



Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine **E**nergieeffiziente und **R**essourcenschonende **W**asserwirtschaft

Zwischenergebnisse



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FONA
Nachhaltiges
Wassermanagement
BMBF



Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine **E**nergieeffiziente und **R**essourcenschonende **W**asserwirtschaft

Zwischenergebnisse

Inhaltsverzeichnis

Die BMBF-Fördermaßnahme ERWAS	4
ERWAS-Querschnittsthemen	8
ERWAS-Verbundprojekte	14
Energieoptimierung und Lastmanagement in der Trinkwasserversorgung	
ENERWA Energetische Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems	16
EnWasser Erschließung eines Lastmanagementpotenzials in der Wasserversorgung zur Integration erneuerbarer Energien	18
EWave Energiemanagementsystem Wasserversorgung	20
EWID Energiegewinnung im Wasserverteilungsnetz durch intelligentes Druckmanagement	22
H₂Opt Interaktive Entscheidungsunterstützung für das Betriebs- und Energiemanagement von Wasserversorgungsbetrieben auf der Grundlage von mehrkriteriellen Optimierungsverfahren	24
Energieerzeugung aus Abwasser mit Biobrennstoffzellen	
BioBZ Die bio-elektrochemische Brennstoffzelle als Baustein einer energieerzeugenden Abwasserbehandlungsanlage	26
BioMethanol Nachhaltige Synthese des Energieträgers Methanol aus Abwasser	28
KEStro Kläranlagen als Energiepuffer für Stromnetze	30
Erschließung der Energie- und Ressourcenpotenziale in der Abwasserreinigung	
arrivee Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung	32
E-Klär Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagen-Technologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende	34
ESiTI Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft: Energiespeicher in der Interaktion mit technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch	36
KRN-Mephrec Klärschlamm zu Energie, Dünger und Eisen mit metallurgischem Phosphorrecycling in einem Verfahrensschritt	38
Kontakt Daten der Verbundpartner	40
Impressum	48

Die BMBF-Fördermaßnahme ERWAS

Ein Zwischenstand

Wasser ist unsere wichtigste Lebensgrundlage. Seine Qualität wird in modernen Industriegesellschaften mit Hilfe von Anlagen gesichert, die durch einen hohen Ressourcen- und Energiebedarf gekennzeichnet sind. In Zeiten sinkender Verfügbarkeit fossiler Energieträger kann die Wasserwirtschaft daher einen wertvollen Beitrag zur Energiewende leisten, indem die Energieeffizienz ihrer Anlagen deutlich verbessert und eigene regenerative Energien genutzt werden. Hierfür sind neue Möglichkeiten und Wege zu erkunden und für den Betriebsalltag verfügbar zu machen.

Vor diesem Hintergrund finanziert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft“ (ERWAS). Sie ist Teil des Themenfeldes „Wasser und Energie“ des Förderschwerpunktes „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (FONA).

Etwa zur Hälfte der Laufzeit präsentiert die vorliegende Broschüre erste Zwischenergebnisse der Fördermaßnahme ERWAS.

Hintergrund und Ziele

Ohne Energie kann keine wasserwirtschaftliche Anlage betrieben werden. Die in Deutschland vorhandenen Systeme der öffentlichen Wasserversorgung und Abwasserbehandlung verbrauchen zusammen 6,6 TWh elektrische Energie pro Jahr. Das entspricht dem jährlichen Strombedarf von etwa 1,6 Millionen Vier-Personen-Haushalten. Dabei sind die Kläranlagen mit 4,2 TWh pro Jahr die größten Stromverbraucher im kommunalen Bereich. Sie haben einen höheren Strombedarf als zum Beispiel Schulen oder die Straßenbeleuchtung. Durch Energiesparmaßnahmen und Effizienzsteigerung besteht hier ein geschätztes Einsparpotenzial von bis zu 25% dieses Stromverbrauches.

Zur Nutzung dieses Potenzials soll im Rahmen der Fördermaßnahme ERWAS ein Beitrag zu einer zukunftsfähigen, energieeffizienten Wasserversorgung und Abwasserentsorgung geleistet werden. Dabei stehen die Verbesserung der Energieeffizienz und eine ressourcenschonende Energiegewinnung im Fokus. Im Falle der Abwasserreinigung könnte beispielsweise durch innovative Ansätze energetische Autonomie oder sogar eine „energiepositive“ Versorgungslage erreicht werden.



Abb. 1: Schlammbehandlungsanlage Dresden-Kaditz der Stadtentwässerung Dresden GmbH

Weiterhin wird im Rahmen verschiedener Verbundforschungsvorhaben der Fördermaßnahme untersucht, wie wasserwirtschaftliche Anlagen intelligent in die Wasser und Energieinfrastruktur der Zukunft eingebunden werden können.

Es werden vor allem Forschungsvorhaben unterstützt, die nach Abschluss der Forschungstätigkeit eine zeitnahe und effiziente Umsetzung in der betrieblichen Praxis der Anlagen zur Wasserversorgung und Abwasserentsorgung erwarten lassen.

Die Verbundforschungsvorhaben

Im Rahmen der ERWAS-Fördermaßnahme unterstützt das BMBF 12 Verbundforschungsvorhaben (Abb. 1) mit rund 80 Partnern. Um die Übertragung der Vorhabensergebnisse in die Praxis zu gewährleisten und die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an den Bedürfnissen der Anwender auszurichten, arbeiten in allen Vorhaben Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft sowie von Kommunen und Ländern zusammen.

Ein inhaltlicher Schwerpunkt der geförderten Vorhaben liegt in der Erarbeitung neuer Konzepte des Zusammenwirkens zwischen der Trinkwasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft. Beispiele stellen die Nutzung des Lastmanagementpotenzials und der Energiespeichermöglichkeiten der Wasserwirtschaft für die zukünftigen Energiesysteme dar. Hier wird unter anderem erforscht, inwiefern wasserwirtschaftliche Anlagen bei einem zukünftig stärker schwankenden Stromangebot aus regenerativen Quellen (Wind- und Solarenergie) eine ausgleichende Rolle als Energiequelle oder -senke spielen können.

Weiterhin sollen innovative Verfahren der Energieerzeugung und der Energiewandlung auf wasserwirtschaftlichen Anlagen entwickelt werden, so die optimierte Stromerzeugung in mikrobiellen Brennstoffzellen oder die Umwandlung in Methanol. Neue Wege zur verbesserten Erschließung der im Klärschlamm gebundenen Energiepotenziale bei gleichzeitiger Verwertung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen wie Phosphor stehen ebenfalls im Fokus.

In mehreren Verbundvorhaben steht die Nutzung der Energiepotenziale in den Anlagen der Wasserversorgung im Vordergrund. Ein thematischer Schwerpunkt liegt hier im Bereich der Betriebsoptimierung. Ein weiteres Forschungsthema ist die Energieoptimierung zukünftiger Anlagen zur Elimination von Spurenstoffen.

Zwischenergebnisse der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit der 12 Verbundforschungsvorhaben werden nachstehend dargestellt. Es ergibt sich ein

spannender Überblick über die bisher ungenutzten Potenziale wasserwirtschaftlicher Anlagen. Für Betreiber und Unternehmen zeichnet sich bereits jetzt ab, dass sich aus der ERWAS-Forschungs- und Entwicklungstätigkeit viele neue Möglichkeiten zur Energieoptimierung ihrer individuellen Anlagen ergeben werden.

Trinkwasserversorgung	ENERWA
	EnWasser
	EWave
	EWID
Biobrennstoffzellen	H ₂ Opt
	BioBZ
	BioMethanol
Abwasserreinigung	KEStro
	arrivee
	E-Klär
	ESiTI
	KRN-Mephrec

Abb. 2: Die Projekte der ERWAS-Fördermaßnahme

Der Lenkungsreis

Im Zentrum der Fördermaßnahme steht die Arbeit der Verbundforschungsvorhaben. Diese werden unter anderem von einem Lenkungsreis als begleitendes Gremium unterstützt. Seine Aufgabe ist es, wie bei allen Fördermaßnahmen im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes NaWaM, an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis sicher zu stellen, dass sich aus den Forschungsarbeiten praxisrelevante Erkenntnisse ableiten und umsetzen lassen.

In den Lenkungsreis sind Mitglieder aus Wirtschaft, Behörden und anderen Institutionen berufen, die mit dem Thema „Wasser und Energie“ im Rahmen ihrer täglichen Arbeit auf verschiedenste Weise verbunden sind. Die Koordinatoren aller 12 Verbundforschungsvorhaben sind ebenfalls Mitglied des Lenkungsreises, so dass ein direkter Wissens- und Informationsaustausch gewährleistet ist.

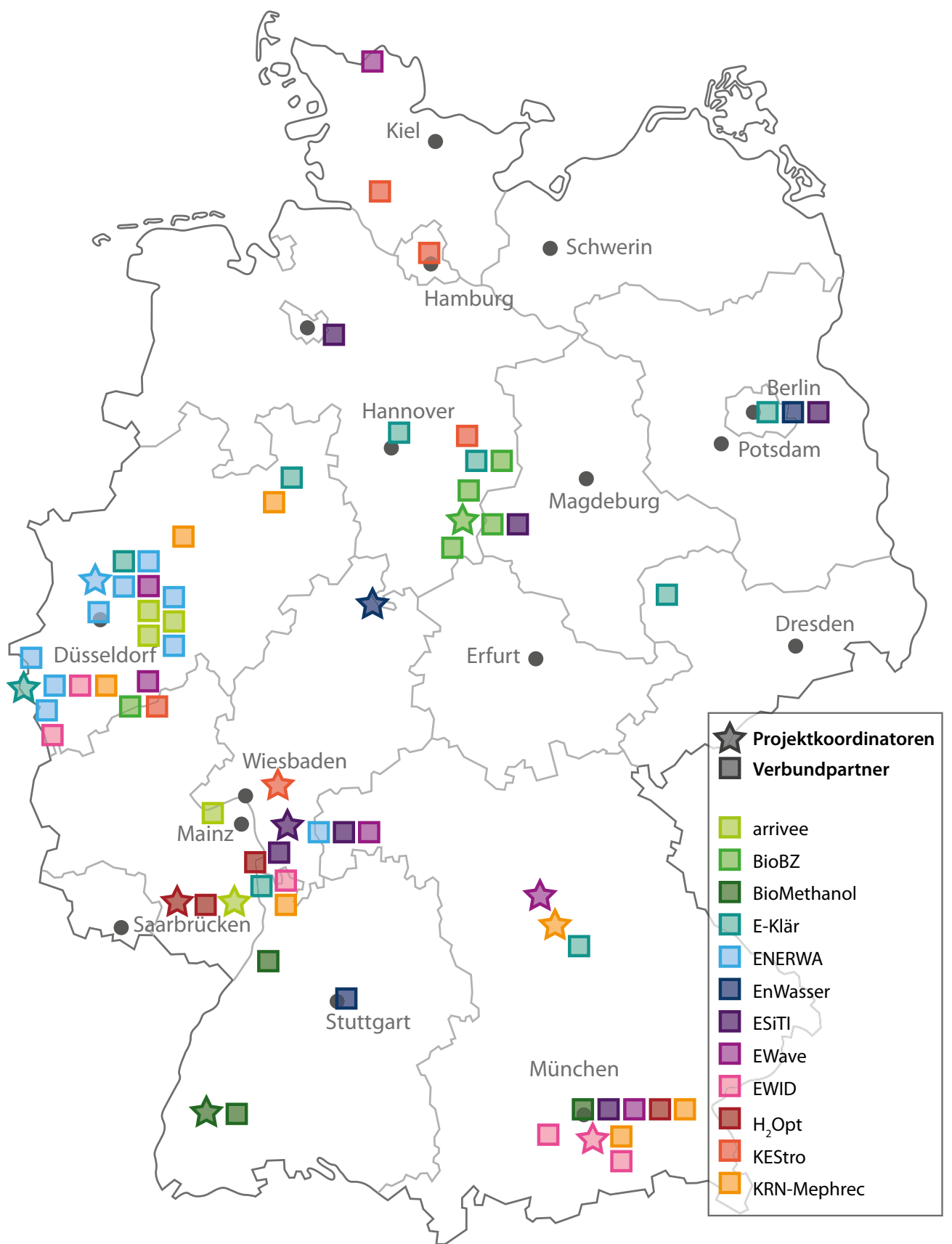


Abb. 3: BMBF-Fördermaßnahme ERWAS – Standorte der beteiligten Institutionen

Obwohl in den sehr komplexen ERWAS-Verbundforschungsvorhaben zahlreiche unterschiedliche Teilaspekte und Themen behandelt werden, ergeben sich viele Schnittstellen z.B. bei Verfahren, Methoden oder fachspezifischen Fragestellungen. Um diese Arbeiten zusammen zu führen und mögliche Synergiepotenziale aktiv zu nutzen, hat der Lenkungsreis mehrere Querschnittsthemen (QT) definiert, die in verbundübergreifenden Arbeitsgruppen bearbeitet werden. Zurzeit sind dies:

- QT Biobrennstoffzelle (BZ)
- QT Klärschlamm
- QT Energiespeicher und Energienetze (ESpEN)
- QT Modellierung und Simulation

Die Aufgabenbeschreibung und bisherige Ergebnisse finden sich unter den entsprechenden Abschnitten dieser Broschüre.

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben

Die Fördermaßnahme ERWAS wird durch ein eigenständiges Vernetzungs- und Transfervorhaben (ERWASNET) begleitet, das organisatorische und inhaltliche Aufgaben wahrnimmt und die Verbundforschungsvorhaben bei ihrer Arbeit unterstützt. Daneben wurden bisher folgende Aufgaben erfüllt bzw. begonnen:

- Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Arbeitstreffen, Diskussionsforen und Statusseminaren zu übergreifenden Fragestellungen;
- Erarbeitung und Bereitstellung von Informationsmaterialien zur Fördermaßnahme (Presse- und Werbematerialien, Broschüren, Flyer, Homepage, Newsletter, etc.);
- Sicherstellung der Koordinierung mit den regelsetzenden Verbänden der Wasserwirtschaft, um die Verwertung der Ergebnisse der Forschungsvorhaben in den technischen Regelwerken zu ermöglichen;
- Vernetzung mit entsprechenden nationalen und internationalen Aktivitäten.

Im internationalen Bereich wurden bisher drei Großveranstaltungen mit Bezug zum Wasser-Energie-Nexus besucht (Washington, D.C., Stockholm und Exeter). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Forschungsverbundvorhaben im internationalen Vergleich an der Spitze der technologischen Entwicklung bewegen.

Das Vernetzungs- und Transfervorhaben wird von einem Konsortium bestehend aus der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) und der TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH durchgeführt.

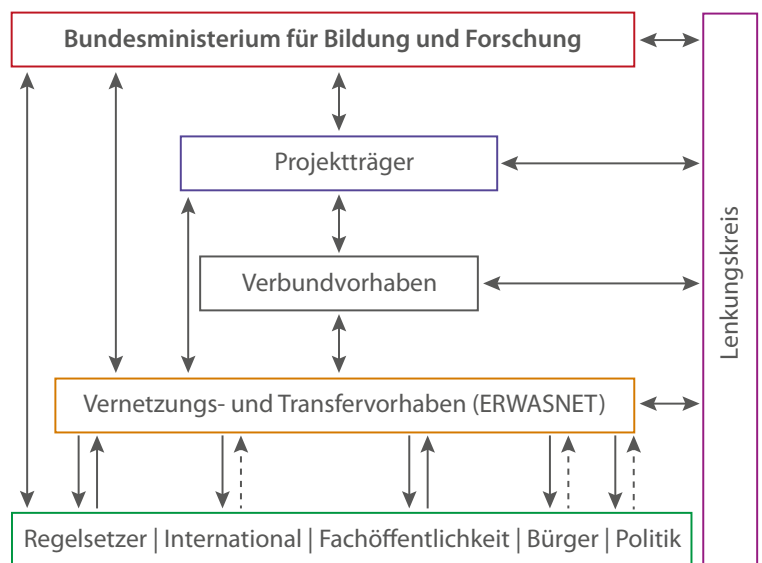


Abb. 4: Struktur der Fördermaßnahme

Weitergehende Informationen

Weitere Informationen können der Internetseite der Fördermaßnahme ERWAS (www.bmbf.nawam-erwas.de) und der dort verlinkten Internetseiten der Forschungsverbundvorhaben entnommen werden.

