

Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen

Eine Ergebnisbetrachtung zu durchgeführten Energieanalysen

Gerd Kolisch, Thomas Osthoff, Inka Hobus (Wuppertal) und Joachim Hansen (Luxembourg)

Zusammenfassung

Systematische Energieanalysen sind heute ein anerkanntes Werkzeug für die Optimierung der verfahrenstechnischen Prozesse und zur Senkung der betrieblichen Aufwendungen auf kommunalen wie auch auf industriellen Kläranlagen. Die Ergebnisse von über 50 Energieanalysen, die von den Autoren an Kläranlagen aller Größenklassen durchgeführt wurden, bestätigen eine mögliche gesteigerte Energieeffizienz der Abwasserreinigung ohne Beeinträchtigung der Reinigungsleistung bei den untersuchten Kläranlagen. Die abgeleiteten energetischen Maßnahmen sind überwiegend wirtschaftlich und helfen, die vorhandenen Anlagen prozessoptimiert und betriebswirtschaftlich günstig zu betreiben. Die Umsetzung der Maßnahmen hilft, den CO_2 -Ausstoß der Abwasserreinigung zu verringern.

Schlagwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Energieanalyse, Prozess, Optimierung, Energieverbrauch, Betriebskosten, Industrieabwasser

DOI: 10.3242/kae2010.10.003

Abstract

Increasing Energy Efficiency in Municipal Wastewater Treatment Plants Examination of the Results of Energy Analyses

Today, systematic energy analyses are an accepted tool for the optimisation of operational processes and for reducing operational costs at municipal as well as at industrial wastewater treatment plants. Results of more than 50 energy analyses carried out by the authors in wastewater treatment plants of all sizes confirm a possible increase in energy efficiency without impairing the plant's purification performance. The derived energy-related measures are predominantly economic and help to operate existing plants in an optimised and cost efficient way. The implementation of these measures helps to reduce CO_2 emissions from sewage treatment.

Key words: wastewater treatment, municipal, energy analysis, process, optimisation, energy demand, operating costs, industrial wastewater

1 Energieverbrauch von Kläranlagen

Der Energieverbrauch der bundesdeutschen Kläranlagen wird heute auf etwa 4 TWh_{el} pro Jahr geschätzt. Er ist damit deutlich höher als der Energieverbrauch der öffentlichen Schulgebäude oder der Straßenbeleuchtung [1]. Der Energieverbrauch wird als Kennzahl üblicherweise auf die mittlere Belastung im Zulauf der Kläranlage, umgerechnet in Einwohnerwerte (E) auf Basis der einwohnerspezifischen Frachten nach Tabelle 1 des Arbeitsblatts DWA-A 131, bezogen. Als Ergebnis verschiedener Untersuchungen liegt der spezifische Verbrauch der einzelnen Kläranlage zwischen etwa 30 und 60 kWh_{el}/(E × a) für die Gesamtanlage bzw. zwischen 15 und 40 kWh_{el}/(E × a) für die biologische Stufe (zum Beispiel [2–4]). Kleine Kläranlagen mit einer Ausbaugröße zwischen 1000 und 5000 EW weisen in der Regel höhere Verbrauchswerte auf, die im Einzelfall bis zu 150 kWh/(E × a) betragen können. Allerdings werden bei naturnahen Kläranlagen, wie zum Beispiel unbelüfteten Teichanlagen, auch günstigere Verbrauchswerte von zum Teil unter 10 kWh_{el}/(E × a) gemessen.

