

Abwasser- und Klärschlammbehandlung im Fokus der Energiewirtschaft der Zukunft

Vortragsveranstaltung und Workshop im Rahmen des Forschungsprojektes „ESiTI“

Christian Schaum, Johannes Rühl, Robert Lutze und Peter Cornel (Darmstadt)

Das Seminar „Abwasser- und Klärschlammbehandlung im Fokus der Energiewirtschaft der Zukunft“ mit Workshop und Fachausstellung am 3. März 2015 in Darmstadt hatte zum Ziel, die Akteure aus dem Wasser- und Energiesektor thematisch zusammenzubringen und daraus neue Impulse zu generieren. Dies ist den Veranstaltern, dem Fachgebiet Abwassertechnik am IWAR der TU Darmstadt sowie dem IWAR Förderverein, hervorragend gelungen, wie die Teilnehmer bekundeten. Ausgehend von der Fragestellung einer zukünftigen Abwasser- und Energiewirtschaft erfolgte eine Diskussion über einzusetzende Technologien bis hin zu Aspekten der Ökologie. Die Abwasserbehandlungsanlage wandelt sich zunehmend von der klassischen „Kläranlage“ zu einer vernetzten Einheit, welche die Belange des Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutzes vereint. Die Interaktion mit der Energiewirtschaft ist hierbei ein Baustein. Dies bedingt eine zunehmende Anforderung an die Flexibilisierung der Abwasserbehandlung, d. h. die Berücksichtigung von Energieverbrauch und -erzeugung im Tagesgang, wobei die verschiedenen Energieformen (Strom, Wärme, Kälte, aber auch chemisch gebundene Energie in Form von Gas oder Klärschlamm/Substrat) in einer intelligenten Nutzung zu kombinieren sind.

Einleitung: Wasser und Energie

Kann die Kläranlage in Zukunft flexibel Energie erzeugen, speichern und verbrauchen sowie als Energiedienstleister fungieren? Welche Interaktionen können zukünftig zwischen Energie- und Siedlungswasserwirtschaft genutzt werden? Wie relevant kann der Beitrag der Siedlungswasserwirtschaft sein?

Unter anderem wurden diese Fragen im Rahmen einer gemeinsamen Vortragsveranstaltung des Fachgebiets Abwassertechnik, Institut IWAR der Technischen Universität Darmstadt und des Fördervereins des Instituts IWAR am 3. März 2015 mit rd. 150 Fachleuten aus dem In- und Ausland diskutiert. Die Veranstaltung verfolgte dabei das Ziel, den Energie- und Wassersektor durch Vorträge miteinander zu verknüpfen und so die verschiedenen Akteure zusammenzuführen: Ausgehend von der Fragestellung einer zukünftigen Abwasser- und Energiewirtschaft über mögliche Technologien bis hin zu Aspekten der Ökologie. Ergänzt wurde die Veranstaltung durch einen Workshop sowie einer Fachausstellung.

Die Vortragsveranstaltung war Bestandteil des Verbundprojekts „Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft: Energiespeicher in der Interaktion mit technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch (ESiTI)“. Das interdisziplinäre Forschungsprojekt bestehend aus zwölf Verbundpartnern aus Kommune, Indust-

rie und Wissenschaft wird mit einem Gesamtvolumen von 2,7 Millionen Euro durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft (ERWAS)“ gefördert und vom Fachgebiet Abwassertechnik, Institut IWAR der TU Darmstadt koordiniert. Im Fokus steht die Klärschlammbehandlung als Energieverbraucher, -erzeuger und -speicher. Die verschiedenen „Energieformen“ – chemisch gebundene Energie (Substrat/Klärschlamm, Faulgas), Strom, Wärme, Kälte – werden miteinander verknüpft.

