007

Insofern ist es nicht erstaunlich, dass offenbar nur wenige Fachleute in der Branche darüber informiert sind, dass nach den letzten vorliegenden Gutachten zur anstehenden Novellierung des EEG [9], [10] das Klärgas aus der Förderung herausfallen soll. Bei den derzeitigen Vergütungssätzen, die leider so niedrig sind, dass eine Einspeisung kaum noch lohnt, ist das zwar faktisch ohne Belang. Dass damit aber möglicherweise die Anerkennung der Energie aus Abwasser als erneuerbare Energie in Frage gestellt ist, dürfte vor dem Hintergrund der noch weitgehend unerschlossenen Potenziale zur Abwasserwärmenutzung, der Einspeisung von Biogas oder anderer alternativer Nutzungsmöglichkeiten keinesfalls gleichgültig sein. Hier besteht kurzfristig ein erheblicher Handlungsbedarf bei der Gestaltung der rechtlichen und insbesondere der steuerlichen Rahmenbedingungen.

Mit den sog. Meseberger Thesen [11] hat die Bundesregierung die politischen Rahmenbedingungen für die Erreichung der Klimaziele abgesteckt und zugleich die ministeriellen Zuständigkeiten für die Umsetzung festgelegt. Nachdem Politik und Wirtschaft erkannt haben, dass es dabei nicht nur um Klima- und Energieaspekte, sondern auch um die Schaffung von Arbeitsplätzen und um positive Auswirkungen auf die Wirtschaft geht, darf man davon ausgehen, dass die betroffenen Branchen bei der Gestaltung der zukünftigen Rahmenbedingungen ein gewichtiges Wort mitreden werden. Die Abwasserbranche muss erkennen, dass Sie an dieser Stelle gefordert ist, neue Konzepte zu entwickeln und aktiv in die Diskussion einzubringen. Derzeit kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass die Branche darauf wartet, erst noch entdeckt zu werden. Angesichts der wirtschaftlich und ökologisch äußerst sinnvollen Energiepotenziale auf Kläranlagen müssen neue und den zukünftigen Anforderungen entsprechende Konzepte erarbeitet werden, um darauf aufbauend die Anforderungen für die weitere Umgestaltung der Energieversorgungsstrukturen mit dem Ziel einer weiteren Dezentralisierung und nachhaltigen Nutzung voranzutreiben.

4 Energieanalysen zur Prozessoptimierung auf der Kläranlage

Nach dem bisherigen Verständnis der Energieanalysen ist als Systemgrenze die Kläranlage mit Einlaufpumpwerk, den Stufen einer weitergehenden Abwasserreinigung (Filteranlage) und bei der Schlammbehandlung bis zur Entwässerung festgelegt. Ebenfalls auf dem Gelände befindliche Bauwerke wie Regenwasserhandlung, Schlamm Trocknung und -verbrennung wurden ausgeklammert, weil sich aus damaliger Sicht die Bearbeitung einer Energieanalyse unter dem Gesichtspunkt der Standardisierung und Vergleichbarkeit deutlich verkompliziert hätte. Insofern ist bis heute der Leistungsumfang einer Energieanalyse sehr stark auf die wesentlichen Verfahrensstufen der Kläranlage fokussiert.

Die Beurteilung der energetischen Situation einer Kläranlage erfolgt durch die Ermittlung genau festgelegter Kennzahlen und deren Vergleich mit den sog. Richt- und Idealwerten. Bei den Kennzahlen handelt es sich zunächst um spezifische Energiewerte, die auf die tatsächliche mittlere Belastung, ausgedrückt in Einwohnerwerten, bezogen sind und im Weiteren um aus diesen Werten berechneten Kenngrößen zur Beurteilung der Energieeffizienz. Im Einzelnen dienen folgende Kennwerte zur Beurteilung:

- der spezifische Stromverbrauch der gesamten Kläranlage
- der spezifische Stromverbrauch der Belebungsstufe
- der Grad der Faulgasnutzung
- die spezifische Faulgasproduktion
- der Eigenversorgungsgrad für Wärme und Strom

Für jede dieser Kennzahlen sind im Handbuch Richt- und Idealwerte gestaffelt nach den Größenklassen der Kläranlagen angegeben. Die Richtwerte wurden aufgrund statistisch ausgewerteter Umfragen unter den Kläranlagen in NRW empirisch ermittelt und sollten von jeder Kläranlage mindestens erreicht werden. Die Idealwerte ergeben sich aus technischen Berechnungen unter möglichst idealen Bedingungen und beim Einsatz von Aggregaten, die dem Stand der Technik entsprechen. Die vollständige Tabelle ist im Handbuch enthalten.