Im Vergleich zum Stromverbrauch eines typischen Vierpersonenhaushalts von etwa 3500 bis 4500 kWh_{el} pro Jahr ist der spezifische Stromverbrauch der Abwasserreinigung gering. Die

Kläranlage ist aber üblicherweise der größte öffentliche Stromverbraucher, und es besteht daher die Möglichkeit, an zentraler Stelle in erheblichem Umfang den kommunalen Energieverbrauch und damit auch die CO_2 -Emissionen zu reduzieren. Die Gesamteinsparung, die durch eine Optimierung des Elektrizitätsverbrauchs auf Kläranlagen in Deutschland erreicht werden kann, wird auf bis zu 1,25 TWh_{el}/a geschätzt [5]. Unter Annahme eines aktuellen Bezugspreises von 12 Ct/kWh_{el} entspricht dies einer möglichen Kosteneinsparung von rund 150 Millionen Euro pro Jahr. Hierbei sind jedoch bei jeder Einzelfallbetrachtung den Kosteneinsparungen, die sich über die Energieoptimierung erzielen lassen, die mit der Maßnahmenumsetzung verbundenen investiven und betrieblichen Aufwendungen gegenüberzustellen.

Die systematische Optimierung des Energieverbrauchs kommunaler Kläranlagen mit dem Werkzeug der Energieanalyse wurde Anfang der 1990er-Jahre in der Schweiz entwickelt [6]. Das Ergebnis der Energieanalyse ist ein Handlungskonzept für die Optimierung des Energieverbrauchs unter betrieblichen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Eine detaillierte Beschreibung zur Durchführung von Energieanalysen

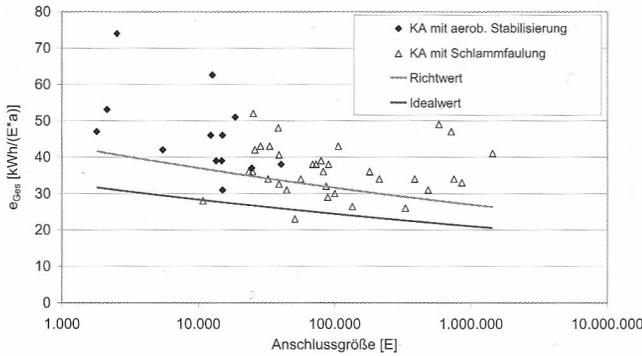


Abb. 1: Spezifische Energieverbrauchswerte für die Gesamtanlage (e_{Ges})

einschließlich eines Lastenheftes gibt das nordrhein-westfälische Handbuch *Energie in Kläranlagen* [7].

2 Energieeinsparpotenzial von kommunalen Kläranlagen

Innerhalb der letzten zehn Jahre wurden von den Autoren 42 kommunale und industrielle Kläranlagen mit Anschlussgrößen von 1500 EW bis zu 1,5 Millionen EW auf ihren Energieverbrauch untersucht. Für die Auswertung wurden vom Wupperverband die Verbrauchsdaten der von ihm betriebenen neun kommunalen Kläranlagen zusätzlich zur Verfügung gestellt. Der Energieverbrauch dieser insgesamt 51 Kläranlagen wurde

über einen Kennzahlenvergleich nach dem Energie-Handbuch NRW [7] bewertet. Hierbei werden als Beurteilungsgrößen der Richtwert und der Idealwert verwendet. Der Richtwert kennzeichnet den Energieverbrauch von energieeffizient ausgestatteten und betriebenen Kläranlagen, während der Idealwert mit der besten verfügbaren Technik unter idealen Bedingungen erzielt werden kann. Die Richt- und Idealwerte nach Vorgabe des Handbuchs wurden an die spezifischen Randbedingungen, zum Beispiel Förderhöhen, für die untersuchten Kläranlagen angepasst. Abbildung 1 zeigt die Energieverbrauchswerte für die Gesamtanlage im Vergleich zu den vorgenannten spezifischen Kennzahlen.