Kontakt:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
 Theodor-Heuss-Allee 17 • 53773 Hennef
 A. Baum • Dr. N. Hüffmeyer • Dr. C. Wunsch
 Tel.: +49 2242 872-124 • Tel.: +49 2242 872-209
 baum@dwa.de • hueffmeyer@dwa.de • Wunsch@dwa.de

Tuttahs & Meyer
 Ingenieurgesellschaft mbH
 Bismarckstr. 2-8 • 52066 Aachen
 Prof. Dr. M. Schröder • Dr. M. Steinke
 Tel.: +49 241 500005 • Tel.: +49 234 33305-0
 m.schroeder@tum-aachen.de
 m.steinke@tum-bochum.de





ERWAS-Querschnittsthemen

Biobrennstoffzellen

Stromerzeugung bei der Reinigung von Abwasser

Im Rahmen der durch die Fördermaßnahme ERWAS unterstützten Verbundvorhaben BioBZ, KESTro und BioMethanol spielt die Technologie der mikrobiellen Biobrennstoffzelle eine zentrale Rolle. In diesem energieeffizienten Ansatz zur Abwasserreinigung übertragen sogenannte exoelektrogene Bakterien (energieproduzierende Mikroorganismen) Elektronen auf die Anode einer Brennstoffzelle statt auf den Sauerstoff, wie im klassischen Atmungsvorgang. So kann aus Abwasser direkt elektrische Energie erzeugt und gleichzeitig auf die energieintensive Belüftung des Abwassers verzichtet werden (Abb. 1).

Zu den verbundübergreifenden Fragestellungen, die im Rahmen des Querschnittsthemas bearbeitet werden, gehören Methoden zur Ableitung von Struktur-Eigenschaftsbeziehungen, die Integration der Biobrennstoffzelle in die kommunale Abwasserreinigung sowie das Themenfeld Konstruktion und Auslegung. Dabei bestehen aussichtsreiche Synergien zwischen den Projekten. Sowohl die Verbünde KESTro als auch BioBZ betrachten das Thema Mikroschadstoffe im Abwasser, während die Verbünde BioBZ und BioMethanol sich u.a. mit der Entwicklung von Kathodenmaterialien für die Wasserstoffherzeugung beschäftigen. Hierzu wurden bereits erste Materialien und Ergebnisse ausgetauscht.

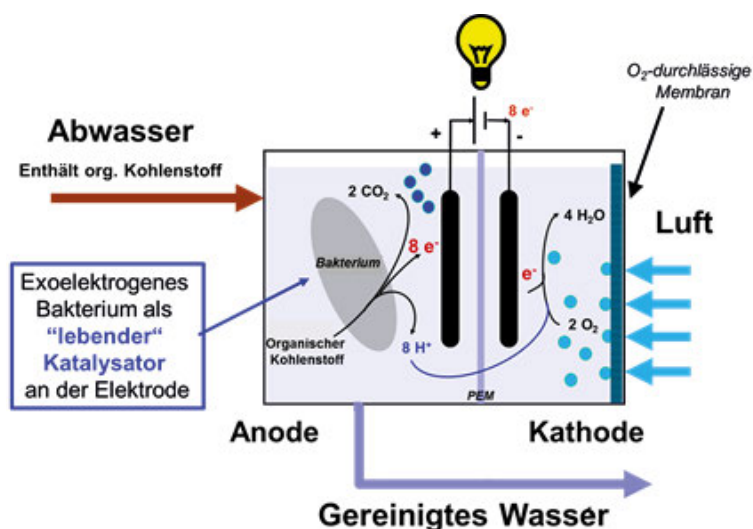


Abb. 1: Funktionsprinzip einer mikrobiellen Biobrennstoffzelle zur gleichzeitigen Stromerzeugung und Reinigung von Abwasser (Quelle: IMTEK).

In den bereits stattgefundenen Treffen des Querschnittsthemas Biobrennstoffzelle wurden zunächst personelle Schnittstellen zur Abstimmung eventuell überlappender oder sich ergänzender Arbeiten zwischen den Projekten identifiziert. Weiterhin wurden Grundlagenvorträge zur Elektrochemie und Mikrobiologie gehalten und das Thema Methoden zur Ableitung von Struktureigenschaftsbeziehungen intensiv diskutiert. Darüber hinaus wurden auch erste Ergebnisse aus dem Verbund BioBZ hinsichtlich der Integration der Biobrennstoffzelle in die kommunale Abwasserreinigung vorgestellt. Es besteht Einigkeit darüber, dass die CSB-Elimination nicht in Konkurrenz mit der Stickstoffentfernung stehen sollte. Weiterhin werden zunächst eher kleinere Anlagen für den Einsatz der Biobrennstoffzelle als sinnvoll erachtet, da dort u.a. geringere Anforderungen bezüglich der Stickstoffelimination herrschen. Zudem könnten neue Stickstoffeliminationsverfahren zusammen mit der Biobrennstoffzelle in kleinen Anlagen einfacher etabliert werden. Darüber hinaus wird insbesondere in der Behandlung von Industrieabwasser ein vielversprechender Einsatzbereich gesehen. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Frage ist, unter welchen Voraussetzungen die Technologie der Biobrennstoffzelle in einer Kläranlage eingebaut werden würde. Um diese Diskussion mit Kläranlagenbetreibern, Anlagenbauern, Ingenieurbüros und weiteren Akteuren anzustoßen soll ein leicht verständlicher Übersichtsartikel für die Industrie und für Anlagenbetreiber verfasst werden.

In zukünftigen Treffen sollen vermehrt externe Teilnehmer und Industrievertreter, die nicht im Rahmen von ERWAS gefördert werden, mit Vorträgen zu ihren Erfahrungen und Herausforderungen in anderen Projekten eingebunden werden.

Kontakt:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
IMTEK – Institut für Mikrosystemtechnik
Georges-Koehler-Allee 103
79110 Freiburg
Dr. Sven Kerzenmacher

Tel.: +49 761 203-73218
sven.kerzenmacher@imtek.uni-freiburg.de

Energiespeicher und Energienetze (ESpEN)

Wasserwirtschaftliche Anlagen bieten Flexibilitätsbausteine für den Strommarkt

Durch die Energiewende befindet sich der Energiesektor in einem starken Wandel. Zukünftig werden Regelbausteine für den Strommarkt benötigt, die Energie einspeisen oder abnehmen können und so schwankende Energiemengen ausgleichen. Die Wasserwirtschaft hat sich zum Ziel gesetzt im „Strommarkt für die Energiewende“ eine bedeutende Rolle zu spielen. Das ERWAS-Querschnittsthema „Energiespeicher und Energienetze (ESpEN)“ behandelt die „Flexibilitätspotenziale“ der Wasserwirtschaft.

In den Verbundprojekten werden unterschiedliche Handlungsoptionen und konkrete Beiträge zur Flexibilität in der Energiewirtschaft untersucht. Neben einer detaillierten Bestandsanalyse in den ERWAS-Projekten behandelt das Querschnittsthema zunächst gemeinsam den konkreten Bedarf am Markt und die monetären Potenziale. Hierzu wurden auch externe Experten und Marktteilnehmer angehört.

Als Ergebnis konkretisiert sich der zunehmende Bedarf, Flexibilitätsoptionen wie variablen Betrieb und Speicher in Gesamtsysteme einzubinden. Eine weitere Erkenntnis der ersten Untersuchungen ist die Tatsache, dass die Wasserwirtschaft mit Ihren Leistungsgrößen an BHKWs, Pumpsystemen, usw. über sehr interessante „Flexibilitätsbausteine“ für die Energiewirtschaft verfügt.

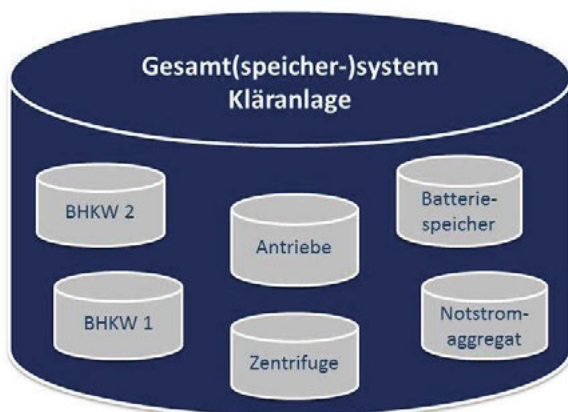


Abb. 1: Gesamtsystem – Kläranlage als Energiespeicher

Es werden „Flexibilitätsbausteine“ wie BHKWs, Notstromaggregate oder Antriebe benötigt, welche ausreichend und mit großen Leistungen vorhanden sind. Ohne Zusatzinvestitionen ist somit den Anlagenbetreibern die Teilnahme am Strommarkt möglich, gerade da

die Einzelkomponenten auch noch redundant verfügbar sind. In den Projekten werden derzeit die einzelnen Komponenten identifiziert, erfasst und zusammen getragen. Ziel ist die Ermittlung der möglichen Gesamtpotenziale am Beispiel der beteiligten Projekte.

In einigen Projekten, die an diesem Querschnittsthema teilnehmen, werden auch flexible Betriebsweisen, wie bedarfsgerechte Gasproduktion, behandelt. Durch Speicherung in den Medien Gas, Wärme oder Strom, wird eine Entkoppelung von Energieerzeugung und –bedarf der Anlage vom Stromnetz möglich. Dies soll eine weitere Optimierung bei der Integration in Gesamtsysteme unterstützen. Aber auch Flexibilitätspotenziale durch vorhandene Speicherbecken werden geprüft. Mit gebotener Vorsicht wird das bedarfsgerechte Zu- oder Abschalten von Antrieben untersucht. Vorrangige Priorität bleibt die Bereitstellung von Trinkwasser und die Reinigung von Abwasser.

Grundlage einer optimierten Nutzung von Flexibilitätsbausteinen ist die detaillierte Kenntnis von Einzelkomponenten und Systemen. Je genauer die Betriebsdaten erfasst werden und je kurzfristiger und verlässlicher die Bereitstellung von Flexibilität möglich ist, desto höher sind die Ertragsmöglichkeiten. Diese erweiterten Daten ermöglichen darüber hinaus Erkenntnisse zur effizienteren Betriebsweise der Anlagen sowie Zuwächse in der dezentralen Energieerzeugung. Ungeachtet der Möglichkeiten und Preisentwicklungen in den Flexibilitätsmärkten resultieren aus dem bewussteren Anlagenbetrieb nachhaltig optimierte Energiekosten durch reduzierte Verbräuche und verbesserte Eigenerzeugung in der Wasserwirtschaft. Diese Daten und Erfahrungen werden im Querschnittsthema präsentiert und ausgetauscht, um Projektaktivitäten zu vernetzen und Synergien zu nutzen.

Kontakt:

bluemove Consulting Gmbh
Kellerbachstraße 8
82335 Berg
Arthur Dornburg

Tel.: +49 175 2232144
dornburg@bluemove-consulting.de

Klärschlamm

Nutzung der Energieressource Klärschlamm: Klärschlamm und Co-Substrate, Faulgas, Klärschlammverwertung

Das ERWAS Querschnittsthema „Nutzung der Energieressource Klärschlamm: Klärschlamm und Co-Substrate, Faulgas, Klärschlammverwertung“ (ERWAS-QT-Klärschlamm), dient der Identifizierung, Zusammenarbeit und Vernetzung im Bereich der Klärschlammbehandlung und -verwertung. Unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. Christian Schaum (TU Darmstadt, Institut IWAR, Verbundprojekt ESiTI) finden regelmäßige Sitzungen mit ca. 20 Teilnehmern aus den Verbundprojekten arrivee, E-Klär, ESiTI und KRN-Mephrec sowie aus dem Vernetzungsprojekt ERWASNET und vom Projektträger Karlsruhe statt.

In den bisherigen Sitzungen wurden gemeinsame Anknüpfungspunkte diskutiert und identifiziert:

- Nutzung einer einheitlichen Terminologie im Bereich von Fachwörtern
- Vereinheitlichung von Bilanzräumen und Systemgrenzen, Einsatz eines Basisvektors
- Untersuchung der Vergleichbarkeit von Analyseverfahren

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Parameters CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) im Bereich der Klärschlammbehandlung, hat die TU Darmstadt eine CSB-Vergleichsmessung zwischen den Teilnehmern des Querschnittsthemas organisiert. Ziel war es, verschiedene Analyseverfahren unter Einbeziehung der Probenvor- bzw. -aufbereitung zu vergleichen, um Rückschlüsse auf Plausibilität und Reproduzierbarkeit der Messergebnisse bzgl. (Klär-)Schlammproben zu ziehen. Insgesamt nahmen 10 Laboratorien an der Vergleichsmessung teil. Gegenstand der Untersuchung war die Analyse von verschiedenen (Klär-)Schlämmen (Primär-, Überschuss-, Faul- und Flotatschlamm) sowie einer Referenzlösung bezüglich des CSB. Das Analyseverfahren wurde dabei nicht vorgegeben.

Im Rahmen der Vergleichsmessungen konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass sich alle angewendeten Verfahren zur CSB-Bestimmung eignen. Die Verfahren weisen jedoch in Abhängigkeit der Probenart (Homogenität des Feststoffanteils, Fettanteil) unterschiedlich große Abweichungen auf. Vorteilhaft zeigen sich hier die Vorgehensweisen, bei denen die Originalprobe ohne weitere Probenvorbereitung (trocknen und mahlen) und mit einer geringen bzw. ohne Verdünnung

analysiert werden können. Die detaillierten Ergebnisse wurden in einem Artikel zusammengestellt, der in der KA Korrespondenz Abwasser, Abfall publiziert werden soll. Des Weiteren werden die Ergebnisse im Rahmen der Überarbeitung der DIN 38414 Teil 9 (Bestimmung des CSB im Bereich von Schlamm und Sedimenten) Berücksichtigung finden.

In einem nächsten Schritt ist nun die Durchführung einer Vergleichsmessung von Laborgärversuchen geplant. Ebenso ist ein Expertenworkshop zur Diskussion von Themen aus dem Bereich Klärschlammbehandlung und Energie in Vorbereitung. Ziel ist dabei der Austausch zwischen Forschung und Praxis.

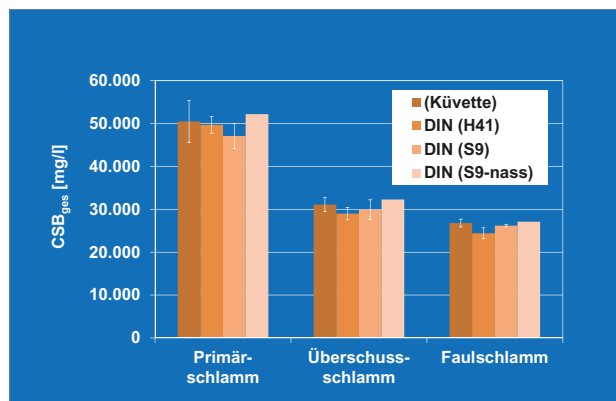


Abb. 1: Ergebnisse der CSB-Vergleichsmessung

Kontakt:

Technische Universität Darmstadt
Institut IWAR – Fachgebiet Abwassertechnik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
Dr. Christian Schaum
Tel.: +49 6151 16 20319
c.schaum@iwar.tu-darmstadt.de

Modellierung und Simulation

Energetische Optimierung von Rohrleitungsnetzen der Trinkwasserversorgung

Im Rahmen der Fördermaßnahme ERWAS beschäftigen sich die Projektverbünde ENERWA, EnWasser, EWave, EWID und H₂OPT mit der Optimierung der Betriebsführung von Wasserversorgungssystemen, mit der Erschließung von Lastmanagementpotenzialen und mit der Energierückgewinnung in Wasserversorgungssystemen. Zu diesem Zweck müssen alle Projektverbünde Wasserversorgungssysteme modellieren und simulieren. Im Querschnittsthema Modellierung und Simulation erfolgt ein Austausch der Projektverbünde zu Methoden und Problemen bei der Modellierung.