Von der Abwasserbehandlung zur Energiewirtschaft

Die Ver- und Entsorgung von Wasser gehört zu den integralen Bestandteilen von Siedlungsstrukturen. Besonders eindrücklich zeigt sich die Bedeutung dort, wo täglich Menschen aufgrund von Wassermangel oder fehlenden sanitären Einrichtungen erkranken oder sterben. Eine zukunftsfähige Abwasserbehandlung hat die Aspekte des Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutzes zu vereinen [1]. Gesundheits- und Gewässerschutz sind dabei miteinander verknüpft und umfassen Fragestellungen der Behandlung/Elimination der verschiedenen Inhaltsstoffe (beispielsweise Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor) bis hin zu Mikroschadstoffen (beispielsweise Arzneimittelrückstände,

Keime, Mikroplastik oder Nanopartikel) in Bezug auf die (Ab-)Wassernutzung bzw. Gewässereinleitung oder Wasserwiederverwendung. Ressourcenschutz beinhaltet Aspekte der Ressourceneffizienz, das heißt die Minimierung des Ressourcenverbrauchs (beispielsweise Energie, Betriebsstoffe) sowie der Ressourcenrückgewinnung, das heißt die Nutzung der im Abwasser/Klärschlamm enthaltenen Ressourcen, insbesondere Wasser, Nährstoffe (beispielsweise Phosphor) und Energie. Energie und Wasser sind direkt miteinander verknüpft. Auf der einen Seite erfordert die Bereitstellung von Energie den Einsatz von Wasser, auf der anderen Seite ist Energie notwendig für die Wasserver- und -entsorgung [2]. Durch die Wassernutzung (beispielsweise Förderung, Erwärmung oder Einleitung von Schmutzstoffen) enthält (Ab-)Wasser potenzielle, kinetische, thermische sowie chemisch gebundene Energie. Abwasser bzw. Klärschlamm stellt folglich eine nutzbare Ressource dar. Aspekte die Dr.-Ing. Christian Schaum (TU Darmstadt, Institut IWAR) in seinem Vortrag „Aufgaben und Ziele einer zukunfts-fähigen Abwasserbehandlung: Gewässer- und Ressourcenschutz“ aufzeigte.

Energieverbrauch und -erzeugung auf kommunalen Kläranlagen unterliegen in der Regel separat optimierten Prozessen und sind örtlich und zeitlich voneinander getrennt. In Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen auf der Kläranlage unterliegt der Energieverbrauch sowohl einem Tages-, Wochen- als auch Jahresgang. Die energetische Optimierung der Abwasser- und Klärschlammbehandlung erfolgt allerdings zurzeit auf Basis von Mittelwerten [3], wodurch Effekte im Tagesgang nicht berücksichtigt werden können.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch den Strombedarf (Gesamtstromverbrauch einschließlich Eigenstromproduktion)

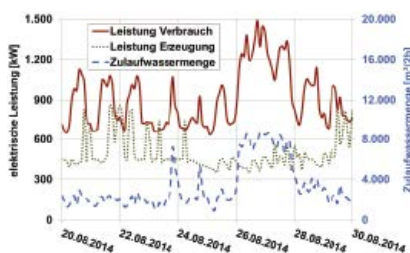


Abb. 1: Strombedarf und Stromerzeugung mittels BHKW (kommunale Abwasserbehandlungsanlage, Ausbaugröße 240000 EW)



Abb. 2: Vom Jahresmittelwert zum Tagesgang und Regelenergie [4]

und die Eigenstromerzeugung mittels Blockheizkraftwerk einer kommunalen Abwasserbehandlungsanlage mit einer Ausbaugröße von 240 000 Einwohnerwerten. Der Strombedarf zeigt einen ausgeprägten Tagesgang mit einem Spitzenverbrauch am Vormittag/Mittag und einem Minimum in den Nachtstunden, resultierend aus dem Tagesgang der Zulaufwassermenge bzw. -fracht zur Abwasserbehandlungsanlage. Des Weiteren zeigt Abbildung 1 die Leistung des Blockheizkraftwerks, wobei erkennbar ist, dass zum einen durch die Eigenstromerzeugung lediglich rund 50 % des Gesamtstromverbrauchs generiert werden können und zum anderen ein Ausgleich der Lastspitzen in entsprechender Höhe sowie zeitlich nur ansatzweise gelingt.