Die Kläranlagen mit einer Anschlussgröße von unter 30000 EW und simultaner aerober Schlammstabilisierung weisen erwartungsgemäß erhöhte Verbrauchswerte auf. Auf größeren Kläranlagen mit separater Schlammfäulung wird der Richtwert vielfach erreicht, und zwei Anlagen unterschreiten sogar den Idealwert. Für den spezifischen Gesamtverbrauch zeigt sich hiernach ein theoretisches Einsparpotenzial in Höhe von rund 10 % gegenüber dem Richtwert bzw. von ca. 30 % im Vergleich mit dem Idealwert. Die Verbrauchswerte der biologischen Stufe zeigen demgegenüber ein deutlich günstigeres Bild. Der Richtwert wird von der überwiegenden Zahl sowohl der simultan aerob als auch der getrennt anaerob stabilisierenden Kläranlagen bereits erreicht. Sieben der untersuchten Faulungsanlagen unterschreiten sogar den Idealwert (Abbildung 2). Als maßgebliche Ursache ist die Weiterentwicklung der Belüftungs-, Misch- und MSR-Technik in den zehn Jahren seit der

PORET[®]
aqua

... perfekte Ideen aus der Natur!

Einzigartig. Effektiv. Voraktiviert!

PORET[®]aqua:

Mit Mikroorganismen voraktiviertes Trägermaterial für die biologische Abwasserbehandlung im Wirbelbettverfahren.

Das Ergebnis:

bis zu **97%** CSB/BSB₅ Abbauraten

bis zu **75%** Schlammreduktion

bis zu **50%** weniger Energieaufwand

50 Jahre Erfahrung – made in Germany!

Hier erfahren Sie mehr:



D -65582 Diez
Tel. +49 6432 91810
www.emw.de

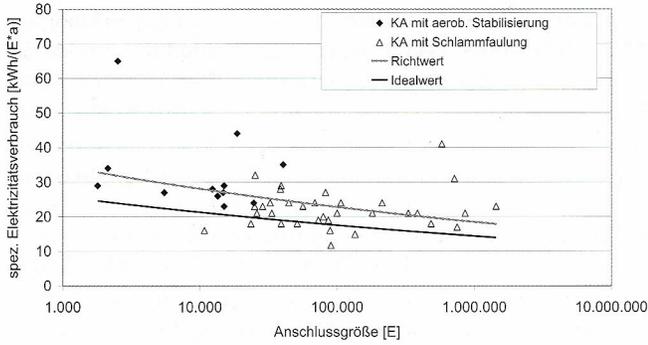


Abb. 2: Spezifische Energieverbrauchswerte der biologischen Stufe (e_{BB})

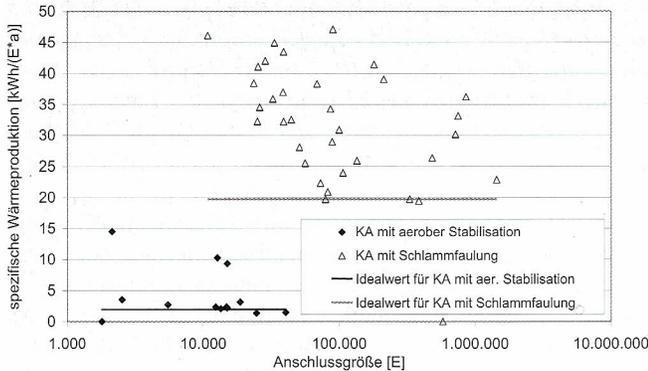


Abb. 3: Spezifische Wärmeproduktion auf den untersuchten Kläranlagen

Veröffentlichung des Energie-Handbuchs zu nennen. Die detaillierte Prüfung der vier Teilprozesse Belüftung, Umwälzung, Rücklaufschlamm-Förderung und interne Rezirkulation ergibt so in der Regel unabhängig von der Kennzahl ein Optimierungspotenzial auch für die biologische Stufe.