Verbundübergreifende Fragestellungen sind dabei die Rohrleitungsberechnung, Methoden zur Prognose des Trinkwasserverbrauchs, die Berechnung von Energiekosten, die Robustheit von Simulationen sowie die Entwicklung von effizienten Optimierungsverfahren.

Ein Teil der Projektverbünde verwendet kommerzielle oder Open-Source Software zur Rohrleitungssimulation. Es werden aber auch selbst entwickelte Programme verwendet. Im Rahmen des Querschnittsthemas wird ein Benchmarking der verschiedenen Programme anhand von einfachen Rohrleitungsmodellen durchgeführt. Das Benchmarking dient zur Verifizierung der verwendeten Programme. Außerdem muss sichergestellt werden, dass mit den entwickelten Modellen die Situation in der realen Anlage zuverlässig abgebildet werden kann. Aus diesem Grund werden die in den Projektverbänden erstellten Modelle mit Messdaten aus realen Anlagen validiert. Abbildung 1 zeigt den Abgleich der Modelle zur Bestimmung der Fördermenge der Pumpen im Wasserwerk Bürstadt für einen Zeitraum von einem Tag.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Prognose des Trinkwasserverbrauchs, der stets als Randbedingung für die Simulation verwendet wird. Hierbei sind verschiedene Aspekte zu beachten. Einerseits muss der Trinkwasserverbrauch auf einer kurzen Zeitskala zuverlässig prognostiziert werden, um die Betriebsführung einer Trinkwasseranlage für z.B. einen Tag zu optimieren. Andererseits spielt bei der Planung einer Trinkwasseranlage die langfristige Prognose des Trinkwasserverbrauchs unter Berücksichtigung des demographischen Wandels und des Klimawandels eine bedeutende Rolle. Der Trinkwasserverbrauch ist zwar aus Messdaten für die Vergangenheit vorhanden, er muss aber für den zukünftigen Betrieb der Anlagen richtig vorhergesagt werden.

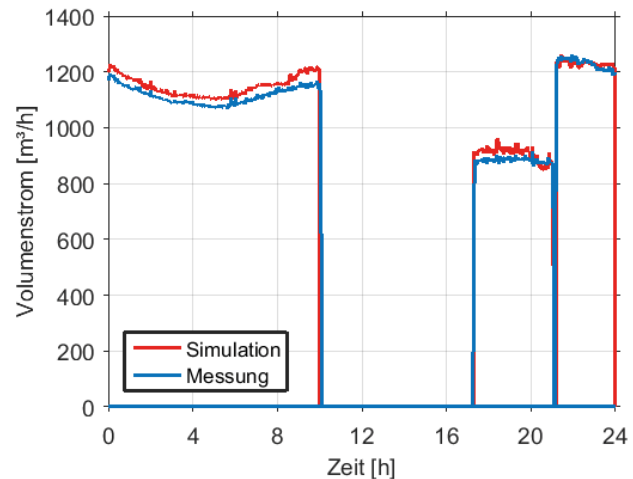


Abb. 1: Validierung der Fördermenge der Pumpen im Wasserwerk Bürstadt

Vor diesem Hintergrund spielt auch die Robustheit der Simulationen eine wichtige Rolle. Es soll untersucht werden, wie sich Unsicherheiten bei den Modellparametern, wie z.B. dem Trinkwasserverbrauch, auf die Simulationsergebnisse auswirken und wie man diese Unsicherheiten berücksichtigen kann.

Aktueller Schwerpunkt ist das Benchmarking der Rohrleitungsrechner. Es wurde bereits ein geeignetes Rohrleitungsmodell definiert. Die Projektverbünde werden die Ergebnisse in der nächsten Sitzung des Querschnittsthemas Modellierung und Simulation vorstellen. Danach werden die Themen Vorhersage des Wasserverbrauchs und Robustheit von Simulationen behandelt.

Kontakt:

Technische Universität Kaiserslautern,
Lehrstuhl für Strömungsmechanik und
Strömungsmaschinen
Gottlieb-Daimler-Str. 47
67663 Kaiserslautern
Prof. Dr. Martin Böhle

Tel.: +49 631 205-27 60
martin.boehle@mv.uni-kl.de





ERWAS-Verbundprojekte

Energetische Optimierung des wasserwirtschaftlichen Gesamtsystems Talsperren/Fließgewässer • Trinkwasseraufbereitung • Transport-Speicherung-Verteilung

Hintergrund

Das Vorhaben ENERWA verfolgt neue Ansätze zur Erschließung energetischer Potenziale in Wasserversorgungssystemen sowohl auf der Ebene technischer Komponenten als auch bei der Steuerung der Teilsysteme im Verbund. Talsperren als Trinkwasserressourcen, Wasseraufbereitungsanlagen in den Wasserwerken und die Trinkwasserverteilungsnetze mit ihren Komponenten Rohrleitungen, Druckerhöhungsanlagen sowie Wasserspeicher bergen bisher noch ungenutzte Potenziale zur Energieeinsparung, -rückgewinnung und -speicherung, die im Rahmen der Untersuchungen identifiziert und bewertet werden sollen.

Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Dynamisierung des Betriebes einzelner Anlagen vor dem Hintergrund schwankender Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie und variierender Energiepreise. Weiterhin werden Steuerungskonzepte zur energieeffizienten Wasserverteilung erarbeitet. Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden: Können Trinkwassertalsperren und Wassertransport- und Speichersysteme zur Gewinnung und temporären Speicherung von Energie genutzt werden? Wo sind die Grenzen und welche Barrieren müssen ggf. wie überwunden werden? Eine Dynamisierung der Wasserentnahme aus Talsperren zielt darauf ab, die Wasserabgaben in den Unterlauf des Gewässers oder in die Wasserwerke z.B. durch Turbinierung energetisch möglichst maximal auszunutzen. Dabei müssen wasserwirtschaftliche, qualitätsbezogene und technische Restriktionen berücksichtigt werden, wie z.B. die minimale und maximale Wasserabgabe an den Unterlauf bzw. an die Trinkwasseraufbereitung, aber auch die erzielbaren Erlöse aus dem Verkauf von Strom. Darüber hinaus können solche Veränderungen weitreichende ökologische Auswirkungen haben und gegen rechtliche, ökonomische aber auch gesellschaftliche Barrieren stoßen. All diese Randbedingungen werden im Rahmen von ENERWA analysiert und berücksichtigt.

Zwischenergebnisse

Die Dynamisierung der Wasserentnahme aus Talsperren durch gezielte Steuerung des Abflusses über den üblichen Betrieb hinaus (Amplitude, zeitliche Dynamik)

konnte u.a. im Rahmen von Sanierungs- und Überprüfungsmaßnahmen an der Bigge- und Hennetalsperre untersucht werden. Diese Sonderbetriebszustände wurden mit einem umfassenden Monitoringprogramm zur Erfassung unterschiedlicher chemisch-physikalischer Güteparameter im Talsperrenkörper wie beispielsweise Temperatur, Sauerstoffgehalt und Trübung begleitet. Erste Auswertungen zeigen keine signifikante Beeinflussung der Rohwasserqualität. Die Temperaturschichten des Staukörpers blieben über den gesamten Zeitraum des Monitoringprogramms stabil. Trotz einer Variation der Wasserabgabe von bis zu 25 m³ pro halbe Stunde konnten keine Kurzschlussströmungen zwischen den Schichten des Talsperrenkörpers festgestellt werden.

Die Analysen zum Einfluss auf ökologische Parameter zeigen deutliche Unterschiede zwischen Talsperrenbeeinflussten und -unbeeinflussten Gewässern im Hinblick auf das Temperaturregime im Gewässer bis zu 10 Kilometer unterhalb der Talsperre und eine Akkumulation von Feinsediment auf der Gewässersohle. Inwieweit sich das auf die Gewässerfauna auswirkt, wird weiter untersucht.

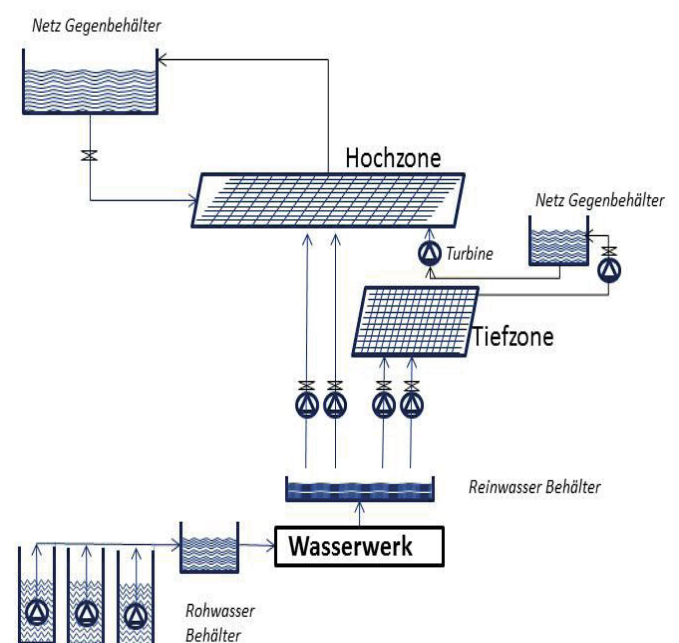


Abb. 1: Typische Konfiguration eines Trinkwasserverteilungsnetzes (Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH)



Abb. 2: Unterlauf der Großen Dhünn Talsperre (Quelle: Dr. Christian K. Feld, Universität Duisburg-Essen)

Auch für die Wasseraufbereitung werden unter Berücksichtigung ökonomischer Fragestellungen und im Hinblick auf eine Dynamisierung des Durchsatzes Optimierungsansätze erarbeitet. So konnte in einem Wasserwerk bereits ein hohes Einsparpotenzial von über 200 Tausend kWh pro Jahr identifiziert werden. Durch eine Dynamisierung des Anlagenbetriebes in Wasserwerken werden zwischen 10 und 30 % Energiekosteneinsparungen erwartet sowie eine bessere Ausnutzung des steigenden Anteils volatiler regenerativer Stromerzeugung. Auswirkungen eines dynamisierten Betriebes auf einzelne Aufbereitungsstufen, u.a. Filtration, Ozonung und Ultrafiltration, werden derzeit an Pilotanlagen untersucht.

Für Trinkwasserverteilungsnetze mit ihren Behältern wurden Optimierungsalgorithmen zur Verringerung des Energiebedarfs und der Energiekosten entwickelt. Erste Netzuntersuchungen zeigen, dass signifikante Einsparpotenziale sowohl in der Druckzonengestaltung als auch im Netzbetrieb bestehen. So können durch eine intelligente Gruppierung höher gelegener Verbraucher zu neuen Druckzonen Druck- und damit Energieüberschüsse im Netz reduziert werden. Ein gezielter Einsatz von Trinkwasserbehältern zum Lastmanagement, vor dem Hintergrund der Minimierung der Energiekosten unter Einbeziehung des Spot- und Regelenergiemarktes, wird ebenfalls untersucht.

Die möglichen Veränderungen im Wasserversorgungssystem, die mit einer energetischen Optimierung verbunden sind (z.B. Talsperrennutzung), erfordern frühzeitig einen öffentlichen Dialog. Deshalb erfolgt parallel zu den technischen Analysen die Entwicklung einer angepassten Methodik für einen nachhaltigen Transfer solcher Maßnahmen in die Gesellschaft. Die klassische Öffentlichkeits- und Medienarbeit wird im Rahmen von

BMBF-ENERWA mit einem neu entwickelten Stakeholder- und Bürgerbeteiligungsverfahren begleitet.

Ausblick

Die genannten energetischen Optimierungsmaßnahmen können in den einzelnen Teilsystemen wirkungsvoll sein. Aber erst eine Verbundanalyse wird letztlich zeigen, unter welchen gemeinsamen Randbedingungen alle Teilsysteme energetisch optimal arbeiten können und welche Bedingungen nicht akzeptable Betriebssituationen verursachen. Außerdem werden die identifizierten Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer praktischen Umsetzbarkeit sowie Übertragbarkeit auf andere Systeme geprüft und bewertet.

Um die Projektergebnisse einem breiten Anwenderkreis zugänglich zu machen, werden diese auf vielfältigen Wegen, z.B. in Form von Methodenhandbüchern, Best-Practice-Leitfäden und Web-Diensten, aufbereitet und verallgemeinert.

Kontakt:

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut
für Wasserforschung gemeinnützige GmbH
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Dr. Wolf Merkel
Tel.: +49 208 40303-100
w.merkel@iww-online.de

Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.enerwa.org

Erschließung eines Lastmanagementpotenzials in der Wasserversorgung zur Integration erneuerbarer Energien

Hintergrund

Mit dem fortschreitenden Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland zeigen sich mehr und mehr die Herausforderungen und Chancen der schwankenden Einspeisung ins Stromnetz. In Zeiten nur kurzfristig vorhersagbarer Stromerzeugung werden zunehmend Maßnahmen zum Ausgleich von Fluktuationen benötigt, die unter anderem von konventionellen Kraftwerken geleistet werden müssen. Eine Möglichkeit Schwankungen auszugleichen liegt dabei im Demand-Side-Management, bei dem der Stromverbrauch an das Angebot angepasst wird. Für die Verbraucher lohnt sich das, soweit sie von den schwankenden Strompreisen an der Börse und der Teilnahme am Regelleistungsmarkt profitieren können. Hierbei kommen auch überregionale Wasserversorger in Frage, insbesondere wenn für die Förderung und Aufbereitung sowie den Transport von Trinkwasser große Stromverbraucher wie Förderpumpen benötigt werden.

Ein solcher überregionaler Wasserversorger ist der Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung (BWV), welcher mit etwa 125 Mio. m³ Wasser jährlich ungefähr 4 Mio. Menschen in Baden-Württemberg mit Trinkwasser versorgt. Das Rohwasser wird dem Bodensee entnommen und zunächst mit einem Höhenunterschied von 310 m zu den Aufbereitungsanlagen auf dem Sipplinger Berg gepumpt. Dafür werden in der Regel bis zu drei der sechs Pumpen mit je einer elektrischen Leistung zwischen 8 MW und 11 MW gleichzeitig

eingesetzt. Auf dem Sipplinger Berg durchläuft das Wasser mehrere Aufbereitungsstufen mit einem Zwischenspeicher (70.000 m³) und einem Reinwasserspeicher (38.000 m³). Abbildung 1 zeigt ein Schema der Anlage.

Im Forschungsprojekt „EnWasser – Erschließung eines Lastmanagementpotenzials in der Wasserversorgung zur Integration erneuerbarer Energien“ werden die Potenziale für eine Lastverschiebung bei der Trinkwasserförderung und -aufbereitung am Beispiel der BWV untersucht. Darüber hinaus wird untersucht, inwieweit neue Speicherkapazitäten die Flexibilität der Anlage erhöhen und energiewirtschaftlich genutzt werden können. Dazu werden technische und betriebliche Randbedingungen ermittelt und untersucht um einerseits die Versorgungssicherheit zu gewährleisten und andererseits die Stromkosten zu minimieren.