Ohne im Weiteren auf die Einzelwerte einzugehen, lässt sich aus den bisherigen Erfahrungen als grobe Einteilung angeben, dass die Mehrzahl der bisher untersuchten Kläranlagen im Bereich von 30 – 50 kWh/(EW*a) lag und in der Regel etwa 10 – 20 kWh/(EW*a) über dem Richtwert, was einem realisierbaren Einsparpotenzial von etwa 20 – 30 % entspricht. Nur wenige Anlagen lagen im vorgefundenen Zustand in der Größenordnung der Richtwerte. Viele Anlagen, darunter auch teilweise große Anlagen (größer 100.000 EW) liegen bei spezifischen Werten über 50 kWh/(EW*a). Hier besteht nicht nur aus Kostengründen ein dringender Handlungsbedarf, sondern angesichts der Klimadiskussion vor allem auch aus ökologischen Gründen.

„Gesammelte Erfahrungen“ aus durchgeführten Analysen

In der Anfangsphase des Untersuchungsprogramms in NRW mit noch wenigen Erfahrungen im Umgang mit den Instrumenten der Energieanalyse war die Durchführung zunächst stark formalisiert. Die Untersuchungen wurden streng nach dem vorgegebenen Ablaufplan und unter Einhaltung des im Pflichtenheft vorgegebenen Leistungsumfangs abgewickelt. Dies war aus heutiger Sicht insofern auch richtig, weil dadurch einerseits die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet war und vom Ministerium aus der Vielzahl der Analysen schnell und zuverlässig Schlüsse zur energetischen Gesamtsituation der Kläranlagen gezogen werden konnten.

Die vergleichsweise zügige und formalisierte Abarbeitung des Programms hat aber auf der anderen Seite dazu geführt, dass die individuelle Situation einer jeden Kläranlage ein wenig zurückgedrängt wurde. Mit den gewonnenen Erfahrungen aus vielen durchgeführten Analysen bleibt aus heutiger Sicht festzustellen, dass man sich vielleicht weniger mit den Formalismen der einheitlichen Bearbeitung hätte beschäftigen sollen. Stattdessen wäre es oft sinnvoller gewesen, größeren Wert auf die Erkennung der wirklichen „big points“ zu legen und auf Seiten der Betreiber auf eine Entscheidung für die zeitnahe Umsetzung dieser Maßnahmen zu drängen. Aus der Vielzahl der durchgeführten Analysen und sonstigen Projekten im Zusammenhang mit der energetischen Optimierung von Kläranlagen sollen die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen, dass auf den Kläranlagen große energetische Potenziale vor-

handen sind, die vor allem nach dem drastischen Anstieg der Energiekosten zu teilweise äußerst wirtschaftlichen Konditionen umgesetzt werden können.

Optimierungsbeispiel: Erneuerung eines Turboverdichters auf dem Klärwerk Düsseldorf