Der spezifische Wärmebedarf von Kläranlagen mit separater Schlammfäulung ist verfahrensbedingt höher als bei simultaner aerober Schlammstabilisierung. Das Aufheizen des Rohschlammes verursacht etwa 70 % des gesamten Wärmebedarfs dieser Kläranlagen, ca. 20 % entfallen auf den Wärmeverlust

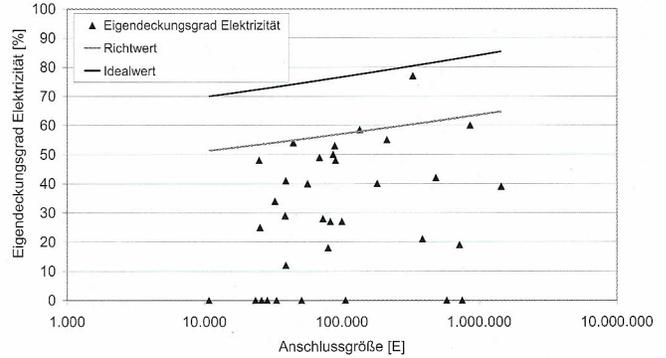


Abb. 4: Eigendeckungsgrad für Elektrizität auf Kläranlagen mit separater Schlammfäulung

des Faulbehälters, und nur rund 10 % werden für das Beheizen von Betriebsgebäuden und Werkstätten benötigt [7]. Unter Annahme eines spezifischen Wärmebedarfs für das Aufheizen des Rohschlammes von etwa $13,5 \text{ kWh}_{th}/(E \times a)$ errechnet sich mit dieser Aufteilung ein Idealwert von $19,7 \text{ kWh}_{th}/(E \times a)$ für die Kläranlagen mit Schlammfäulung. Für Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung kann ein Idealwert von rund $2,0 \text{ kWh}_{th}/(E \times a)$ abgeleitet werden.

In Abbildung 3 sind diese Idealwerte der Wärmeproduktion gegenübergestellt, die sich für die untersuchten Kläranlagen aus den jeweils eingesetzten fossilen Energieträgern und der Faulgasnutzung errechnet. Für die Stabilisierungsanlagen ist davon auszugehen, dass die eingesetzte fossile Energiemenge dem tatsächlichen Wärmebedarf entspricht. Ein Überschreiten des abgeleiteten Idealwerts ist unter anderem auf unzureichende Wärmedämmung der Betriebsgebäude oder einen großen Gebäudebestand zurückzuführen. Bei den Faulungsanlagen überschreitet die berechnete Wärmeproduktion den Idealwert in der Regel deutlich. Insbesondere in den Sommermonaten wird ein Teil der erzeugten Wärme bei den Kläranlagen mit BHKW-Betrieb über Notkühler an die Umwelt abgeführt. Auf vielen Anlagen besteht jedoch auch ein erhöhter Wärmebedarf infolge eines nicht optimalen Betriebs von Schlammabzug und -eindickung. Das vermehrt in die Faulstufe eingetragene Wasser ist dann mit einem erhöhten Wärmebedarf sowie einer reduzierten Gasproduktion verbunden.

Das in der Fäulung produzierte Klärgas kann in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (Blockheizkraftwerke und Mikrogasturbinen) zur Eigenstromerzeugung genutzt werden. In Abhängigkeit von der Anschlussgröße der Kläranlage sollte ein Eigendeckungsgrad für Elektrizität zwischen 37 % (Richtwert für Anschlussgröße von 5000 bis 10 000 EW) und 68 % (Richtwert > 100 000 EW) erreicht werden. Von den untersuchten 35

Geruchsbehandlung

NEUTRALOX – Umwelttechnik GmbH

Wir bedanken uns bei allen Messebesuchern für das große Interesse an unseren Produkten während der IFAT 2010.

NEUTRALOX Geruchsbehandlung ... und die Luft ist rein.