Für eine zukünftige Abwasserbehandlungsanlage bedeutet dies, dass aufbauend auf einer Steigerung der Energieeffizienz in Bezug auf Jahresmittelwerte eine Optimierung im Jahres- und Tagesgang erfolgt bis hin zur Interaktion mit dem Netzbetreiber zur Bereitstellung von Regelenergie. Dies bedingt dabei eine Zunahme der Flexibilität in der Maschinen-/Verfahrenstechnik sowie in der Betriebsweise (Abbildung 2).

Perspektiven der Energiewirtschaft der Zukunft

Aus Sicht eines Energieversorgers zeigte Dr. Marie-Luise Wolff-Hertwig (HEAG Südheissische Energie AG – HSE) im Rahmen ihres Vortrags zum Thema „Anforderungen und Herausforderungen an die Energiewirtschaft der Zukunft“ den aktuellen Stand der Energiewende auf. Mit einem voraussichtlichen Investitionsbedarf von rund 310 bis 360 Milliarden Euro bis 2030 ist die Energiewende dabei eines der größten Projekte in Deutschland. Aus Sicht der Umwelt gilt es dabei, die Energiewende weiter voran zu treiben, wobei Lösungsansätze für die damit

Zuverlässige
Durchfluss-
messung für
die Abwasser-
wirtschaft?

Sicher.



Zum Beispiel mit dem robusten, magnetisch-induktiven Durchflussmesser ProcessMaster. Seine einfache Bedienung, umfangreiche Gerätediagnose sowie vielfältige Ausführungsvarianten sorgen für einen zuverlässigen Betrieb von Abwasseranlagen.

www.abb.de/durchfluss

Wussten Sie, dass Ihnen ABB neben einem umfassenden Portfolio an zuverlässigen Produkten und Lösungen für die Instrumentierung und Analysetechnik effiziente Leittechnik sowie erstklassigen Service bietet?

Lesen Sie mehr unter:

www.abb.de/prozessautomatisierung

ABB Automation Products GmbH
Tel.: 0800 111 44 11
Fax: 0800 111 44 22
vertrieb.messtechnik-produkte@de.abb.com

Power and productivity
for a better world™ **ABB**

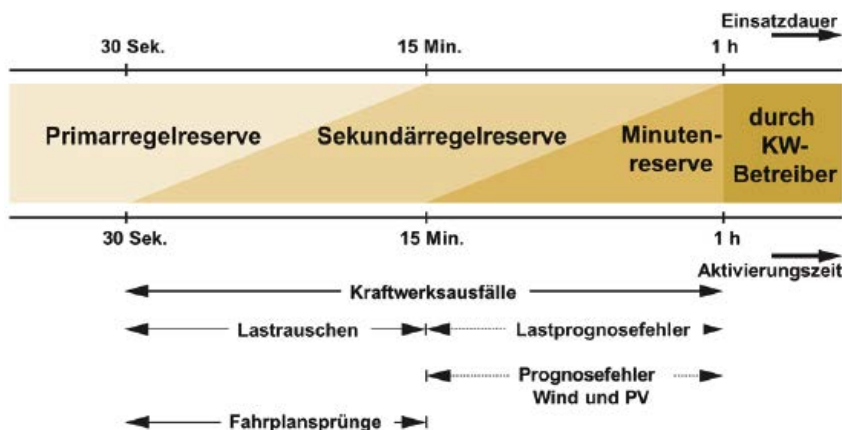


Abb. 3: Primärregel-, Sekundärregel- und Minutenreserve [5]

verbundenen Veränderungen in Bezug auf die Versorgungssicherheit (Regelenergie), aber auch der dafür notwendige politischen Rahmen zu entwickeln sind. Strategisch geht es in der Zukunft unter anderem um einen Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Entwicklung von smarten Energiedienstleistungen innerhalb der vier Wachstumsrichtungen „smart market“, „smart supply“, „smart use“ sowie „Management und Monitoring“.