Zwischenergebnisse

Speicherplanung

Bei den beiden am Sipplinger Berg vorhandenen Wasserspeichern handelt es sich um einen Reinwasser- und einen Zwischenspeicher. Vor der Zwischenspeicherung erfolgt die Ozonierung, so dass dieser Behälter nur eingeschränkt energiewirtschaftlich genutzt werden kann. Ein hoher Flexibilisierungsgrad der Anlage wird bei einer möglichst weitgehenden zeitlichen Entkopplung der stromintensiven Rohwasserförde-

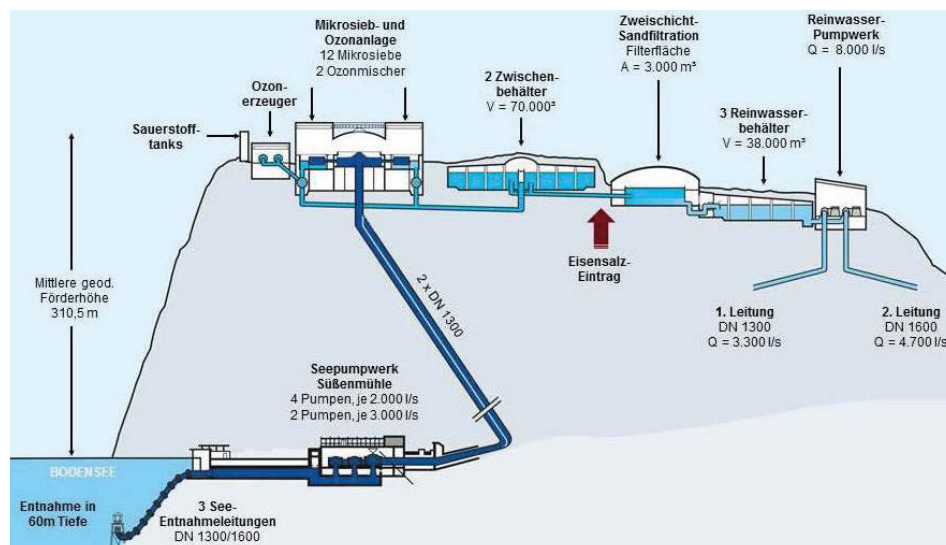


Abb. 1: Schema der Förderung und Aufbereitung der Bodenseewasserversorgung am Sipplinger Berg

nung und der anschließenden Aufbereitung erreicht. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Maßnahmen zur Schaffung zusätzlicher Speicherkapazitäten betrachtet. Eine Option ist der Bau eines neuen Rohwasserspeichers, wo das Wasser gespeichert werden könnte, bevor es der Aufbereitung zugeführt wird. Zur besseren Ausnutzung der Topographie kommt auch der Bau eines neuen Zwischenspeichers in Frage. Der bestehende Zwischenspeicher könnte dann als Rohwasserspeicher eingesetzt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist eine Vergrößerung der Zwischenspeicher. Der Vorteil dieser Variante besteht darin, dass sich im Prozessablauf wenig ändert und damit das Risiko veränderter hydraulischer Bedingungen ebenfalls gering ist. Dabei müsste allerdings der Speicher so ausgestaltet werden, dass einerseits eine ausreichende Reaktionszeit für das Ozon gewährleistet wird und andererseits das Speichervolumen an dieser Stelle im Prozess groß genug ist, um einen flexiblen Betrieb der Rohwasserpumpen zu ermöglichen.

Energiewirtschaftliche Betriebsoptimierung

Für eine Optimierung des flexiblen Betriebs mit Strombeschaffung am EPEX-Spotmarkt wurde ein Modell der Förder- und Aufbereitungsanlage in der Software RedSim („Renewable Energy Dispatch Simulation“) aufgebaut. Damit können optimierte Fahrpläne für den Betrieb verschiedener Anlagenkonfigurationen mit dem Ziel maximaler Kostenreduktion bei der Strombeschaffung berechnet werden. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass mit einem zusätzlichen Volumen von bis zu 100.000 m³ relativ hohe Kosteneinsparungen zu erzielen sind (Abb. 2). Noch stärkere Einsparungseffekte werden unter Berücksichtigung von atypischen Netznutzungsentgelten erzielt. Die derartige energiewirtschaftliche Ausnutzung der Anlage führt zu einem extremeren Einsatz der Anlage, mit mehreren tausend Betriebsstunden bei maximaler Pumpleistung (vier Pumpen gleichzeitig) und mehreren tausend Stunden im Stillstand. Dadurch steigt geringfügig der Strombedarf bei gleichzeitig sinkenden Stromkosten. Die Realisierbarkeit solcher Einsatzszenarien wird hinsichtlich der technischen und betrieblichen Restriktionen untersucht.

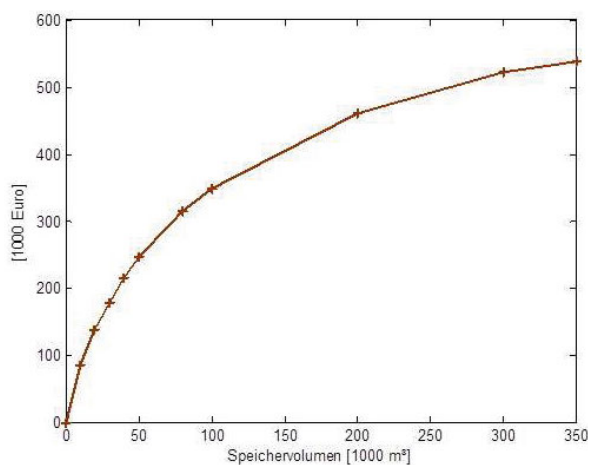


Abb. 2: Kosteneinsparung dieser Anlagenkonfiguration in Abhängigkeit des Volumens des Rohwasserspeichers

Hydraulische Restriktionen

Um die hydraulischen Randbedingungen für den flexiblen Betrieb der Anlage zu identifizieren, wurde ein 1D anlagendynamisches Modell der Förderrohrleitungen und der sechs Förderpumpen definiert.

Im Betrieb darf der Bemessungsdruck der Anlage nicht überschritten werden. Außerdem soll Kavitation an den Förderpumpen während des Anfahrvorgangs vermieden werden. Validierungen des hydraulischen Modells durch einen Vergleich mit gemessenen Daten von Pumpennotabschaltungen zeigen bereits gute Übereinstimmungen (Abb. 3).

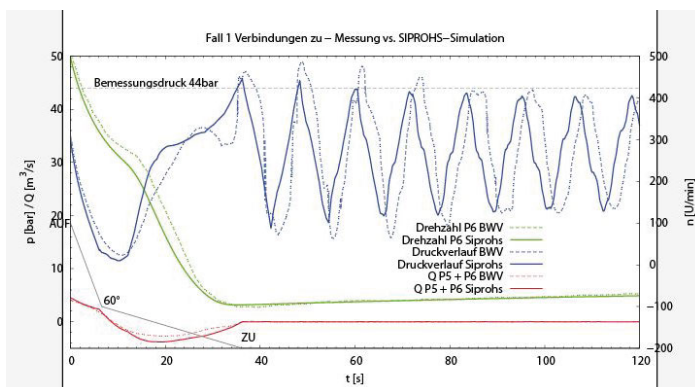


Abb. 3: Ergebnisse der Validierung

Ausblick

Im Verlauf des Projektes werden alle technischen und betrieblichen Randbedingungen ermittelt und zur Bewertung der möglichen Betriebsweisen bzw. zur Berechnung energiewirtschaftlich optimierter Fahrpläne integriert. Damit werden verschiedene Speicherkonzepte untersucht und ihre Wirtschaftlichkeit aus energiewirtschaftlicher Sicht bewertet. Außerdem werden Möglichkeiten zur Nutzung eigener Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien simuliert und bewertet sowie zukünftige Szenarien der Stromversorgung einbezogen. Neu entwickelte Prognosen für die Wasserabgabe werden angewendet um den Betrieb der Anlage im realen Fall mit entsprechendem Fahrplanmanagement zu simulieren. Die Bewertungen erfolgen im Kontext der Analyse von Auswirkungen auf das gesamte Geschäftsmodell für den Betrieb der Anlagen.

Kontakt:
 Fraunhofer-Institut für Windenergie
 und Energiesystemtechnik
 Königstor 59
 34119 Kassel
 Patrick Hochloff
 Tel.: +49 561 7294-214
 patrick.hochloff@iwes.fraunhofer.de
 Laufzeit: 05/2014 – 04/2017
 www.enwasser.net

Hintergrund

Das von Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Vorhaben EWave verfolgt das Ziel, ein Assistenzsystem zur Betriebsführungsunterstützung von Wasserversorgungsanlagen zu entwickeln. Solche Systeme werden als Decision Support Systeme (DSS) bezeichnet. Als Ergebnis erhält der Nutzer einen optimierten Fahrplan für alle steuerbaren Anlagenteile bzw. Aggregate.

Die Wasserversorgung ist einer Reihe von Randbedingungen unterworfen, die sich aus dem Qualitätsanspruch an das Lebensmittel Trinkwasser gepaart mit wasserrechtlichen, verfahrenstechnischen, betrieblichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten ergeben. Die Lösung des multidimensionalen Optimierungsproblems zur Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz unter Betrachtung der Randbedingungen stellt eine Herausforderung dar, die heute noch weitgehend durch langjähriges Erfahrungswissen der Betreiber abgedeckt wird.

Der errechnete Energiebedarf kann zusätzlich an den Energieversorger als Prognose rückgekoppelt werden. Mit diesen Ergebnissen kann dann die Energiewirtschaft wiederum eine Optimierung des Kraftwerksparks durchführen, so dass eine volkswirtschaftliche Optimierung, d.h. über die Systemgrenzen der Wasserwirtschaft hinaus, erzielt wird.

Zwischenergebnisse

Die Anforderungen an das Assistenzsystem wurden im Rahmen des Projekts sowohl allgemeingültig, als auch wasserwerksspezifisch definiert und zwischen allen Partnern abgestimmt. Die Anlagen werden unter hydraulischen Aspekten und aus Qualitätssicht gesteuert. Hieraus ergibt sich eine Einschränkung der Freiheitsgrade der Anlagensteuerung. Bei einem ersten Erfahrungsaustausch mit anderen Wasserversorgungsunternehmen wurden diese Anforderungen und auch der grundsätzliche Projektansatz diskutiert, wobei das Feedback durchweg positiv war. Neben der Definition der Anforderungen war die Datenbereitstellung für die Modellerstellung eine der wesentlichen Herausforderungen. Dabei waren neben geodätischen Höhen, anlagenspezifische Betriebsdaten (Drücke, Durchflüsse, Energiebedarfe usw.) im 15-Minutenraster bereitzustellen.

Sehr frühzeitig wurden die im Simulationsmodell zu berücksichtigenden Komponenten, Modellgleichungen sowie

erforderliche Daten und ihre Strukturen in einem Modellkatalog spezifiziert. Auf dieser Grundlage erfolgte die Implementierung des Simulations-Moduls TWaveSim. Um sowohl vertretbare Rechenzeiten als auch eine angemessene Modellkomplexität zu gewährleisten, wurde die Druckzone Holsterhausen mittels eines neuen Netzgenerators abstrahiert. Weiterhin wurden Kennlinien von den im Wasserwerk eingesetzten Trinkwasserpumpen für das hydraulische und elektrische Verhalten aus Betriebsdaten abgeleitet. Damit konnten erfolgreich erste Simulationen der Prozesse Wassergewinnung, -aufbereitung und Wasserverteilung im Pilotnetz Holsterhausen durchgeführt werden.

Die Berechnung eines Vorschlags für eine energieeffiziente Steuerung der Wasserversorgungsanlagen erfolgt durch das Optimierungsmodul rollierend für einen festen Zeitraum, zum Beispiel alle 15 Minuten für die nächsten 24 Stunden. Das Optimierungsmodul besteht aus den Softwarepaketen EWave-DOPT und EWave-NOPT.

Bei EWave-DOPT handelt es sich um eine Software zur Optimierung des Betriebs von Wasserversorgungsanlagen mit Methoden der gemischt-ganzzahligen mathematischen Optimierung. Die Software EWave-NOPT basiert auf ANACONDA, das sowohl zur Simulation von Wasserversorgungsanlagen als auch zur kontinuierlichen Optimierung der Betriebspunkte aller steuerbaren Netzkomponenten verwendet wird.

Durch einen Aufruf des Optimierungsmoduls wird zunächst durch EWave-DOPT auf Basis aktueller Verbrauchsprognosen und einem durch die Simulation bereitgestellten Startzustand ein Vorschlag für die diskreten Steuerungsentscheidungen, wie Pumpenfahrwege und Schieberstellungen, sowie eine mit diesem Entscheidungsvorschlag einhergehende Prognose des Netzzustands be-

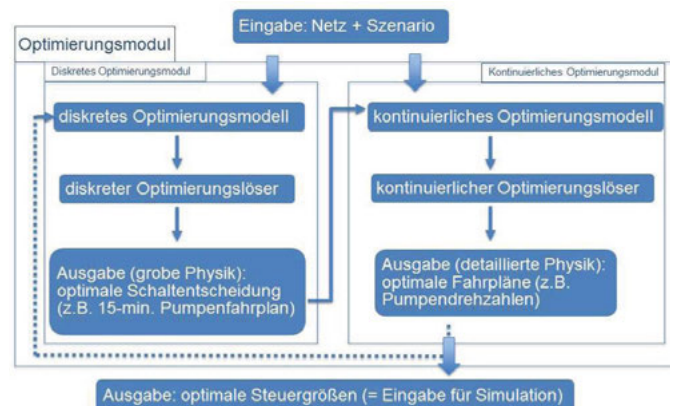


Abb. 1: Ablauf der Optimierungsrechnung

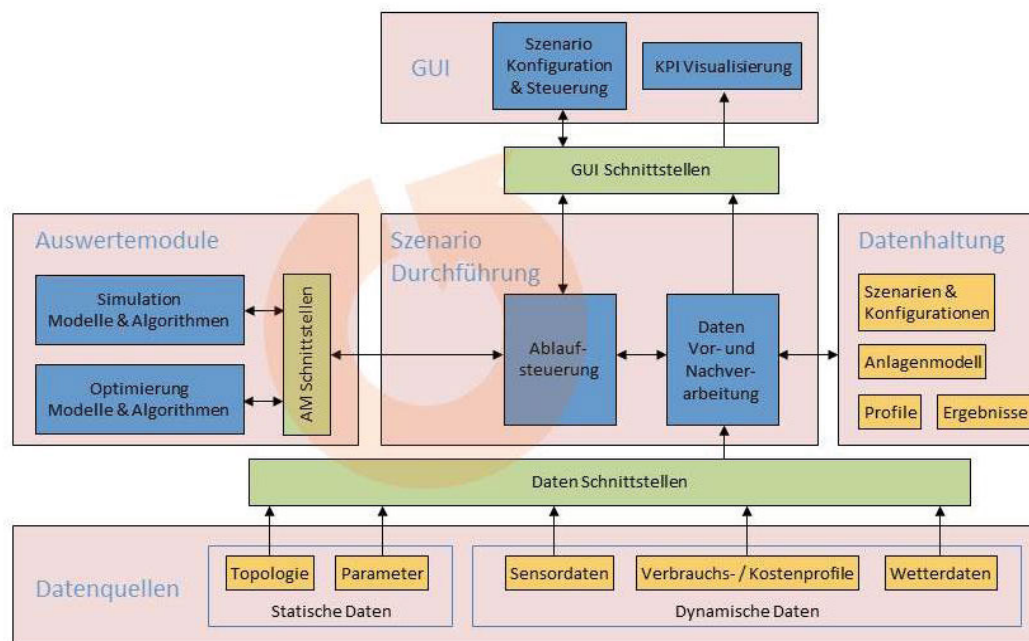


Abb. 2: Architektur-Schema des EWave-Systems

rechnet. Auf Basis der durch EWave-DOPT berechneten diskreten Entscheidungen und Zustandsprognosen werden mit EWave-NOPT die exakten Betriebspunkte aller steuerbaren Netzkomponenten optimiert und die zugehörige, physikalisch detaillierte Entwicklung aller relevanten Zustandsgrößen berechnet.

Das System EWave soll ab Oktober 2016 für ein Teilnetz von RWW eingesetzt und praktisch erprobt werden.

Durch die Berechnung von Wirkungsgraden für jeden Schritt der Prozesskette Gewinnung-Aufbereitung-Speicherung-Verteilung, teilweise bis auf die Aggregatebene herunter, ergibt sich neben der erhöhten Energieeffizienz auch eine bessere Prozesstransparenz.

Bereits vorhandene Simulationsergebnisse zeigen, dass das im EWave-Optimierungsmodul verwendete mathematische Modell eine hohe Übereinstimmung mit realen Messdaten aufweist.

Für das Assistenzsystem EWave wurde eine modulare Software-Architektur entworfen.

Die Grobstruktur umfasst

- eine zentrale Ablaufsteuerung,
- eine graphische Benutzeroberfläche zur Konfiguration, Steuerung und Visualisierung (GUI),
- Auswertemodule zur Simulation und Optimierung,
- eine Datenhaltung für Anlagenmodell, Konfigurationen, Szenarien und Ergebnissen,
- externe Datenquellen,
- sowie Module zur Datenvor- und -nachverarbeitung.