Auf dem Klärwerk Düsseldorf-Nord ergaben sich aufgrund detaillierter Wirkleistungsmessungen an den vorhandenen 4 Turboverdichtern deutliche Unterschiede in der energetischen Effizienz der Aggregate. Da zudem eine altersbedingte Erneuerung erforderlich war, wurde 2006 zunächst ein neues Aggregat beschafft (Bild 6). Im Vergleich der aufgenommenen Kennlinien (Bild 7) ergeben sich deutliche Unterschiede, vor allem nach dem Alter der Aggregate. Legt man bei einer Luftmenge von 20.000 Nm³/h einen Schnitt durch die Kurven, dann bleibt festzuhalten, dass man diese Luftmenge je nach ausgewählter Maschine mit einer elektrischen Antriebsleistung von 300, 500 oder 700 kW erzeugen kann. In diesen Werten spiegelt sich der technische Fortschritt im Bereich der Turboverdichter in den letzten 30 Jahren wieder. Den höchsten Verbrauch weisen die ältesten Aggregate aus dem Jahr 1978 auf. Diese besitzen noch einfache geschweißte Laufräder mit geraden Schaufeln. Die nächste Generation aus dem Jahr 1990 besitzt bereits strömungstechnisch optimierte gekrümmte Schaufeln. Bei den Verdichtern der neuesten Generation ist das Turbinenrad nach neusten strömungstechnischen Erkenntnissen ausgebildet. Es wird für jede Belastungssituation individuell ausgelegt und unter Anwendung von CAE-Methoden und modernster Fertigungstechnik aus einem vollen Aluminiumblock gefräst. Berücksichtigt man weiterhin, dass sich ein solches Laufrad später mit ca. 30.000 U/Min möglichst schwingungsfrei drehen muss, dann werden insgesamt sehr hohe Qualitätsanforderungen an die Maschine gestellt, die sich natürlich auch im Preis niederschlagen. Die Gesamtkostenkosten für die Maßnahme lagen im vorliegenden Fall bei rd. 500.000 EUR. Gerade bei Pumpen und Verdichtern wird aber oft übersehen, dass die Investitionskosten in der Regel nur 1/10 der sog. Lebenszykluskosten ausmachen.

Für die neue Maschine kann man ausgehend von einer Antriebsleistung bei Volllast von 600 kW berechnen, dass Sie bei einer Lebensdauer von 100.000 Bh in etwa 10 Jahren rd. 60 Mio. kWh verbraucht. Schon bei einem mittleren Preis von 10 Ct./kWh liegen die Energiekosten dann bei rd. 6 Mio. EUR. Für die Beschaffung und den Betrieb energieintensiver Maschinen wird dadurch die Bedeutung einer Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus deutlich. Die auch heute immer noch übliche Entscheidung allein aufgrund der Investitionskosten ist vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen im Energiebereich ein mit allen gebotenen Mitteln zu beseitigendes Relikt, dem das Vergaberecht und die Vergabepaxis der öffentlichen Hand leider noch in vielen Punkten entgegenstehen.

Hinsichtlich des Betriebsverhaltens wurde der neue Turboverdichter so in die vorhandene Regelung integriert, dass er als priorisierte Maschine möglichst alleine den gesamten Luftbedarf der Anlage abdeckt, während vorher stets zwei Maschinen im Parallelbetrieb arbeiteten. Daher liegt die erzielte Einsparung noch deutlich höher als es sich zunächst aus der Differenz von i. M. 300 kW zu den älteren Aggregaten ergeben würde. Aufgrund der Verbrauchswerte der Kläranlage kann man davon ausgehen, dass durch den Betrieb des neuen Aggregates jährlich etwa 3 Mio. kWh oder mehr Strom eingespart werden. Die Kosteneinsparung liegt somit bei etwa 300.000 EUR/a, was am Ende zu einer Amortisierung der Maßnahme innerhalb von 2 Jahren führt. Gleichwohl sollte bei Investitionen im Energiebe-

reich eine kurze Amortisierungszeit möglichst unter 3 Jahren nicht zur Bedingung gemacht werden, wie es von Kaufleuten gefordert wird. Häufig wird dabei übersehen, dass der Energieverbrauch auch nach 3 Jahren unverändert hoch ist und bei steigenden Kosten sich eine Sanierung umso mehr gerechnet hätte.