Durch die volatile Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist unter anderem der Bedarf an (Energie-)Speichern gestiegen. Mögliche Lösungsansätze präsentierte Dipl.-Ing. Heinrich Busch (Stadtwerke Essen AG, Leiter DVGW-Forschungscluster „Smart Grids“) im Rahmen seines Vortrags „Intelligente Systeme: Smarte Netze mit Gas und Strom“. Ziel ist die Verknüpfung von Gas und Strom. Durch die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur ist die Nutzung von Gas, mit einem Gasnetz in Deutschland von rd. 450 000 km und einer transportierten Energiemenge von rund 1000 Milliarden kWh/h, als Energiespeicher möglich. Dies betrifft sowohl Erdgas als auch Bio-/Faulgas. Bereits heute speisen rund 130 Biomethananlagen mit einer Kapazität von rd. 80 390 Nm³/h Methan in das Erdgasnetz ein. Durch einen gekoppelten Betrieb von Strom- und Gasverteilungsnetzen mittels Power-to-Gas-Anlagen und Lastverschiebungselementen könnten so genannte Smart-Grid-Konzepte entwickelt werden. Das Gasnetz fungiert dabei als Speicher. Auch Abwasserbehandlungsanlagen können hierbei durch die Erzeugung von Faulgas einen Beitrag leisten.

Neben dem Bedarf an Speichermöglichkeiten ist die Bereitstellung von Regelenergie notwendig, um Ungleichge-

wichte zwischen Stromerzeugung und -verbrauch auszugleichen [5]. Es gibt drei verschiedene Regelleistungsarten (Abbildung 3), die sich in ihren Eigenschaften sowie in der Aktivierungsgeschwindigkeit unterscheiden [5–7]:

- **Primärregelleistung**
Dient der Aufrechterhaltung der Netzfrequenz und muss innerhalb von 30 Sekunden zur Verfügung stehen und für 15 Minuten aufrechterhalten werden.
- **Sekundärregelleistung**
Die Sekundärregelleistung wird für die Sicherstellung des Ausgleichs zwischen einzelnen Regelzonen des Verbundnetzes benötigt, wobei eine unmittelbare automatische Aktivierung durch den betroffenen Übertragungsnetzbetreiber erfolgt. Die Sekundärregelleistung muss innerhalb von 15 Minuten bei maximaler Einsatzdauer von einer Stunde zur Verfügung stehen.
- **Tertiärregelleistung bzw. Minutenreserve**
Für die Abdeckung großer Leistungsbilanzstörungen und der Konstanthaltung der Netzfrequenz müssen innerhalb von 15 Minuten Reserven aktiviert werden, wobei diese auf Abruf des Übertragungsnetzbetreibers bereitgestellt werden müssen [8]. Der abzudeckende Zeitraum pro Störung beträgt mindestens 15 Minuten in konstanter Höhe.

Regelleistung wird grundsätzlich unterschieden in positive und negative Regelleistung [5, 9]. Die positive Regelleistung ist die Kapazität, die im Notfall eine Unterproduktion auf dem Strommarkt abfe-

dert und Strom einspeist. Dies kann mit reduziertem Eigenenergiebezug sowie erhöhter Energieerzeugung erreicht werden. Mit negativer Regelleistung ist hingegen die Kapazität gemeint, die für das Speichern oder Zurückhalten von Strom benötigt wird, wenn zu viel Strom bei zu wenig Nachfrage im Netz vorhanden ist. Dafür muss der Energiebezug erhöht oder die Stromproduktion reduziert werden.