Die einzelnen Module kommunizieren über spezifizierte Schnittstellen. Die Anbindung der Auswertemodule erfolgt über Socket-Verbindungen. Die GUI wird als Web-Oberfläche realisiert. Die externen Daten stehen zunächst über eine Datenbank zur Verfügung, zur internen Datenhaltung wird eine eigene Datenbank aufgebaut. Derzeit ist die Grobstruktur dieser Architektur bereits implementiert. Die von den einzel-

nen Bearbeitern zur Verfügung gestellten Funktionsmodule werden nacheinander in diese Architektur integriert.

Ausblick

Eine der kommenden Aufgaben ist die Entwicklung sowie Kalibrierung eines Trinkwasserbedarfsprognosemodells, das der Vorhersage des Trinkwasserbedarfs dient. Es wurde mit methodischen Arbeiten begonnen. Auch in den anderen Projekten der Fördermaßnahme wird dies ebenfalls thematisiert, so dass hier in einem Querschnittsthema ein fachlicher Austausch stattfinden soll.

Die nächsten Arbeitsschritte in Hinblick auf die Simulationen der Prozesse Wassergewinnung, -aufbereitung und Wasserverteilung, beinhalten die Modellkalibrierung und Validierung sowie die Weiterentwicklung des Simulators durch Methoden zur Berechnung konsistenter Anfangswerte und zusätzlicher Modellkomponenten. In Zukunft können dann nach Spezifizierung auch andere Wasserwerke mit dem Prozesssimulator dargestellt werden.

Das System EWave soll ab Oktober 2016 für ein Teilnetz von RWW eingesetzt und praktisch erprobt werden.

Kontakt:

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg (FAU)
Cauerstraße 11
91058 Erlangen
Prof. Dr. Alexander Martin
Tel.: +49 9131 85-671 63
alexander.martin@fau.de

Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.edom.fau.de/ewave

Energiegewinnung im Wasserverteilungsnetz durch intelligentes Druckmanagement

Hintergrund

Um den Druck im Wassernetz zu begrenzen und die Wasserleitungen nicht übermäßig zu beanspruchen, kommen in Wasserversorgungssystemen Druckminderventile (DMV) zum Einsatz. Gleichzeitig wird bei der klassischen Druckregulierung mittels DMV ständig Energie in nicht weiter verwendbare Formen wie Schall und Wärme umgewandelt. Das Forschungsprojekt „Energiegewinnung im Wasserverteilungsnetz durch intelligentes Druckmanagement (EWID)“ soll Wege aufzeigen, diese Energiedissipation zu verringern. Dazu wird ein neuartiges System, basierend auf einer rückwärts laufenden Pumpe als Turbine (PaT) in Verbindung mit einem intelligenten Druckmanagement (IDM) entwickelt. Ziel ist es einerseits, die maximal mögliche, abbaubare Energie des Wassers bedarfsorientiert in elektrische Energie umzuwandeln und andererseits einen Beitrag zur Verringerung der Wasserverluste und des Materialstresses im Wasserverteilungsnetz zu leisten.

Zwischenergebnisse

Das EWID-System orientiert sich in der ersten Entwicklungsphase an zwei konkreten Einsatzfällen bei den beteiligten

Wasserversorgungsunternehmen (WVU) AWA-Ammersee Wasser- und Abwasserbetriebe gKU (AWA) und Wasserversorgungszweckverband Perlenbach (PER). Nach Auswahl geeigneter Pilotgebiete wurden die Randbedingungen der beiden späteren Einsatzorte erhoben. Anhand der am Druckminderschacht erfassten Parameter Vor-, Nachdruck und Durchfluss erfolgte die Auslegung der PaTs sowie die Festlegung ihres Arbeitsbereiches. Um die Versorgungssicherheit im Versorgungsgebiet auch bei ungünstigen Verhältnissen (z. B. Stromausfall) zu gewährleisten, wird die PaT im Bypass zum vorhandenen Druckminderventil angeordnet.

Für eine erste Potenzialanalyse wurden die theoretisch möglichen Energieausbeuten P_{el} an den späteren Einbauorten nach DVGW-Merkblatt W 613, unter Annahme eines Grundlagenwirkungsgrades von 50 bis 60 Prozent, errechnet. Hier konnten für AWA 340 W und für PER 3.840 W ermittelt werden. Es können somit unter geeigneten Voraussetzungen im Versorgungsgebiet beispielsweise bis zu 25.000 kWh Strom im Jahr generiert werden.

Parallel zur Potenzialanalyse wurde eine erste Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt. Hier wurde die Kosteneinsparung durch die (neue und zusätzliche) Energieproduktion, die Wasserverlustreduktion und die Vermeidung von Rohrbrüchen ermittelt und den Investitionskosten für den

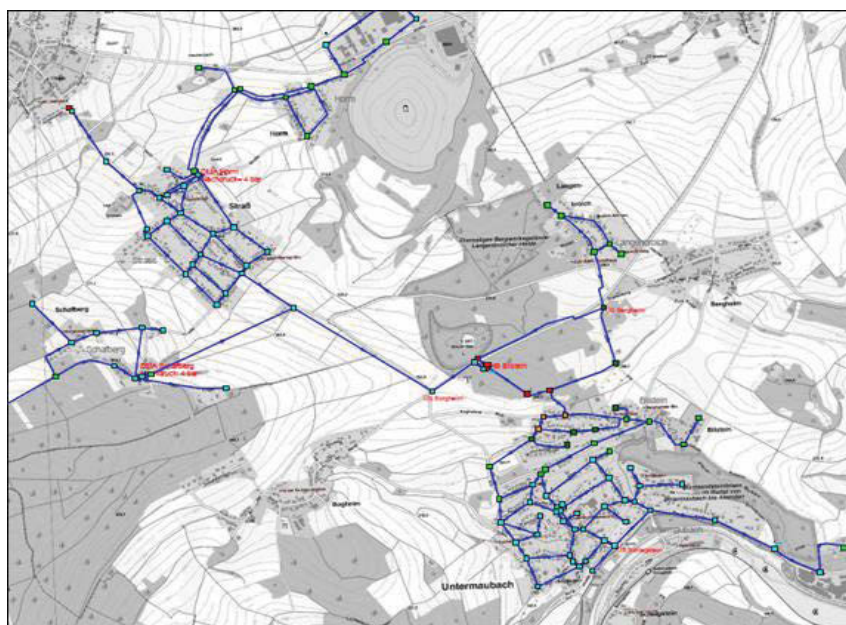


Abb. 1: Beispielhaftes Ergebnis aus der Rohrnetzmodellierung

Einsatz des EWID-Systems (inkl. laufender und Reinvestitionskosten) gegenübergestellt. Für PER konnten hier beispielsweise, je nach Vergütungsmöglichkeit (EEG, Ökostrom oder Strombörse), Amortisationszeiten von ca. acht bis elf Jahren errechnet werden. Neben dem monetären Benefit ist der zusätzliche Nutzen in der Verbesserung des Monitorings des Trinkwasserverteilungsnetzes hervorzuheben.

Für die Rohrnetzmodellierung wurden die ausgewählten Versorgungsnetzgebiete mit dem Softwarepaket AQUA++ der Firma Tandler abgebildet. Hierfür wurden die Attribute (Material, Durchmesser, Höhe, etc.) zu den vorhandenen Elementen (Knoten, Leitungen, Hochbehälter, Druckreduzierungen, Übergabeschächte, etc.) aus den vorhandenen Datenbanken übernommen und im Anschluss durch zusätzliche Messkampagnen ergänzt. Um das Netzverhalten zu untersuchen, wurden verschiedene Betriebszustände im Rahmen der Rohrnetzmodellierung simuliert. Hierdurch kann für einen beliebig gewählten Lastfall der jeweilige Druck an allen Knoten errechnet werden, sodass festgestellt werden kann, bei welchen Betriebszuständen an welchen Knoten der Druck nicht mehr ausreichend ist (Abb. 1). Hier wurde auf die vom DVGW empfohlenen Versorgungsdrücke bei größtem Stundenverbrauch in bestehenden Netzen (> 2,0 bar) und im Löschwasserfall (> 1,5 bar) Bezug genommen (DVGW W 400-1).

Es soll ein System entwickelt werden, das aus der eigentlichen Druckminder- und Energiegewinnungseinheit und einer überlagerten Steuerung für das intelligente Druckmanagement besteht. Die Druckminder- und Energiegewinnungseinheit besteht aus dem hydraulischen Teil mit PaT und DMV, dem elektrischen Teil mit Generator und Wandler und der „internen“ elektronischen Steuerung für das Zusammenwirken der einzelnen Anlagenteile, dem Condition Monitoring und der Telekommunikation. Die überlagerte Steuerung für das IDM setzt sich aus der „Pressure Control Unit“, den Sensoren im Verteilungsnetz (Druck, Durchfluss) und der Telekommunikationseinheit für die Verbindung zur Druckminder- und Energiegewinnungseinheit bzw. dem SCADA System des Versorgers

zusammen. Im Rahmen des Projektes sollen die Möglichkeiten einer dezentralen Nutzung (in Verbindung mit Energiespeicher) und der Wiedereinspeisung der rückgewonnenen Energie in das Stromnetz getestet werden.

In der ersten Phase der Technikumserprobung wurde der Ist-Zustand bei den WVU, die Druckreduzierung über klassische DMV, konzipiert und realisiert. Die Aggregate und Armaturen wurden entsprechend den Rahmenparametern bei den beteiligten WVU dimensioniert. Die Förderpumpen liefern den erforderlichen Vordruck und das DMV reduziert diesen entsprechend. Zwei Regelventile regeln den Durchfluss entsprechend der jeweiligen charakteristischen Durchflussganglinie. In der zweiten Entwicklungsphase wurden die PaT-Systeme in den Bypässen zur Hauptleitung (DMV) montiert (Abb. 2).

Diese Projektphase ist erforderlich, um die entwickelte Systemeinheit im technischen Maßstab vor der Implementierung in den beiden Verteilungsnetzen (Verifizierung im Netz – Feldversuche) zu erproben.

Ausblick

Zur Effizienzsteigerung und sicheren Steuerung und Erweiterung der Flexibilität der Anlagen im Wasserverteilungsnetz sind Systeme erforderlich, die dynamisch auf das Verbraucherverhalten reagieren können. Im Forschungsvorhaben EWID wird daher die „Nahe-Echtzeit“ Nutzung von Wassernetzsimulationsmodellen erprobt. Hierzu sollen die aufgenommenen Daten an den Messstellen im Netz, wie kritische Punkte, PaT-System, etc. möglichst in Echtzeit an die weiteren Stationen (sogenannte Com-Units) übertragen werden. Die erfassten Parameter (Netzdruck, Durchflüsse, Betriebszustände, etc.) dienen als Input für die Modellierung der hydraulischen Verhältnisse im Wasserversorgungsnetz) und weiter zur Steuerung des PaT-Systems. Die Entwicklung von Regelungsmodellen als Basis zur dynamischen Steuerung ist eine der großen Herausforderungen bei der Entwicklung intelligenter Systeme in Versorgungsnetze und eines der Hauptziele des EWID Vorhabens.



Abb. 2: Teststrecke mit den verschiedenen Versuchseinrichtungen

Kontakt:

Universität der Bundeswehr München,
Institut für Wasserwesen, Professur für
Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
Werner-Heisenberg-Weg 39
85579 Neubiberg
Prof. Dr. F. Wolfgang Günthert
Tel.: +49 89 6004-2156
wolfgang.guenthart@unibw.de

Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.unibw.de/ewid

Hintergrund

Das Verbundprojekt konzentriert sich auf die Optimierung von Anlagen zur Trinkwasserversorgung unter energetischen und wirtschaftlichen Aspekten. Hierzu soll eine Software erstellt werden, die von Wasserversorgern und Planungsbüros genutzt werden kann.

Die Software soll eine ganzheitliche Betrachtung der Anlage ermöglichen. Somit können alle Komponenten einer Trinkwasserversorgungsanlage, aus den Bereichen Wasserförderung, Wasseraufbereitung, Wasserspeicherung und Wassertransport, die bedeutsam für den Energieverbrauch sind, virtuell abgebildet werden.

Zwischenergebnisse

Im aktuellen Prototyp der Software ist ein Modell zur Simulation des Betriebsverhaltens der Netzpumpen

im Wasserwerk Bürstadt des Projektpartners EWR Netz GmbH integriert. Das Modell beinhaltet die Netzpumpen, das Anlagenkennfeld des Versorgungsnetzes und die beiden Hochbehälter. Im Wasserwerk Bürstadt sind vier Netzpumpen von unterschiedlicher Größe verbaut. Die Kennlinien der Netzpumpen wurden vor Ort experimentell ermittelt, mit den Herstellerangaben verglichen und in die Software integriert. Die Modellierung der Anlage basiert nicht auf einer Berechnung des Rohrleitungsnetzes, sondern auf einem Rechenmodell, mit dem zu jedem Zeitpunkt die Anlagenkennlinie in Abhängigkeit vom Trinkwasserverbrauch und vom Behälterstand der beiden Gegenbehälter beschrieben wird. Dieses Modell wurde mit Hilfe von Messdaten aus einem Zeitraum von mehreren Jahren erstellt. Des Weiteren laufen Untersuchungen zur Allgemeingültigkeit des Rechenmodells und zur Übertragbarkeit auf andere Versorgungsanlagen, die durchaus komplexer sein können, als die Anlage in Bürstadt.

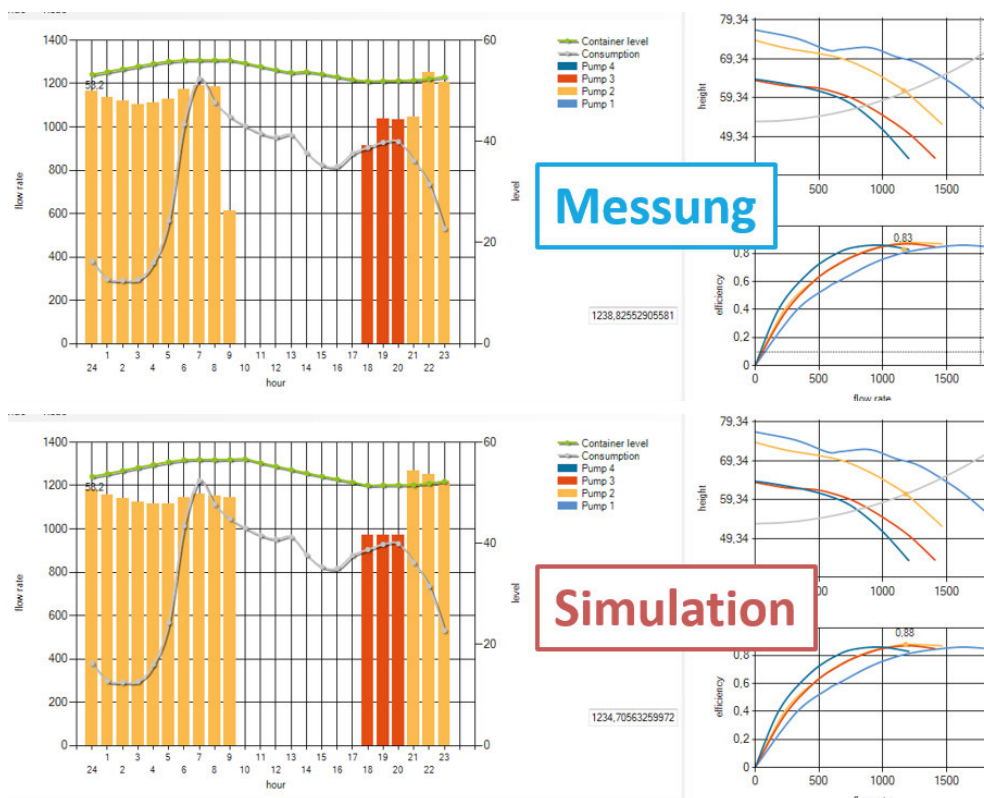


Abb. 1: Vergleich Tagesprofile

Der Prototyp ist zurzeit in der Lage bei einem vorgegebenen Tagesverbrauchsprofil mit Hilfe von numerischen Optimierungsverfahren verschiedene mögliche Pumpenfahrpläne für einen definierten Zeitraum, z.B. einen Tag, zu berechnen. Als Optimierungsparameter werden derzeit die Minimierung der spezifischen Energiekosten und die Minimierung der Anzahl der Schaltungen der Pumpen vorgegeben. Die zeitliche Auflösung beträgt dabei eine Stunde. Zur Gewährleistung zuverlässiger Optimierungsergebnisse ist es notwendig, das Softwaremodell der Trinkwasseranlage zu validieren.