Neutralox Umwelttechnik GmbH
Löhestrasse 21, 53773 Hennef
Herr Augustin, Tel. 02242/91364-15
augustin@neutralox.de

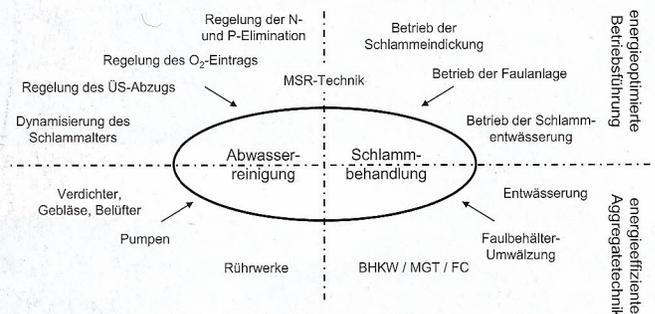
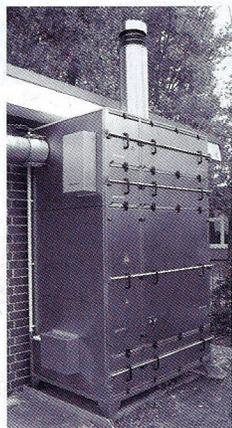


Abb. 5: Ansatzpunkte für die Energieoptimierung auf Kläranlagen

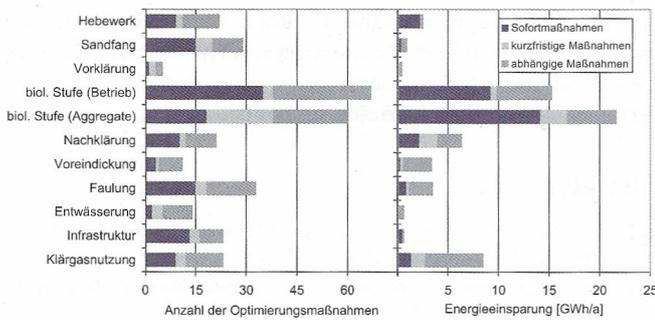


Abb. 6: Übersicht über die Maßnahmen zur Optimierung des Elektrizitätsverbrauchs

Kläranlagen mit Schlammfaulung nutzten zum Zeitpunkt der Untersuchung nur 25 das Klärgas für die Stromerzeugung. Diese Anlagen erreichten nur einen mittleren Eigendeckungsgrad von rund 40 %, bei dem allerdings der noch nicht optimierte Energieverbrauch zu berücksichtigen ist (Abbildung 4). Der elektrische Wirkungsgrad der BHKW-Anlagen betrug im Jahresmittel 26 %. Ein großes Optimierungspotenzial besteht hier nach bei den bestehenden BHKW-Anlagen in einem verbesserten Anlagenbetrieb sowie einem Austausch gegen Module mit höherem elektrischem Wirkungsgrad. Bei Anlagen mit bisher reinem Kesselbetrieb sollte grundsätzlich die Nachrüstung von Technik zur Kraft-Wärme-Kopplung geprüft werden.

3 Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs

Aus der detaillierten Überprüfung der energetischen und der betrieblichen Ist-Situation konnte bei allen untersuchten Kläranlagen eine Vielzahl an Optimierungsmaßnahmen abgeleitet werden. Um niedrige Energieverbrauchswerte zu erreichen, sind sowohl eine energieoptimierte Betriebsführung als auch der Einsatz von energieeffizienter Aggregatetechnik erforderlich (Abbildung 5).

Die abgeleiteten Maßnahmen wurden nach dem berechneten Kosten-Nutzen-Verhältnis in Sofort- (S), kurzfristige (K) und abhängige Maßnahmen (A) untergliedert [7]. Abbildung 6 zeigt für die Prozessschritte der Abwasser- und Schlammbehandlung die Anzahl der insgesamt abgeleiteten Maßnahmen sowie die berechneten möglichen Energieeinsparungen. Das größte Einsparpotenzial besteht bei der biologischen Stufe, wobei das hohe betriebliche Optimierungspotenzial von knapp 10 kWh_{el}/(E × a) überrascht. Es ergibt sich häufig aus einer Kombination von überhöhtem Schlammalter, erhöhten Sauerstoffsollwerten und ungünstigen Regelungen für die interne Rezirkulation und die Rücklaufschlamm-Förderung. Das hierfür ermittelte Potenzial ist größer als das gesamte Einsparpotenzial in den nicht der biologischen Stufe zugeordneten Bereichen und unterstreicht die Bedeutung der betrieblichen Einstellungen. Neben der biologischen Stufe sind weiterhin alle Bereiche der Abwasserhebung sowie die Nutzung des produzierten Klärgases von besonderem Interesse.