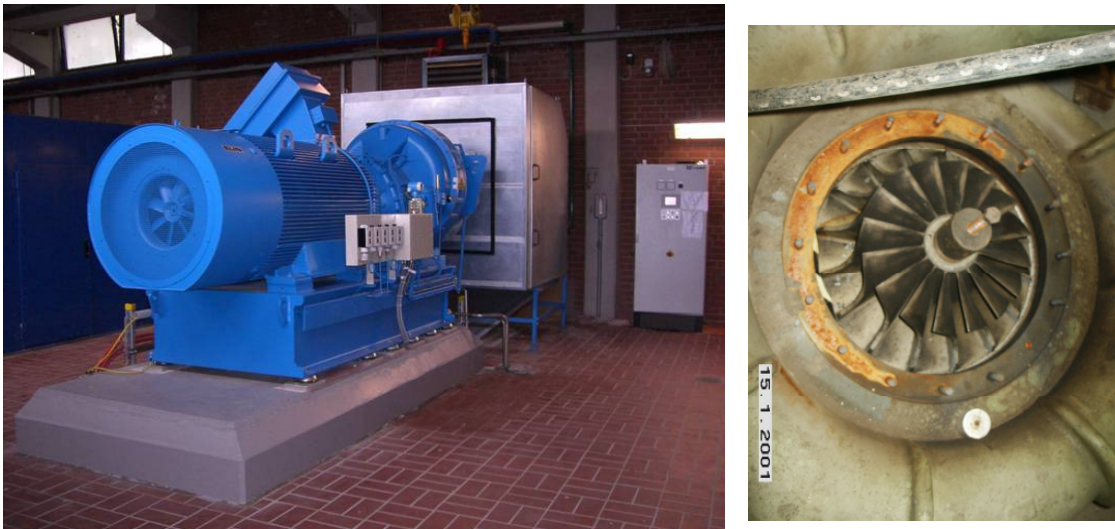


Bild 6: Neuer Turboverdichter (Bj. 2006) und Laufrad eines alten Verdichters (Bj. 1978)

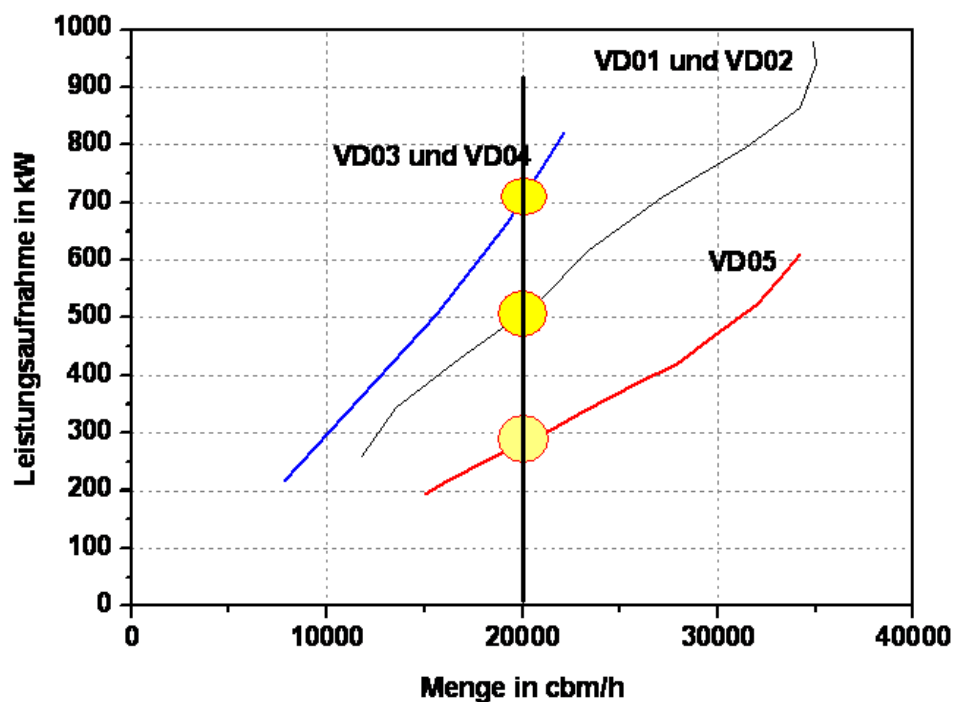


Bild 7: Kennlinien der unterschiedlichen Turboverdichtergenerationen (Bj. 1978, 1990 und 2006)