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich zwischen einem gemessenen (oben) und einem simulierten (unten) Tagesprofil. Die graue Linie stellt dabei ein gemessenes Tagesverbrauchsprofil dar. Die grüne Linie zeigt den Verlauf des Behälterstandes der beiden Hochbehälter. Die farbigen Balken repräsentieren die Fördermenge der Netzpumpen. In diesem Beispiel wurden die Netzpumpe 2 (gelb) und die Netzpumpe 3 (rot) betrieben. Die Abweichungen der simulierten zu den gemessenen Fördermengen in den Stunden 9, 18 und 21 sind darauf zurückzuführen, dass in diesem Beispiel nur eine Start/Stopp-Regelung der Pumpen erfolgt. Für den betrachteten Tag wurde Netzpumpe 2 in Stunde 9 nur etwa 30 Minuten betrieben und dann ausgeschaltet. Im simulierten Tagesprofil wurde Netzpumpe 2 hingegen zur vollen Stunde abgeschaltet.

Neben der Bestimmung von energieeffizienten Betriebsplänen für die Pumpen, können mit der Software auch optimal zur Anlage passende Pumpen ausgewählt werden. Dies wird am Beispiel der Brunnenpumpen der SWK Stadtwerke Kaiserslautern Versorgungs-AG erläutert. Die Anlage verfügt insgesamt über 23 aktive Brunnen und eine Quelle, die zu 100% verwendet wird. Im Gewinnungsgebiet Kaiserslautern Ost sind 11 Brunnen und die Quelle aktiv. Für alle aktiven Brunnen wurden die Kennlinien der Brunnenpumpen vor Ort experimentell ermittelt. Mit Hilfe der ermittelten Kennlinien und umfangreichen Messdaten aus dem Prozessleitsystem konnte eine Betriebsanalyse für jeden einzelnen Brunnen durchgeführt werden. Dabei wurde zunächst der Ist-Zustand der Brunnen analysiert. Mit Hilfe der am Lehrstuhl für Strömungsmechanik und Strömungsmaschinen der Technischen Universität Kaiserslautern vorhandenen Pumpendatenbank konnten in die Brunnen virtuell andere Pumpen eingebaut werden. Abbildung 2 zeigt den Vergleich einer aktuell eingebauten Pumpe (blaue Linie) und einer neu ausgewählten Pumpe (blaue gepunktete Linie). Dargestellt sind die Wirkungsgradverläufe in Prozent aufgetragen über der Fördermenge in Liter pro Sekunde.

Die blauen Linien beschreiben den Gesamtwirkungsgradverlauf. In Rot sind die Betriebspunkte aufgetragen. Je größer die Punkte, desto häufiger wird beziehungsweise

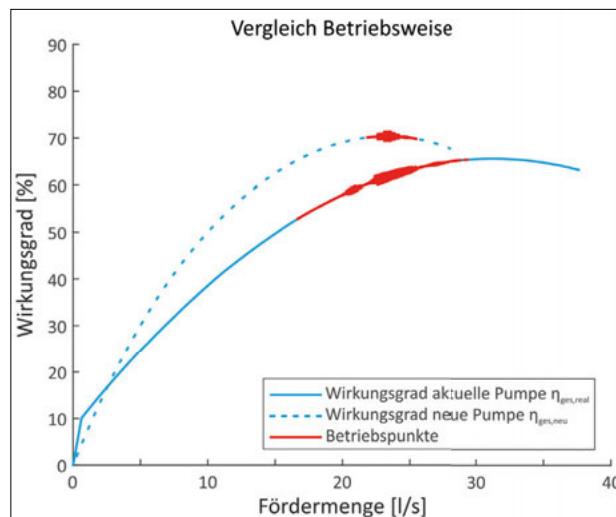


Abb. 2: Vergleich aktuell eingebaute und neu ausgewählte Pumpe

se würde die Pumpe im jeweiligen Betriebspunkt betrieben. Die aktuell eingebaute Pumpe wird hauptsächlich in starker Teillast betrieben, wohingegen die neu ausgewählte Pumpe hauptsächlich im Bereich des Optimums betrieben werden würde. Durch einen Austausch der Pumpe könnte für diesen Brunnen pro Jahr eine Energieersparnis von 12,2% erzielt werden.

Ausblick

Zurzeit ist die Umsetzung der graphischen Benutzeroberfläche in Bearbeitung. Diese soll dem Benutzer das Erstellen seines Anlagenmodells per Drag & Drop ermöglichen. Das Gewinnungsgebiet Kaiserslautern Ost des Projektpartners SWK Stadtwerke Kaiserslautern-Versorgungs-AG soll in naher Zukunft in die Software implementiert werden. Des Weiteren ist eine Schnittstelle zu gängigen Rohrleitungsrechnern geplant. Hierzu laufen aktuell Untersuchungen. Die Integration der Lebenszykluskostenanalyse für jede in der Software realisierte Komponente ist aktuell in Bearbeitung.

Kontakt:
 Technische Universität Kaiserslautern
 Gottlieb-Daimler-Str. 47
 67663 Kaiserslautern
 Prof. Dr. Martin Böhle
 Tel.: +49 631 205-2769
 martin.boehle@mv.uni-kl.de
 Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.mv.uni-kl.de/sam/forschung/h2opt

Die bio-elektrochemische Brennstoffzelle als Baustein einer energieerzeugenden Abwasserbehandlungsanlage

Hintergrund

Kommunales Abwasser ist aufgrund seiner organischen Bestandteile ein wertvoller Energieträger für chemisch gebundene Energie. Die Nutzung dieser Energie erfolgt oft indirekt über die Schlammbehandlung wie z.B. Faulung und/oder Verbrennung. Der Wirkungsgrad für die Erzeugung und Eigennutzung elektrischer Energie ist bei diesem indirekten Weg der Energiewandlung vergleichsweise niedrig, so dass kommunale Kläranlagen nach wie vor zu den größten Stromverbrauchern in den Kommunen gehören.

Ein Ansatz für die Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades bei der Stromproduktion auf Kläranlagen ist die direkte Stromerzeugung aus der chemisch gebundenen Energie gelöster organischer Substanzen. Bio-elektrochemische Brennstoffzellen sind in der Lage, diese Art der Energiewandlung zu bewerkstelligen, jedoch ist die Entwicklung geeigneter praxisrelevanter Systeme noch ganz am Anfang. Es fehlen nicht nur geeignete preiswerte Materialien, sondern auch robuste Reaktorkonzepte, Regelungsstrategien und nicht zuletzt geeignete Spannungswandlungs- und Stromentnahme- und -speichersysteme sowie praxistaugliche Integrationsmöglichkeiten für kommunale Kläranlagen.

Im Rahmen des Verbundprojektes „Die bio-elektrochemische Brennstoffzelle als Baustein einer energieerzeugenden Abwasserbehandlungsanlage (BioBZ)“ werden genau diese Fragestellungen adressiert. Mit Hilfe zu entwickelnder preiswerter Elektrodenmaterialien sollen geeignete Reaktorkonzepte entworfen und im Pilotmaßstab auf der Kläranlage in Goslar untersucht und bewertet werden.

Zwischenergebnisse

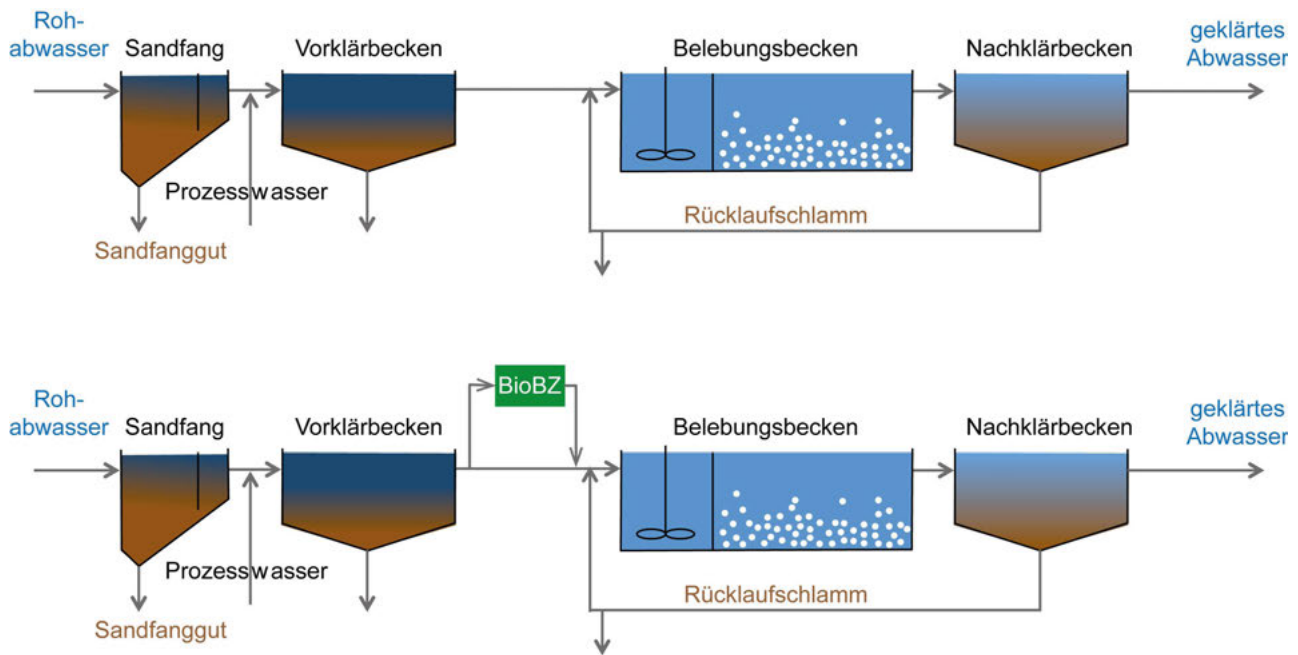
Es wurden geeignete preiswerte Materialien auf Basis eines Graphit-Polymer-Compounds einschließlich des Herstellungsverfahrens für die Kleinserienproduktion von Composite-Elektroden entwickelt (Eisenhuth). Technikumsversuche mit kontinuierlich durchströmten Zellen zeigten, dass die Behandlung

von vorgeklärtem kommunalem Abwasser langzeitstabil (zur Zeit mehrere Monate) betrieben werden kann (CUTEC, TUC und EBI).

Auch ein (Teil)-Abbau einzelner Mikroschadstoffe (40 – 95 %) wurde dabei nachgewiesen (EBI und TUB). Die flächenspezifische Leistung der Elektroden ist Schwankungen von 40 – 220 mW/m² unterworfen und erfordert ein geeignetes Konzept zur Optimierung/Maximierung der Stromentnahme. Eine Reihenschaltung mehrerer Zellen für das Scale-up zu größeren Stacks und Systemen hat sich als ungeeignet herausgestellt, weil die schwächste Zelle das Leistungsmaximum für alle Zellen vorgibt und die Leistung der besseren Zellen einschränkt. Daraus ergab sich das Konzept der Einzelzellenregelung (TUC und CUTEC), wie es z.B. auch bei Photovoltaik-Anlagen üblich ist. Zur Realisierung der Einzelzellenregelung wurde eine galvanisch getrennte Konstantstromquelle entwickelt (TUC), die kommerziell nicht verfügbar ist. Mit Hilfe dieser Konstantstromquellen und einer PC-basierten MSR-Technik kann der externe Widerstand jeder Zelle sekundenschnell so verändert werden, dass ein optimaler Betrieb der jeweiligen Zelle gewährleistet ist.

Der optimale Betrieb einer Zelle ist allerdings noch Gegenstand laufender Untersuchungen, wobei verschiedene Regelungsstrategien entworfen und untersucht werden (CUTEC). Erkenntnisse aus der Beobachtung der Biofilmentwicklung (EBI) und der Veränderung vorkonditionierter Biofilme (TUB) sollen ebenfalls hierzu beitragen.

Ein nennenswerter Teilaspekt in Bezug auf die weitergehende Entwicklung ist, dass mit der Steuerung auf Basis der Konstantstromquellen eine gute Reproduzierbarkeit von Versuchsergebnissen sowie ein gleichlaufender Betrieb baugleicher Zellen nachgewiesen werden konnte. Nicht zu unterschätzen sind auch die Anforderungen an die Spannungswandlung und Stromspeicherung, da hierfür ebenfalls keine geeigneten Komponenten auf dem Markt verfügbar sind. Ein erster Prototyp für die Wandlung von 50 – 300 mV auf 2,5 bzw. 5 V wurde entwickelt und für geeignet befunden (TUC), so dass die wei-



kWh/EW* a	Verbrauch					Erzeugung			Energie Bilanz
	Vorklärbecken	Belebungsbecken	Nachklärbecken	Faulung	Σ Verbrauch	Faulung/BHKW	BioBZ	Σ Produktion	
Ohne BioBZ	2	17	2	4	25	15	0	15	-10
Mit BioBZ	2	17	2	4	25	15	2 – 15	17 – 30	-8 – (+5)

Abb. 1: Energiebilanz einer Modell-Kläranlage mit/ohne Bio-Brennstoffzelle (Teilstrombetrieb Brennstoffzelle beinhaltet 30% CSB-Abbau bezüglich Hauptstrom)

tergehende Wandlung auf höhere praxisrelevante Spannungen bzw. auf Wechselstrom mit kommerziell verfügbaren Komponenten zu realisieren ist.

Die Untersuchungen zeigen ferner, dass in Bezug auf die Maximierung der Stromausbeute ein Teilabbau des CSB bis ca. 30 % interessant ist. Welchen Beitrag die bio-elektrochemische Brennstoffzelle zur Energiebilanz einer kommunalen Kläranlage in diesem Fall leisten könnte, zeigt beispielsweise die auf Basis der Technikumsergebnisse ermittelte Energiebilanz einer Modellanlage in Abbildung 1.

Ausblick

Aus den Versuchsergebnissen und insbesondere aus dem Pilotversuch auf der Kläranlage (Eurawasser) soll das Potenzial einer Energiewende in der kommunalen Abwasserbehandlung abgeleitet und bewertet werden. Dabei werden praxisrelevante Kriterien herangezogen und nach kläranlageninternen Integrationsmöglichkeiten für die Größenklassen 1 bis 5 unterschieden.

Kontakt:

Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH
(CUTEC-Institut)
Leibnizstr. 21+23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Michael Sievers
Tel.: +49 5323 933-243
michael.sievers@cutec.de

Laufzeit: 05/2014 – 04/2017
www.bio-bz.de

Hintergrund

Als alternative Technologie zur energieeffizienten Abwasserreinigung werden derzeit mikrobielle Brennstoffzellen diskutiert, in denen sogenannte exoelektrogene Bakterien statt mit O_2 als terminalem Elektronenakzeptor ihrer Atmungskette mit der Anode einer Brennstoffzelle „atmen“. So kann aus Abwasser direkt elektrische Energie erzeugt und gleichzeitig auf die energieintensive Belüftung des Belebtschlamm-Beckens verzichtet werden.

Wird nun zwischen Anode und Kathode eine zusätzliche Spannung angelegt, können an der Kathode statt Sauerstoff auch Protonen reduziert werden und Wasserstoff entsteht (mikrobielle Elektrolysezelle). Die hierzu notwendige elektrische Energie ist deutlich geringer als bei der klassischen Elektrolyse, da ein Teil der Elektrizität von den Bakterien geliefert wird. Im Rahmen des interdisziplinären Verbundprojektes BioMethanol sollen durch Aufarbeitung von Abwasser CO_2 und H_2 in einer mikrobiellen Elektrolysezelle gewonnen und in einem nachgeschalteten Katalyseprozess zu Methanol umgesetzt werden.