Im Rahmen des Vortrags „Regeneratives Kombikraftwerk Deutschland: Systemdienstleistungen mit 100 % erneuerbaren Energien“ zeigte Dipl.-Ing. Kaspar Knorr (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik – IWES), dass eine sichere und stabile Stromversorgung aus 100 % erneuerbaren Energien künftig möglich ist. Hierfür ist allerdings ein intelligentes Zusammenwirken von Stromerzeugung, Speicherung und „Backup-Kraftwerken“ mit erneuerbarem Gas notwendig. Bereits heute können die erneuerbaren Energien technisch wichtige Systemdienstleistungen erbringen. Andreas Keil (Energy2market GmbH) präsentierte in seinem Vortrag „Abwasseranlagen in virtuellen Kraftwerken: Nutzung von Flexibilität zur Preisoptimierung in Handels- und Energiemärkten“ Möglichkeiten zur Interaktion der Abwasserbehandlungsanlage mit der Energiewirtschaft. Durch den Zusammenschluss von vielen kleineren Anlagen zu einem virtuellen Kraftwerk ist eine Teilnahme am Regelenergiemarkt möglich. Unter virtuellen Kraftwerken sind Geschäftsmodelle zu verstehen, die durch das Verbinden technischer Einheiten eine gemeinsame Nutzung der Marktchancen ermöglichen und in Steuerungslogiken abgebildet werden. In Bezug auf die Abwasserbehandlung zeigen sich Flexibilitätspotenziale im Bereich der Eigenerzeugung, beispielsweise Blockheizkraftwerk, und den Prozessen, beispielsweise Verbraucher wie Spitzenlastpumpen oder (ab-)wasserwirtschaftliche Zwischenspeicher (Speicher- und Ausgleichsbecken), die Abwasserbehandlungsanlagen nutzen können. Das Grundprinzip ist dabei nicht mehr allein die „Energieautarkie“ der Abwasserbehandlungsanlage, sondern auch die Interaktion mit der Energiewirtschaft und die Nutzung derer Marktchancen.

Energie und Abwasserbehandlung

Dipl.-Geogr. Ernst A. Müller (InfraWatt – Energie in Infrastrukturanlagen) stellte