Durchführung einer Energieanalyse für die Kläranlage Ahrensburg

Für die Kläranlage Ahrensburg wurde 2003 eine energetische Grob- und Feinanalyse durchgeführt. Eine besondere Herausforderung bei diesem Projekt war die verfahrenstechnische Komplexität der Kläranlage, die teilweise daraus entstanden ist, dass die Anforderungen an die Stickstoff- und Phosphorelimination unter möglichst vollständiger Nutzung der vorhandenen alten Bausubstanz umgesetzt wurden und die dazu erforderliche Verfahrenstechnik mit wissenschaftlichen Ansätzen nach und nach entwickelt wurde. Am Ende wurde dieses Ziel zwar erreicht und die geforderte Reinigungsleistung eingehalten. Die energetischen Aspekte blieben allerdings weitgehend unberücksichtigt. Folglich ergab sich zunächst eine aus der Sicht des Betreibers energetisch äußerst ungünstige Ausgangssituation mit einem spezifischen Verbrauchswert für die Gesamtanlage, der über dem Doppelten des auf die Anlage angepassten Richtwertes lag. Die Beurteilungskriterien sind in der folgenden Übersicht (Bild 8) zusammengefasst.

Beurteilungskriterien	IST-Zustand	Richtwert	Idealwert	
gesamter spez. Elektrizitätsverbrauch pro EW BSB	83 kWh/EW a	40 kWh/EW a	33 kWh/EW a	
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung pro EW BSB	36 kWh/EW a	23 kWh/EW a	18 kWh/EW a	
Grad der gesamten Faulgasnutzung	99 %	98 %	99 %	
Grad der Faulgasumwandlung in Kraft/Elektrizität	31 %	30 %	31 %	
spez. Faulgasproduktion pro kg oTR eingetragen	712 l/kg oTR	450 l/kg oTR	475 l/kg oTR	
Eigenversorgungsgrad	Wärme Elektrizität	95 % 44 %	97 % 58 %	98 % 78 %

Bild 8: Beurteilungskriterien der Kläranlage Ahrensburg im Ausgangszustand

Aufgrund umfangreicher Messreihen und Datenauswertungen konnte die für die energetische Bewertung der einzelnen Stufen erforderliche Verbrauchermatrix mit Unterstützung des Betriebspersonals sehr zügig und mit vergleichsweise hoher Genauigkeit aufgestellt werden. Darauf aufbauend wurden dann die Maßnahmen zur Reduzierung des Verbrauchs festgelegt. Unter Berücksichtigung der in Sofort- (S), kurzfristige (K) und abhängige (A) Maßnahmen eingeteilten Vorschläge und der für jede Maßnahme zu prognostizierenden Kosten und der zu erwartenden Einsparungen gelangt man dann zu der insgesamt zu erwartenden Reduzierung der Verbrauchswerte, der Energiekosten und der Wirtschaftlichkeit (Bild 10).

Das Endergebnis spiegelt sich im Energienachweis nach Umsetzung sämtlicher Maßnahmen (Bild 9) wieder. Zwar wird der Verbrauch deutlich reduziert, er bleibt aber wegen der technischen Komplexität und der energetisch teilweise sehr ungünstigen Bausituation immer noch deutlich über dem Richtwert.

	IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete			Richtwert	Idealwert
		S	S + K	S + K + A		
gesamter spez. Elektrizitätsverbrauch	83 kWh/EW a	78 kWh/EW a	65 kWh/EW a	56 kWh/EW a	40 kWh/EW a	33 kWh/EW a
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	36 kWh/EW a	36 kWh/EW a	32 kWh/EW a	27 kWh/EW a	23 kWh/EW a	18 kWh/EW a
Grad der gesamten Faulgasnutzung	99 %	99 %	99 %	99 %	98 %	99 %
Grad der Faulgasumwandlung in Kraft/Elektrizität	31 %	31 %	31 %	31 %	31 %	32 %
spez. Faulgasproduktion pro kg oTR eingetragen	712 l/kg oTR	712 l/kg oTR	712 l/kg oTR	712 l/kg oTR	450 l/kg oTR	475 l/kg oTR
Eigenversorgungsgrad Wärme	95%	95%	95%	95%	98 %	99 %
Eigenversorgungsgrad Elektrizität	40%	42%	51%	59%	68 %	90 %