Nach der Maßnahmenkategorie dominieren die Sofortmaßnahmen und die abhängigen Maßnahmen. Der geringe Anteil der kurzfristigen Maßnahmen ist zum einen auf das geringere finanzielle Einsparpotenzial auf kleineren Kläranlagen zurückzuführen, das einen wirtschaftlichen Austausch zum Beispiel von Pumpen oder Rührwerken erschwert. Zum anderen sind insbesondere die Maßnahmen im Bereich der Schlammbehandlung unter rein energetischer Betrachtung häufig nicht wirtschaftlich und fallen damit in die Kategorie der abhängigen Maßnahmen.

4 Das Ziel der energieautarken Kläranlage

Für eine übliche Klärgasproduktion von 20 l/(E × d) mit einem Methangehalt von 64 % ergibt sich ein Primärenergiegehalt von rund 47 kWh_{PE}/(E × a). Bei Einsatz einer hocheffizienten BHKW-Anlage ($\eta_{el} = 0,40$) beträgt die mögliche Elektrizitätsproduktion etwa 19 kWh_{el}/(E × a) und reicht damit für die vollständige Eigendeckung des Strombedarfs einer energieoptimierten

VSB-Geschieberückhaltestation

Hohe Wartungskosten für Pumpen u. andere Ausrüstung?
Abrieb im Kanalbereich durch Sand, Kies und Geröll?

Wir empfehlen die neueste Generation unserer **Geschieberückhaltestation**

- zuverlässige Trennung u. Weiterführung der Organik mittels Belüftung
- verstopfungsfreies Intervall-Belüftungssystem
- Belüftungsrohr sicher in Behälterwand integriert
- patentierte Geschiebehöhenmessung
- wartungsfrei – kein Verschleiß

Vogelsberger Umwelttechnik GmbH

Mühlstraße 9 • 36369 Lautertal-Eichenrod
Tel. 06643/9606-0 • Fax -60 • www.vsb-gruppe.de

EINFACH

WIRKSAM

ZUVERLÄSSIG

biologischen Stufe aus (vgl. auch Abbildung 3). Die Wärmeproduktion einer solchen stromorientiert betriebenen BHKW-Anlage reicht weiterhin aus, den Wärmebedarf der Kläranlage vollständig abzudecken. In Kombination mit einer Co-Fermentation von organischen Reststoffen lassen sich Kläranlagen daher bereits heute im Jahresmittel ohne Stromfremdbezug (autonom) betreiben. Die dann vermehrte Abgabe von Überschusswärme an die Umwelt ist allerdings zu berücksichtigen.

Zukünftige Ziele in diesem Zusammenhang sind daher (siehe auch [8]):

- Einführung von Technologien, die den Anteil der organischen Abwasserfracht, der über die Faulung in nutzbare Primärenergie überführt wird, unter Berücksichtigung der Ziele der Abwasserreinigung maximieren,
- Einführung von Technologien und Konzepten, die eine höchst-effiziente Nutzung der verfügbaren Energieressourcen auf Kläranlagen sicherstellen,
- Entwicklung von dezentralen Energiekonzepten, die die Energieproduktion und den Energiebedarf auf der Kläranlage und in deren näherer Umgebung zusammenführen.