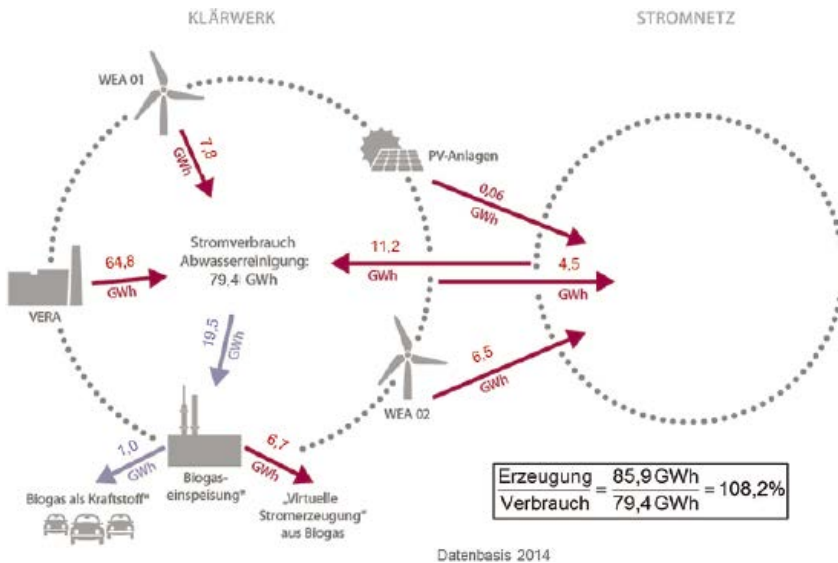


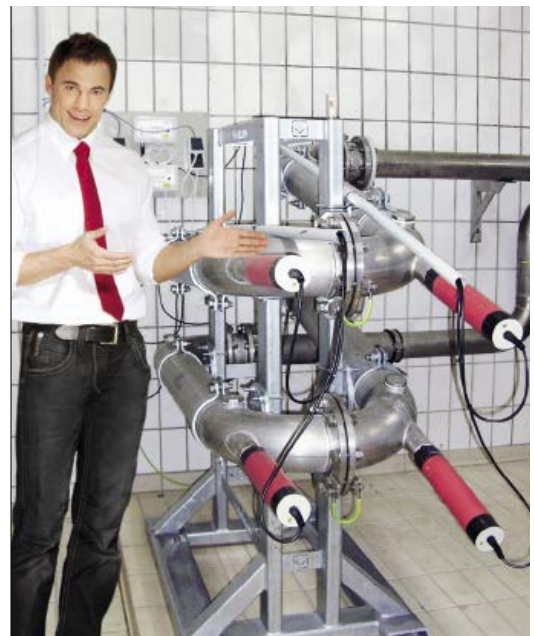
Abb. 4: Energiebilanz Klärwerkverbund Hamburg für das Jahr 2014, Windkraft (WEA), Photovoltaik (PV), Klärschlammverbrennung (VERA), rot: Strom; blau: Gas [10]

die „Wärmerückgewinnung aus Abwasser: Erfahrungen aus der Schweiz und Deutschland“ vor. Die Abwasserwärmenutzung ist mittlerweile eine erprobte Technologie; rund 80 Anlagen gibt es in der Schweiz, die teilweise seit mehr als 30 Jahren in Betrieb sind. Von besonderer Bedeutung ist der Einsatzort der Wärmerückgewinnung, angefangen von Installationen in Gebäuden („inhouse“) über den Einbau von Wärmetauschern in die Kanalisation bis hin zum Einsatz auf der Abwasserbehandlungsanlage. Die dargestellten Praxiserfahrungen zeigen vielseitige Einsatzmöglichkeiten der Wärmerückgewinnung aus Abwasser bei Einsätzen in bestehenden Gebäuden sowie bei Einbauten in bestehenden Kanälen auch bei längeren Distanzen zwischen Kanal und Wärmeabnehmer. Auch in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Ökologie zeigen die präsentierten Ergebnisse das hohe Potenzial einer Abwasserwärmenutzung.

Erste Ergebnisse zur „Flexibilisierung von Energieerzeugung und -verbrauch auf Kläranlagen“ präsentierte Dipl.-Ing. Ute Blotenberg (Münchner Stadtentwässerung). Durch die Implementierung eines Energieerfassungstools auf der Abwasserbehandlungsanlage werden gezielt Messdaten generiert, um die Lastspitzen dauerhaft zu senken sowie unerkannte Energieverbraucher zu identifizieren. Für das Klärwerk Gut Großlappen konnte durch den Einsatz des Tools eine Senkung der Lastspitzen von rund 7,5 auf rund 5,5 MW erzielt werden, wo-

durch Strombereitstellungskosten durch frühzeitige Regelung vorhandener Anlagen eingespart werden konnten. Im Rahmen einer Studie wurde der Einsatz von Photovoltaik auf dem Gelände der Abwasserbehandlung untersucht. Ziel ist es, durch das intelligente Zusammenspiel unter anderem im Tag-Nacht-Zyklus von Photovoltaik und Faulung (Blockheizkraftwerk) das System bis zur Energieautarkie zu optimieren, wobei die Flexibilisierung der Energieströme von großer Relevanz ist.