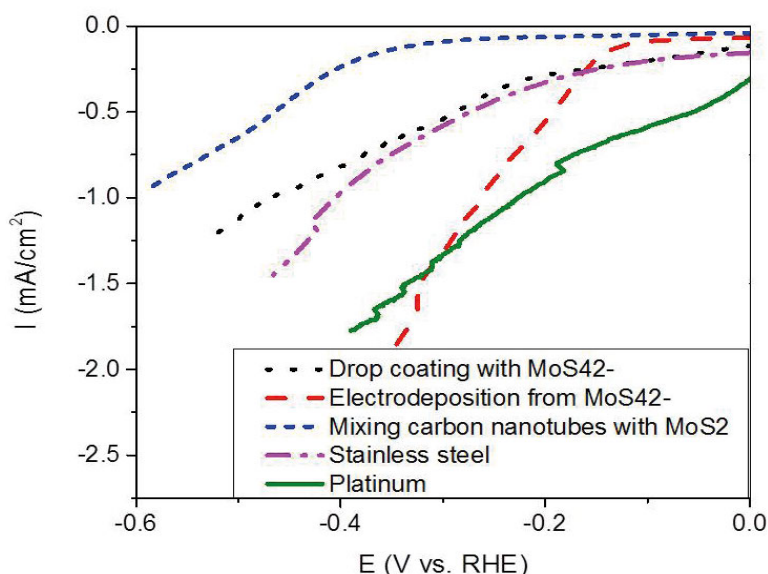


Abb. 1: Polarisationskurven verschiedener Kathoden zur elektrolytischen Wasserstoffproduktion, betrieben in Industrieabwasser pH 2,4.

Zwischenergebnisse

Im Hinblick auf die Entwicklung der mikrobiellen Elektrolysezelle wurden Untersuchungen mit Kohlenstoff-geträgertem MoS_2 als kostengünstige Alternative zu Platin durchgeführt. Im tatsächlichen Industrie-Abwasser (pH 2,4) zeigt das optimierte Material bei einer Stromdichte von $1,1 \text{ mA/cm}^2$ nun ein zu Platin vergleichbares Überpotenzial von 256 mV (Abb.1). Besonders vielversprechend ist, dass die untersuchten MoS_2 -basierten Materialien im Langzeitversuch über bis zu 17 Tage eine signifikante Aktivitätssteigerung zeigten, während mit Platin hingegen ein Aktivitätsverlust beobachtet wurde. Zudem wurde eine hochskalierte mikrobielle Elektrolysezelle mit 36 cm^2 geometrischer Elektrodenfläche konstruiert und in ersten Laborversuchen getestet (Abb. 2).

Im Rahmen der aktuellen Arbeiten zur Evaluation des Technologiepotenzials erfolgte eine ökonomische und ökologische Betrachtung des Gesamtsystems. Das zum Vergleich herangezogene System besteht im Wesentlichen aus einer mikrobiellen Elektrolyse, Kompressoren zur Verdichtung von Wasserstoff und CO_2 , einem Synthesereaktor mit den benötigten Peripheriekomponenten zur Methanolsynthese und einer Destillationsvorrichtung, zur Trennung des bei der Synthese entstehenden Methanol/Wassergemisches.

Als Basis für die ökonomische Bewertung wurden neben verschiedenen Szenarien der Energiemarkt-Preisentwicklung und der möglichen Entwicklung der Methanolverkaufspreise auch die Anschaffungspreise kostenrelevanter System-Komponenten herangezogen. Im Vorfeld durchgeführte Berechnungen zeigten, dass bei dem hohen pH-Wert, den das betrachtete Industrie-Abwasser aufweist, annähernd kein gasförmiges CO_2 aus der mikrobiellen Elektrolysezelle für die Methanolsynthese zur Verfügung steht. Deshalb wurden zusätzliche Kosten für den externen Zukauf von CO_2 angesetzt. Ebenso wurden mögliche Einsparungen von Abwasserabgaben durch eine Vorreinigung des Abwassers in den mikrobiellen Elektrolysezellen berücksichtigt.

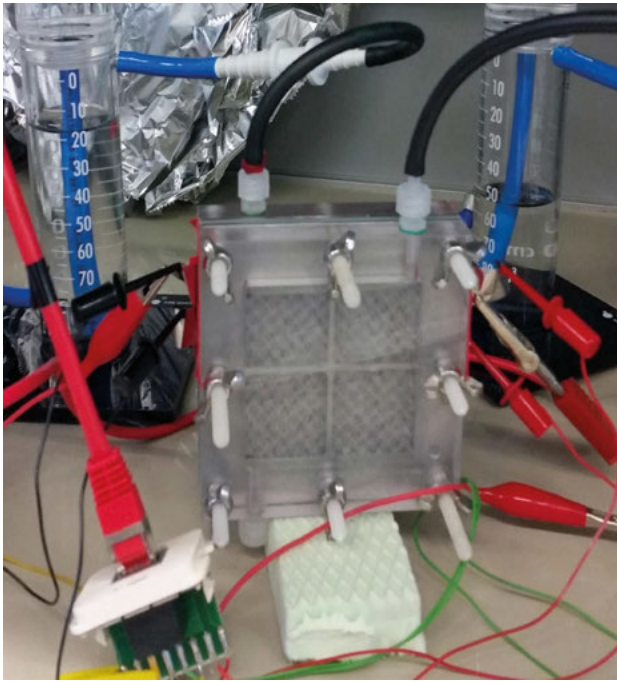


Abb. 2: Erste Laborversuche mit einer hochskalierten mikrobiellen Elektrolysezelle mit 36 cm^2 geometrischer Elektrodenfläche.

Hinsichtlich der Investitionskosten verursacht die mikrobielle Elektrolyse mit über 50% bei allen Varianten den Großteil der Kosten. Eine Möglichkeit zur Verringerung dieses Kostenpunktes ist die deutliche Reduzierung der Membran- und Elektrodenfläche durch Erhöhung der Stromdichte an der Anode. Ein weiterer kostenintensiver Punkt im Hinblick auf die laufenden Betriebskosten ist der Zukauf von CO_2 als Edukt für die Methanolsynthese. Durch eine Anpassung des pH-Wertes auf unter 6,9 stünde ausreichend CO_2 zur Verfügung, um das stöchiometrisch notwendige Verhältnis von CO_2 zu H_2 von 1:3 für die Methanolsynthese einzustellen.

Bezüglich der CO_2 -Emissionen des Gesamtprozesses haben die Berechnungen ergeben, dass sowohl der Zukauf von CO_2 aus externen Quellen als auch die Quelle des Elektrolysestroms entscheidend sind. Die geringste spezifische CO_2 -Emission von 0,22 [Tonnen CO_2 /Tonne Methanol] wurde erreicht, wenn kein externes CO_2 zugekauft und die Elektrolyse mit Ökostrom betrieben wird. Dem gegenüber steht die Variante mit CO_2 -Zukauf und dem Betrieb der Elektrolyse mit dem aktuellen deutschen Strommix: hier werden 2,08 [Tonnen CO_2 /Tonne Methanol] emittiert, dieser Wert ist fast doppelt so hoch wie der Wert der konventionellen Methanolsynthese (1,21 [Tonnen CO_2 /Tonne Methanol]).

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht auf den Zukauf von CO_2 aus externen Quellen verzichtet werden sollte. Zudem sind die Erhöhung der Stromdichte der Elektrolysezelle und die damit einhergehende Verringerung der Membran- und Elektrodenfläche einer der Hauptfaktoren um die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems zu erhöhen.

Ausblick

Im weiteren Projektverlauf soll die Anodenleistung der mikrobiellen Elektrolysezelle u.a. durch den Einsatz definierter mikrobieller Konsortien weiter verbessert werden. Parallel dazu werden optimierte Katalysatoren für die Methanolsynthese entwickelt, um so die Ausbeute und energetische Effizienz des gesamten Prozesses weiter zu erhöhen. Im dritten Projektjahr werden dann die Teilprozesse „mikrobielle Elektrolyse“ und „Methanolsynthese“ zu einer vollständigen Demonstrationsanlage zur Methanolproduktion aus Abwasser im Labormaßstab zusammengeführt.

Kontakt:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
 Fahnenbergplatz
 79098 Freiburg
 Dr. Sven Kerzenmacher
 Tel.: +49 761 203-73218
 sven.kerzenmacher@imtek.uni-freiburg.de

Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.biomethanol.uni-freiburg.de

Kläranlagen als Energiepuffer für Stromnetze

Hintergrund

Im Rahmen der Energiewende wächst der Anteil regenerativer Energien, z. B. Windkraft und Photovoltaik. Diese Energiequellen unterliegen großen Schwankungen in ihrer Verfügbarkeit. Energie-Puffer-Systeme, beispielsweise Pumpspeicherkraftwerke, können dies ausgleichen. Auch Kläranlagen könnten als Energie-Puffer genutzt werden. Das System zur Stabilisierung von Stromnetzen besteht in diesem Fall aus einer energieliefernden Biobrennstoffzelle und einer energieverbrauchenden Spurenstoffelektrolyse. Je nach Energie-Bedarf im Stromnetz kann entweder die energieliefernde Biobrennstoffzelle oder die energieverbrauchende Spurenstoff-Elektrolyse zugeschaltet werden. Die Entwicklung und Erprobung dieser beiden Komponenten und des Gesamtsystems sind Gegenstand dieses Verbundprojektes.

Zwischenergebnisse

In der Biobrennstoffzelle werden an einer von einem Biofilm bedeckten Elektrode organische Wasserinhaltsstoffe abgebaut. Dabei wird elektrischer Strom erzeugt. An der anderen Elektrode, der Gasdiffusions-Elektrode, wird Sauerstoff aus der Luft zu Wasser (Hydroxid-Ionen) reduziert. Die Biobrennstoffzelle wurde in synthetischem (Substrate: Acetat und Huminstoffe) und in realem Abwasser (Trübwasser aus der Primärschlammbehandlung) im Labor untersucht. Hierfür wurde zunächst ein einfacher Zellaufbau gewählt (sog. H-Zelle). Dabei bildeten sich innerhalb weniger Wochen Biofilme auf Kohlenstoffvlies-Elektroden. Die Etablierung des Biofilms erfolgt in synthetischem Abwasser schneller. Mit der Charakterisierung der Bakterien, aus denen sich diese Biofilme zusammensetzen, wurde begonnen. Dabei konnte mittels mikrobiologischer Methoden ein deutlich höherer Bewuchs auf der Elektrode im Vergleich zum Medium nachgewiesen werden. Ein temporäres Abschalten der Biobrennstoffzelle hat auf die erzielbare elektrische Leistung keinen signifikanten Einfluss. Somit kann die Biobrennstoffzelle wie geplant zur Netzstabilisierung verwendet werden.

Die elektrochemischen Eigenschaften und die Eignung für den Brennstoffzellenbetrieb von mehreren Gasdiffusionselektroden, die mit verschiedenen Elektrokatalysatoren beladen waren, wurden untersucht. Es zeigte sich, dass die Gasdiffusionselektroden im betrachteten Energie- und Strombereich für den Prozess nicht limitierend sind. Allerdings bilden sich auf diesen Elektroden ebenfalls Biofilme aus, die die Leistung jedoch nicht signifikant vermindern. Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Zelle auch ohne Trennmembran zwischen den beiden Elektroden betrieben werden kann. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde eine Laborzelle mit zylindrischer Geometrie gebaut (ca. 400 cm² Elektrodenfläche; siehe Abb. 1). Diese kann kontinuierlich betrieben werden und dient als Modellsystem für den geplanten Demonstrator, der auf dem Klärwerk Steinhof (Braunschweig) getestet werden soll.

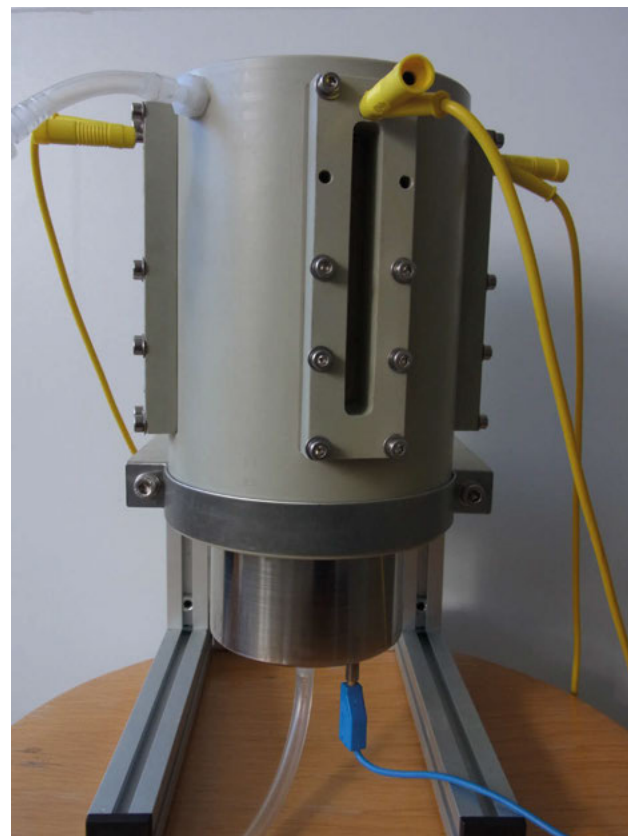


Abb. 1: Labormuster der Biobrennstoffzelle.

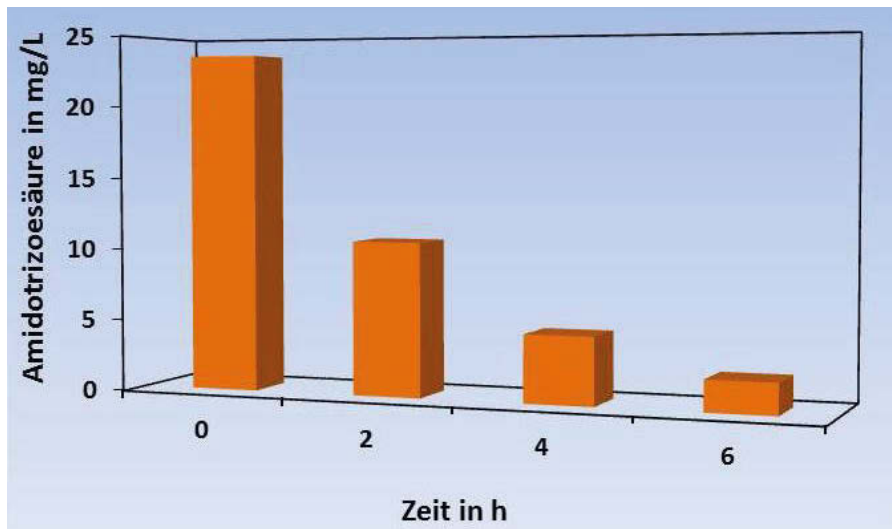


Abb. 2: Konzentrationsabnahme von Amidotrizoesäure (ATS, Röntgenkontrastmittel) während der Elektrolyse in einer Durchflusszelle (Anode: bordotierte Diamant-Elektrode).

Das Verfahrensprinzip der Spurenstoffelektrolyse besteht aus zwei Schritten: Im ersten Schritt werden die Spurenstoffe an Aktivkohle adsorbiert. Dies erfordert keine zusätzliche Energie. Zu dem Zeitpunkt, an dem „Überschussenergie“ im Netz zur Verfügung steht, wird im zweiten Schritt an die Aktivkohle eine Spannung angelegt. Die Spurenstoffe reichern sich in der Lösung an und werden an einer zweiten Elektrode, der bordotierten Diamant-Elektrode, abgebaut. Aus einer Reihe verschiedener Kohlenstoff-Materialien wurde mit Hilfe von Adsorptionsversuchen das geeignete Material bestimmt. Adsorption und Desorption wurden untersucht. Es zeigte sich, dass es beim Anlegen negativer Spannungen auch zu einem Austrag von Kohlenstoff aus der Elektrode kommt. Für ein halogeniertes Röntgenkontrastmittel konnte die reduktive Dehalogenierung an Kohle-Elektroden nachgewiesen werden. Der oxidative Abbau der halogenierten Röntgenkontrastmittel wurde an bordotierten Diamant-Elektroden ebenfalls nachgewiesen (Abb. 2).