Bild 9: Energienachweis nach Umsetzung sämtlicher Maßnahmen

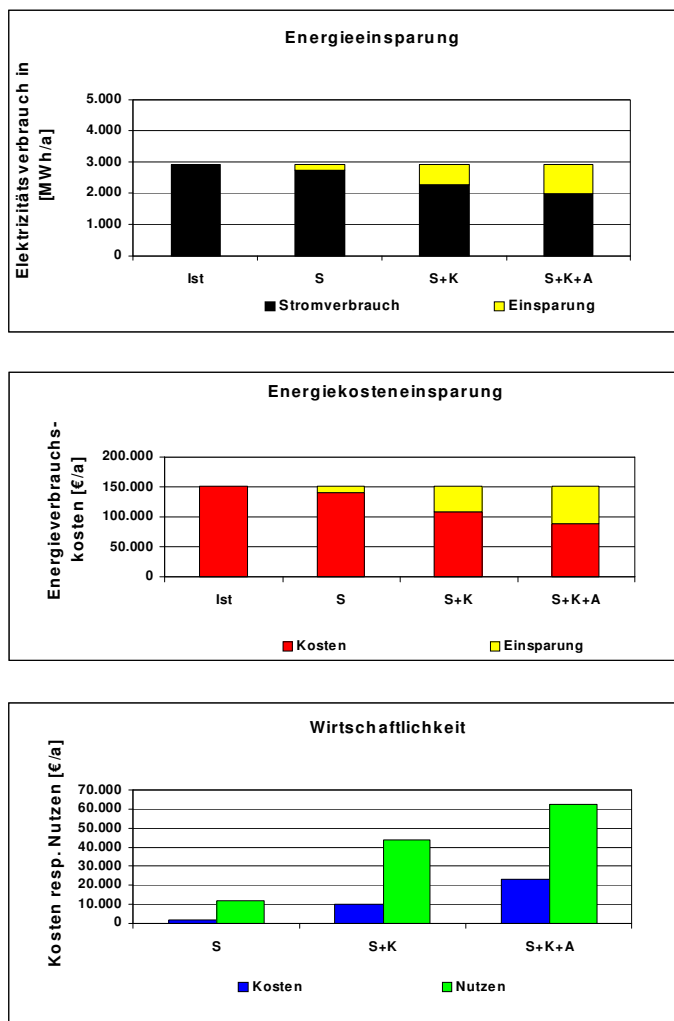


Bild 10: Nachweis der Verbrauchs- und Kosteneinsparung und der Wirtschaftlichkeit

Da es sich teilweise um sehr einfache und mit betrieblichen „Bordmitteln“ umsetzbare Maßnahmen handelte, wurden diese von der Betriebsleitung kurz entschlossen schon vor der Fertigstellung der Analyse in Angriff genommen. Daraus ergab sich die für eine Energieanalyse zunächst ungewohnte, aber sehr erfreuliche Situation, dass die Verbrauchsreduzierungen noch im Laufe der Untersuchungen wirksam wurden. Der Gesamtverbrauch der Kläranlage konnte merklich abgesenkt werden (Bild 11), obwohl gerade in diesem Jahr außergewöhnlich hohe Niederschlagsmengen zu bewältigen waren. Die Erwartung einer deutlich niedrigeren Stromrechnung wurde zudem durch eine zwischenzeitliche Preiserhöhung gedämpft. Dennoch ließ sich am Ende nachweisen, dass die Stromrechnung ohne die Umsetzung der bis dahin durchgeführten Maßnahmen um knapp 100.000 EUR höher ausgefallen wäre.