Im Rahmen des Vortrags „Energieoptimierung auf dem Klärwerk Hamburg-Kölbrandhöft durch Faulgasaufbereitung und Einspeisung von Biomethan“ von Dipl.-Ing. Hendrik Schurig (Hamburg Wasser) wurden verschiedene Projekte zur energetischen Optimierung der Abwasserbehandlungsanlage vorgestellt, unter anderem die vielerorts praktizierte Zugabe von Co-Substraten bis hin zur Erweiterung der Systemgrenzen der Kläranlage um Photovoltaik- und Windanlagen. Entsprechend zeigt sich, dass sich für energieautonome Kläranlagen geänderte Regelparameter ergeben. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Energiebilanz des Klärwerkverbunds Hamburg. Dabei interagieren zum einen die Energieerzeuger, bestehend aus Faulgasverstromung, Klärschlammverbrennung, Windkraft und Photovoltaik mit dem Energieverbraucher, bestehend aus der Abwasserreinigung und zum anderen mit dem Strom- und Gasnetz. Rund 10 % des Faulgases werden aufbereitet und entsprechend eingespeist; Strom wird so-



vogelsang-gmbh.com

BioCrack®: Tuning für Ihre Kläranlage

Mehr Gas, weniger Kosten durch elektrokinetische Desintegration.

- bis zu **15 % höhere Gas- bzw. Stromerträge**
- **weniger Klärschlamm** und **reduzierter Flockungsmittelbedarf**. Jetzt nachrechnen unter: www.biocrack.de
- **Geringe Investition**, keine Wartungs- und Verschleißkosten, **extrem geringe Energiekosten**

**BioCrack – einfacher Test, aussagekräftige Ergebnisse
Jetzt ausprobieren!***

*Details auf biocrack.de



VOGELSSANG
ENGINEERED TO WORK

Hugo VogelSang Maschinenbau GmbH
D-49632 Essen/Oldb.

wohl bezogen als auch eingespeist. Insgesamt zeigt dabei die Gesamtbilanz einen Eigenversorgungsgrad von > 100 %.

Mit dem Themenschwerpunkt „Energieoptimierung und Risiken für den Umweltschutz“ zeigte Prof. *Hansruedi Siegrist* (eawag) verschiedene Zukunftsaussichten auf. Im Fokus standen dabei die bei der Abwasserbehandlung entstehenden Lachgasemissionen. Wenngleich der Beitrag der Lachgasemissionen von Abwasserbehandlungsanlagen an den globalen Treibhausgasemissionen von geringer Bedeutung ist, können diese die dominierenden Treibhausgasemissionen der Abwasserbehandlungsanlage aufgrund des im Vergleich zu Kohlendioxid rund 300-fach höheren Treibhauspotenzials sein. Von großer Bedeutung ist dabei der Betrieb der Stickstoffelimination und in Bezug auf die Klärschlammbehandlung die Frage der Prozesswasserbehandlung. Die Bildung von Lachgasemissionen ist dabei noch nicht vollständig erforscht und zurzeit Bestandteil verschiedener Forschungsprojekte.

Workshop – Diskussion und Definition von Bewertungskriterien

Unter der Überschrift „Bewertung der Klärschlammbehandlung und -verwertung im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch“ diskutierten und definierten im Rahmen eines parallel durchgeführten Workshops, unter der Leitung von Dr. *Till Ansmann* und Dipl.-Pol. *Axel Dierich* (inter 3 Institut für Ressourcenmanagement), insgesamt zwölf Vertreterinnen und Vertreter aller einschlägigen Akteursgruppen (Kläranlagenbetreiber, Händler von Regelenergie, Energieversorger, Planer und Berater, Vertreterinnen von Umweltbehörden und Verbänden sowie Wissenschaftler und Produzenten) Bewertungskriterien, die für einen Variantenvergleich zur energetischen Optimierung von Kläranlagen herangezogen werden sollen. Durch die Beteiligung der verschiedenen Stakeholder-Gruppen und ihre jeweilige Gewichtung der Kriterien lassen sich verschiedene Perspektiven abbilden und somit ihre unterschiedlichen Sichtweisen und Interessen im Hinblick auf die unterschiedlichen Lösungswege berücksichtigen.