Durch eine integrale energetische Optimierung der Abwasser- und Schlammbehandlung, zum Beispiel durch den Einsatz von moderner MSR-Technik, eine Teilstrom-Deammonifikation, einen optimierten Primärschlammabzug oder eine Verbesserung der vorhandenen Strömungsverhältnisse, könnte es in Einzelfällen zukünftig möglich sein, die Lücke zwischen der Eigenproduktion und dem Energiebedarf der Gesamtanlage auch ohne Co-Fermentation zu schließen (vgl. auch [9]). Technische Ansätze zur Steigerung der Elektrizitätsproduktion sind die Einbindung einer – allerdings selbst Energie verbrauchenden – Desintegration und die Klärgasverstromung in einer Brennstoffzelle mit einem erhöhten elektrischen Wirkungsgrad η_{el} von 50 %. Eine mögliche Unterdeckung im Bereich der Wärmeversorgung könnte in diesem Fall durch eine Abwärmenutzung aus dem gereinigten Abwasser gedeckt werden.

5 Zusammenfassung und Fazit

Energieanalysen sind ein seit zehn Jahren in der Praxis eingeführtes und bewährtes Werkzeug zur Optimierung des Energieverbrauchs von kommunalen und industriellen Kläranlagen. Sie erfordern stets eine detaillierte verfahrenstechnische Überprüfung der Prozesse der Abwasser- und Schlammbehandlung sowie der eingesetzten technischen Aggregate. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen ein energetisches Einsparpotenzial von 20 bis 30 % des aktuellen Elektrizitätsverbrauchs unabhängig von der Ausbaugröße der betrachteten Kläranlagen. In Bezug auf die Richtwerte ist festzustellen, dass diese bei der biologischen Stufe bereits heute von zahlreichen Kläranla-

gen erreicht oder unterschritten werden. Aufgrund des vielfach trotzdem festgestellten Optimierungspotenzials erscheint eine Anpassung der Referenzwerte an die weiterentwickelte Aggregatetechnik für diesen Bereich sinnvoll.

Literatur

- [1] Schröder, M., Schrenk, G.: Energiepotenziale der deutschen Wasserwirtschaft, KA 2008, 55 (6), 626–631
- [2] Umweltbundesamt: *Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen*, Dessau, 2006
- [3] Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz: *Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft – Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen*, Mainz, 2007, www.mufv.rlp.de/fileadmin/img/inhalte/presse/sonstige_pdf_Dateien/Energieanalysen_19_11_07.pdf
- [4] Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern: *Energieeinsatz auf Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern – Leitfaden zur Optimierung*, Schwerin, 2009, www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/lm/_Service/Publicationen/index.jsp?&publikid=2385
- [5] Schröder, M., Schrenk, G.: Ergebnisse des DWA/DBU-Projektes „Energiepotenziale der deutschen Wasserwirtschaft“, in: *Schriftenreihe GWA, Band 217*, Aachen, 2009
- [6] Müller, E. A.: Vorstellung des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“, in: *Schriftenreihe GWA, Band 172*, Aachen, 1999
- [7] Ministerium für Umweltschutz, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen: *Handbuch „Energie in Kläranlagen“*, Düsseldorf, 1999
- [8] Levy, G. A.: Energieoptimierung auf Kläranlagen, *gwa* 6/2009, 453–459
- [9] Gredigk-Hoffmann, S.: Energieautarke Kläranlagen – Vision oder Fiktion? in: *Schriftenreihe GWA, Band 211*, 8/1–8/12, Aachen, 2008

Autoren

Dr.-Ing. Gerd Kolisch, Dr.-Ing. Inka Hobus,
Dipl.-Ing. Thomas Osthoff
WiW – Wupperverbandsgesellschaft
für integrale Wasserwirtschaft mbH
Untere Lichtenplatzer Straße 100
42289 Wuppertal

E-Mail: kol@wupperverband.de

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hansen
Université du Luxembourg
6, rue R. Coudenhove-Kalergi
L-1359 Luxembourg

E-Mail: joachim.hansen@uni.lu