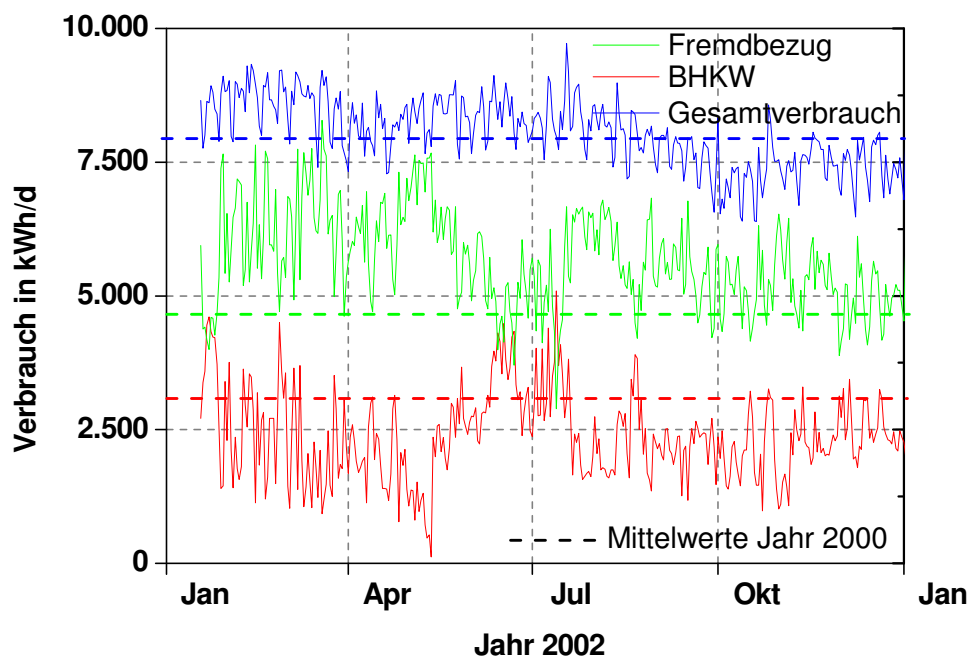


Bild 11: Energieverbrauch und -produktion im Untersuchungsjahr

5 Ausblick: Möglichkeiten und Potenziale „jenseits des Tellerrandes“

Die energetische Situation auf den Kläranlagen lässt sich mit dem Instrumentarium der Energieanalysen wirksam beurteilen und technisch-wirtschaftlich optimieren. In den vor uns liegenden Zeiten mit deutlich veränderten energiepolitischen Zielsetzungen als unmittelbare Konsequenz aus dem sich abzeichnenden Klimawandel werden sich einschneidende Veränderungen für die Verbraucher, Verteiler und Erzeuger von Energie ergeben. Auf einzelne die Abwasserbranche betreffende Aspekte wurde bereits an unterschiedlichen Stellen in diesem Manuskript eingegangen. Für die Kläranlagen als Großverbraucher und Energieerzeuger werden vor allem die preislichen Auswirkungen interessant sein, wobei man sicherlich weiterhin von einer stetigen und nicht zu knappen jährlichen Steigerung ausgehen kann. Unter diesen Voraussetzungen kann man als betriebliches Ziel möglicherweise formulieren, durch Effizienzsteigerung und Verbrauchsreduzierung zumindest die Energiebezugskosten auf dem derzeitigen Niveau zu stabilisieren. Dies ist aber keinesfalls gleichzusetzen mit einer Deckelung der Ausgaben, sondern die Verbrauchsreduzierung lässt sich in der Regel nur durch zusätzliche Investitionen erreichen. Zwar ergibt sich unter dem Strich für die Kläranlage möglicherweise kein finanzieller Vorteil. „Jenseits des Tellerrandes“ ergibt sich aber eine Veränderung dahin gehend, dass die zusätzlichen Mittel nicht wie bisher als Stromkosten an die großen Energiekonzerne abfließen, sondern in Form von umzusetzenden maschinen- oder elektrotechnischen Maßnahmen für Beschäftigung sorgen, meist sogar in der Region.

Eine bisher noch kaum wahrgenommene Chance ergibt sich, wenn man die Kläranlage nicht als eigenständiges energetisches Objekt sieht, dass der schon 25 Jahre alten Idealvorstellung der energieautarken Anlage hinterherläuft. Einerseits ist die Autarkie ohnehin nur auf die Stromversorgung ausgerichtet und lässt die immer wichtiger werdende Wärmebilanz außer Acht. Autarkie hat durchaus positive Seiten wie die Unabhängigkeit und eine gewisse Selbstbestimmung des Geschehens. Auf der anderen Seite beschränkt sie aber auch die technischen Freiheitsgrade und führt zur Isolation.