Fazit

Insgesamt zeigt die positive Resonanz der Vortragsveranstaltung die Relevanz der Themenstellung. Ein wichtiger Aspekt ist dabei, die beiden Themenbereiche sowie Akteure der Abwasserbehandlung und Energiewirtschaft zusammenzuführen. Die Abwasserbehandlungsanlage wandelt sich dabei zunehmend von der „Kläranlage“, das heißt der Anlage zum „klären“ des Abwassers, zu einer vernetzten Einheit, welche die Belange des Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz vereint. Die Interaktion mit der Energiewirtschaft ist hierbei ein neuer Baustein. Dies bedingt eine zunehmende Anforderung an die Flexibilisierung der Abwasserbehandlung, das heißt die Berücksichtigung von Energieverbrauch und -erzeugung im Tagesgang, wobei die verschiedenen Energieformen (Strom, Wärme, Kälte, aber auch chemisch gebundene Energie in Form von Gas oder Klärschlamm/Substrat) in einer intelligenten Nutzung zu kombinieren sind. Im Rahmen des Forschungsprojekts „ESiTI“ sollen bis 2017 unter anderem diese, sich aus diesem Kontext ergebenden Forschungsfragestellungen geklärt werden und mit einem praktischen Leitfaden dem Anwender/Kläranlagenbetreiber eine Unterstützung zur Flexibilisierung „seiner“ Kläranlage zur Verfügung gestellt werden.

Dank

Das Forschungsprojekt „ESiTI“ wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft“ (ERWAS), Förderkennzeichen: 02WER1322A-H.

Tagungsband

Die Tagungsunterlagen der Vortragsveranstaltung sind erschienen als „*Tagungsunterlagen IWAR 4 – Abwasser- und Klärschlammbehandlung im Fokus der Energiewirtschaft der Zukunft*“ und können für 35 Euro bestellt werden:

E-Mail: info@esiti.de, www.esiti.de

Literatur

- [1] Schaum, C.: *Abwasserbehandlung der Zukunft: Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz*, Habilitationsschrift, TU Darmstadt, Institut IWAR, in Vorbereitung, 2015
- [2] Schaum, C., Lensch, D., Cornel, P.: Water reuse and reclamation: A contribution to energy efficiency in the water cycle, *Journal of Water Reuse and Desalination* 2014, doi:10.2166/wrd.2014.159
- [3] Arbeitsblatt DWA-A 216 (Entwurf): *Energiecheck und Energieanalyse: Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen*, Hennef, 2013
- [4] ESiTI: Entwicklung im Rahmen des Verbundprojektes ESiTI unter Beteiligung aller Projektpartner, 2015
- [5] dena: *Handbuch Lastmanagement, Vermarktung flexibler Lasten: Erlöse erwirtschaften – zur Energiewende beitragen*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2012
- [6] StromNZV: Verordnung über den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen (Stromnetzzugangsverordnung – StromNZV), zuletzt geändert am 21. Juli 2014
- [7] VDE: *Erneuerbare Energie braucht flexible Kraftwerke – Szenarien bis 2020*, Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE), Frankfurt am Main, 2012
- [8] dena: *Die Bedeutung des geplanten Pumpspeichers Heimbach und weiterer Stromspeicher im aktuellen und zukünftigen deutschen Stromversorgungssystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien*, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, 2013
- [9] Bundesnetzagentur: BK6-10-099, Beschluss der Bundesnetzagentur, 2011
- [10] Schurig, H.: Energieoptimierung auf dem Klärwerk Hamburg durch Faulgasaufbereitung und Einspeisung von Biomethan, *Tagungsunterlagen IWAR 4 – Abwasser- und Klärschlammbehandlung im Fokus der Energiewirtschaft der Zukunft*, 3. März 2015, Darmstadt

Autoren

Dr.-Ing. Christian Schaum
M. Sc. Johannes Rühl
Dipl.-Ing. Robert Lutze
Prof. Dr.-Ing. Peter Cornel
Technische Universität Darmstadt
Institut IWAR –
Fachgebiet Abwassertechnik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt

E-Mail: c.schaum@iwar.tu-darmstadt.de