Gerade in den letzten Jahren sind auf politischer Ebene die Weichen für eine Dezentralisierung der Energieversorgung gestellt worden mit dem Ziel einer verbesserten Einbindung der erneuerbaren Energien und des vereinfachten Austausches der unterschiedlichen Energiearten Strom, Gas, Wärme und Kälte. Das eigentliche Ziel ist dabei eine möglichst nachhaltige und effiziente Nutzung der eingesetzten Primärenergie. Die bisherige Energiestruktur mit zentralen Kraftwerken zur Stromerzeugung nimmt den Verlust der gesamten anfallenden Wärme in Kauf und erreicht deshalb oft nur Gesamtwirkungsgrade von ca. 40%. Eine dezentrale Energieversorgung kann zwar nicht mit den spezifisch günstigen Investitionskosten der Großkraftwerke konkurrieren, sie kann diesen Nachteil aber durch eine möglichst vollständige Primärenergienutzung und der gleichzeitigen Bereitstellung mehrerer benötigter Energiearten zu einem großen Teil kompensieren.

Die Kläranlagen kann man insofern als kleine Energiezentralen ansehen, in denen seit jeher sämtliche Energiearten anfallen, umgewandelt oder verbraucht werden. Es mangelt allerdings noch deutlich an der effizienten und nachhaltigen Nutzung. Dieser Mangel lässt sich jedoch durch eine veränderte energetische Einbindung der Kläranlagen in das Umfeld abstellen. Es geht dabei insbesondere um die Nutzung des anfallenden Klärgases und die in großer Menge vorhandene Abwasserwärme.

Für eine durchaus realistische Zukunftsperspektive darf man unterstellen, dass sich der Stromverbrauch der Kläranlagen aufgrund der steigenden Energiekosten in den nächsten Jahren durch Maßnahmen zur Effizienzsteigerung deutlich reduzieren wird. Ebenfalls wird der Wärmebedarf durch Verbesserungen der Baukonstruktion und durch die verfahrenstechnische Optimierung der Schlammbehandlung abnehmen. Wenn sich weiterhin durchsetzt, die vorhandenen Reservekapazitäten im Bereich der Schlammbehandlung besser zu nutzen, dann produziert die Kläranlage einen Energieüberschuss, den sie kaum noch selbst sinnvoll verwerten kann. Die bisherige Nutzung zur Kraft-Wärme-Kopplung ist insofern ineffizient als die auf hohem Temperaturniveau anfallende Wärme ohne Nutzung abgekühlt und am Ende lediglich zur Aufheizung des Schlammes auf ein vergleichsweise niedriges Temperaturniveau von 36 Grad C. verwendet wird. Die dafür benötigte Wärme kann alternativ mittels Wärmepumpen aus dem ganzjährig warmen Abwasser gewonnen werden.

Eine weitaus sinnvollere Variante ist daher die Abgabe des anfallenden Klärgases, entweder über eine Direktleitung zu einem nahegelegenen externen Verbraucher oder durch Aufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Bisher blieb die Kläranlage als Energieversorger wegen der für eine Fern- oder Nahwärmeversorgung zu großen Entfernung zu Wohn- oder Gewerbegebieten meist unberücksichtigt. Mit der Liberalisierung des Strom- und Gasmarktes und den politischen Weichenstellungen für eine dezentrale Energieversorgung ergeben sich deutlich günstigere Voraussetzungen für die Realisierung solcher Projekte. Es kommt jetzt darauf an, dass die Kläranlagenbetreiber diese Chancen erkennen und sich mit den kommunalen Energieversorgern an einen Tisch setzen, die noch vorhandenen Hemmnisse abbauen und am Ende zu ökologisch sinnvollen und sicherlich auch wirtschaftlichen und nachhaltigen Lösungen kommen.

Literatur

Auf die Angabe der genannten Literaturstellen [xx] wurde aus Platzgründen verzichtet. Die entsprechende Liste kann jedoch beim Verfasser angefordert werden.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. G. Seibert-Erling
john becker ingenieure
Heppendorfer Straße 3
50170 Kerpen
Tel.: (02273) 5958-20
E-Mail: g.seibert-erling@wirberaten.de