Außerdem wurde eine Reihe weiterer Pharmawirkstoffe erfolgreich abgebaut. Da die erforderlichen Spannungen und elektrischen Ströme für die Desorption und den elektrochemischen Abbau sich stark unterscheiden, wurden die beiden Prozessschritte Adsorption/Desorption und Elektrolyse räumlich getrennt und auf zwei Reaktoren verteilt. Labormuster dieser Reaktoren wurden gebaut und ersten Tests unterzogen.

Ausblick

Im bisherigen Projektverlauf wurde im Labormaßstab gezeigt, dass das Konzept einer Netzstabilisierung durch die Kombination aus Biobrennstoffzelle und Spurenstoffelektrolyse prinzipiell realisierbar ist. Nun steht die Übertragbarkeit in einen größeren Maßstab an. Die weiteren Arbeiten konzentrieren sich folglich auf den Bau und die Erprobung von Demonstratoren, die im Klärwerk Steinhof (Braunschweig) getestet werden sollen. Die Basis für das Scale-up bilden die Optimierung der Betriebsparameter der Labormuster und die vertiefte Untersuchung der Biofilme und der Adsorption/Desorption, bzw. des Abbaus von Spurenstoffen. Aus den Daten des Demonstratorbetriebs soll für das Gesamtsystem eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt werden.

Kontakt:

DECHEMA Forschungsinstitut
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt
Dr. Klaus-Michael Mangold
Tel.: +49 69 7564-327
mangold@dechema.de

Laufzeit: 05/2014 – 04/2017
www.kestro.de

Abwasserreinigungsanlagen als Regelbaustein in intelligenten Verteilnetzen mit erneuerbarer Energieerzeugung

Hintergrund

Der steigende Bedarf des Ausgleichs schwankender Energiemengen ist ein Nebeneffekt des stetigen Ausbaus der erneuerbaren Energien (EE) im Rahmen der Energiewende. Wurde früher ein Großteil der Grundlast über Atomkraft und fossile Energieträger erbracht, muss diese mengenmäßige Lücke zukünftig nicht nur geschlossen werden, sondern stellt die Energiewirtschaft vor neue Herausforderungen. Energie aus Sonne und Wind schwankt entsprechend ihrem natürlichen Aufkommen und kann zeitweise zu Energieüberschüssen führen, welche nicht ins Stromnetz eingespeist werden können. Zum Ausgleich und zur Vermeidung der kurzfristigen Abschaltung dieser Erzeuger ist ein entsprechendes Potenzial an Regelenergie und in Zukunft auch an Speichermöglichkeiten erforderlich. Die regionale Wasserwirtschaft in Deutschland kann mit ihren energetischen Speicher- und Erzeugungsmöglichkeiten zur Erreichung der energiepolitischen Ziele beitragen. In diesem Zusammenhang ist die übergeordnete Aufgabe von Kläranlagen - die Abwasserreinigung - stets sicherzustellen. Nichtsdestotrotz sind die Energiepotenziale von zentraler Bedeutung und sollen laut Abwasserverordnung, soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, genutzt werden.

Ziel von arrivee ist die Entwicklung einer Systemlösung zur Einbindung der in Deutschland flächendeckend vorhandenen Kläranlagen mit Schlammfäulung in ein optimiertes Regelenergie- und Speicherkonzept. Dazu sollen die hervorragenden technischen Voraussetzungen von Faulungsanlagen, insbesondere die vorhandenen Stromerzeugungsanlagen und die zugehörigen Gasspeicher, gezielt genutzt werden. Mit zu entwickelnden Lösungsansätzen sollen damit Dienstleistungen zur Verfügung gestellt werden, die heute und in Zukunft durch den Ausbau Erneuerbarer Energien erforderlich sind. Hierfür werden die Einflüsse von außen auf die Prozesse in der Kläranlage analysiert und bewertet. Derzeit wird das produzierte Klärgas weitestgehend, zur Eigenstromproduktion, direkt auf der Anlage, zur Behandlung des zugeführten Abwassers und des anfallenden Schlammes, genutzt. Zukünftig könnten Kläranlagen eine aktivere Rolle zur Stabilisierung der Stromnetze einnehmen, indem eine angepasste Stromproduktion, über Zwischenspeicherung des Gases und/oder Überführung von Energie in ein Langzeitspeichermedium z.B. hochreines Methan, erfolgt (Abb. 1).

Zwischenergebnisse

Im Rahmen von arrivee wurde das Flexibilitätspotenzial aller bestehenden Faulungsanlagen für die Stromerzeugung ermittelt. Grundlagen waren die erwartete Steigerung der Energieausbeute in Folge von innerbetrieblicher Optimierung und Erhöhung der Wirkungsgrade sowie die Ausrüstung aller vorhandenen Faulungsanlagen mit Blockheizkraftwerken. Weiter wurden die Umstellung von Anlagen auf Faulgasproduktion ab einer wirtschaftlichen Anlagengröße und die Ausnutzung von Kapazitätsreserven im Bestand berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Steigerung des Potenzials zur Erzeugung elektrischer Energie von aktuell 1,25 TWh/a auf rund 2,11 bis 2,61 TWh/a möglich ist. Dies entspricht einer Leistung von etwa 300 MW_{el}, welche rund 15% des derzeitigen Bedarfs an negativer Regelenergie abdecken könnte. Zur Bergung der Potenziale wurden neben den Stromerzeugungsanlagen weitere Flexibilitätsbausteine auf Kläranlagen identifiziert, um die benötigten Dienstleistungen anzubieten. Da sich jede Anlage in ihrer Betriebsweise, Größe, Belastung und anderen lokalen Randbedingungen unterscheidet, wurden verschiedene Anlagenkonzepte erarbeitet, um einen breiten Anwendungsbereich zu gewährleisten. Hierbei werden ebenfalls innovative Konzepte untersucht, z.B. das vorhandene Faulgas mit Hilfe von Wasserstoff, der aus Überschussstrom mit einem Elektrolyseur gewonnen wird, zu einem erdgasähnlichen Gas aufzubereiten und ins Erdgasnetz einzuspeisen oder nach Zwischenspeicherung zu verstromen.

Der Einsatz der Kläranlage als Speicher und Regelgröße muss im Zusammenhang des regulären Betriebsablaufs der Kläranlage betrachtet werden und negative Auswirkungen auf die Reinigungsprozesse müssen ausgeschlossen werden. Um dies zu gewährleisten wurde ein mathematisches Modell der Versuchskläranlage erstellt und mit realen Tests auf der Anlage überprüft und kalibriert. Für die Gebläse der biologischen Stufe und die Rücklaufschlamm-pumpen wurden die Auswirkungen auf die Ablaufwerte durch das temporäre Abschalten der Aggregate, zu unterschiedlichen Belastungszeiten und Abschaltedauern, untersucht und keine negativen Auswirkungen auf die Gesamtablaufwerte der Anlage festgestellt. Die Möglichkeit der gezielten Abschaltung von Anlagenteilen wird über ein gestuftes Regelsystem gesteuert und umgesetzt. Um

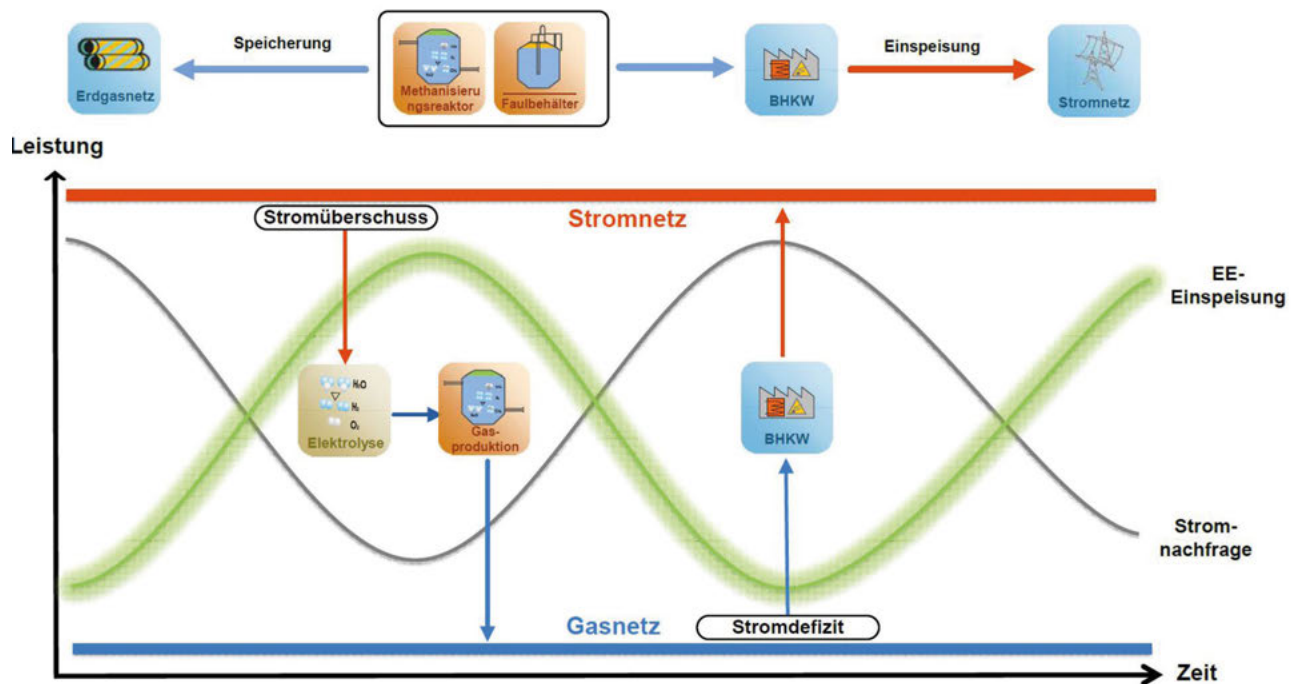


Abb. 1: Speicherung und Einspeisung von Energie, je nach Situation im Stromnetz

die gewonnene Flexibilität tatsächlich anzubieten müssen Kläranlagen aufgrund ihrer geringen individuellen Leistung im Vergleich zu regulären Kraftwerken in sogenannten virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen und als Verbund mit anderen Kleinkraftwerken vermarktet werden. Dazu sind auf der Versuchskläranlage entsprechende Mess- und Kontrolleinrichtungen installiert worden und mit Tests des externen Eingriffs auf die Kläranlage wurde begonnen. Diese Flexibilität kann auf unterschiedlichen Energiemärkten und zu unterschiedlichen Zwecken benötigt werden. Im Rahmen des Projektes arrivee werden heutige und zukünftige Märkte eruiert und bewertet.

Zusätzlich erfolgte eine umfassende Analyse der wesentlichen energierechtlichen Beziehungen der verschiedenen Akteure (Kläranlage, Anschlussnetz- und Übertragungsnetzbetreiber, Stromlieferanten, etc.). Weiter wurden die aktuellen gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen untersucht und hinsichtlich der Projektziele bewertet. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann festgestellt werden, dass aus den aktuellen gesetzlichen Regelungen keine grundlegenden Hemmnisse oder Einschränkungen zur Umsetzung des Flexibilitätsangebots resultieren. Vielmehr favorisieren mehrere (politische) Willensbekundungen diese Vorhaben.

Ausblick

Erste Ergebnisse lassen ein deutliches Potenzial von Faulungsanlagen zur Bereitstellung von Netzsystemdienstleistungen durch Anpassung der vorhandenen Infrastrukturen erkennen. Die Untersuchung der Abschalt-

zeiten und ihre Kategorisierung werden fortgeführt, um mit einer maximalen Flexibilität auf die Erfordernisse des Energiemarktes einzugehen, und mit dem entwickelten gestuften Regelsystem umgesetzt. Durch Optimierung und Ausbau der Stromproduktion auf Kläranlagen können diese einen wesentlichen Beitrag zur Bereitstellung von benötigten Dienstleistungen am Energiemarkt leisten. Die Weiterentwicklung des Regelsystems und das gezielte Zu- und Abschalten von Anlagenkomponenten sowie die Nutzung von Überschussstrom aus Erneuerbaren Energien mit einem Elektrolyseur wird den Einfluss von Kläranlagen weiter steigern können. Weiter findet im Rahmen des Projektes im 2. Quartal 2016 ein Expertenworkshop für Praktiker, Forscher und Entscheidungsträger zur Szenarienentwicklung der Energiemarktpotenziale für die Abwasserwirtschaft statt, um Erfordernisse aus der Praxis direkt mit dem Projektverlauf und den wichtigsten Akteuren abzustimmen.

Kontakt:

Technische Universität Kaiserslautern
 Paul-Ehrlich-Str. 14
 67663 Kaiserslautern
 Prof. Dr. Theo Schmitt
 Tel.: +49 631 205-2946
 theo.schmitt@bauing.uni-kl.de

Laufzeit: 04/2014 – 03/2017
www.erwas-arrivee.de

Entwicklung und Integration innovativer Kläranlagentechnologien für den Transformationsprozess in Richtung Technikwende

Hintergrund

Im Projekt E-Klär werden Technologien und Strategien für eine optimale Nutzung der im Abwasser enthaltenen Energie und Ressourcen sowie für eine Senkung des Energiebedarfs der Kläranlage der Zukunft entwickelt. Diese kommunale „Kläranlage der Zukunft“ wird, neben den heutigen Anforderungen an die Nährstoffelimination, in vielen Fällen weitergehende Aufbereitungsschritte beinhalten, um auch Mikroverunreinigungen und Krankheitserreger zu eliminieren. Gleichzeitig wird die Kläranlage der Zukunft die im Rohabwasser enthaltene Energie möglichst weitgehend ausnutzen und stoffliche Ressourcen rückgewinnen.

Zwischenergebnisse

Im Schwerpunkt I (SP I) werden innovative Verfahren der Abwasser und Schlammbehandlung im Labor sowie in halb- und großtechnischen Anlagen untersucht. Für die einzelnen Verfahren werden Steckbriefe anhand von Versuchsergebnissen und Literaturdaten für die Modellierung (SP II) erstellt. Zur Ausschleusung energiereicher Ströme aus dem Abwasser wurden halbtechnische Versuche zur ersten Stufe eines zweistufigen Verfahrens unternommen. Großtechnische Versuche mit einer Rechengutwaschpresse sind auf der ersten Kläranlage (KA) abgeschlossen und finden zurzeit am zweiten Standort nach Optimierung der Waschpresse statt. Ein großtechnisches Feinsieb inkl. Feinsiebgutwaschpresse wird dort Ende 2015 ebenfalls aufgestellt. Weiterhin erfolgen labortechnische Untersuchungen zur Kohlenstoffausschleusung durch den Einsatz von Chemikalien.

Im Bereich der Stickstoffelimination ist der Aufbau des Basismoduls für die Schlammwasserbehandlung als einstufiges Verfahren mit sequencing batch reactor und Intervallbelüftung konzipiert. Das biologische Basismodul für die Abbildung der Deammonifikation wurde dabei um die entsprechenden biologischen Prozessparameter und Organismen erweitert. Zur Untersuchung der Auswirkungen von Hemmstoffen und Kalibrierung des biologischen Modells wurden Batchversuche mit dem ausgewählten Referenzschlamm begonnen.

Die Untersuchungen zur Faulung des mit Thermodruckhydrolyse aufgeschlossenen Schlammes und des Co-Substrats aus der Rechengutwaschpresse laufen seit Juni 2015 auf der ersten Kläranlage. Weiterhin wird die containergehauste

Schneckenpresse zur Faulschlammwässerung seit April 2015 auf insgesamt vier Kläranlagen untersucht. Nach Revisionsarbeiten wird die Schneckenpresse bis März 2016 auf dem Klärwerk in Braunschweig betrieben.

Für die Spurenstoffelimination und Desinfektion werden Steckbriefe zu den Verfahren Ozonung, GAK-Filtration (Granulierte Aktivkohle), PAK-Dosierung (Pulveraktivkohle), UV-Desinfektion sowie Membran- und Sandfiltration zurzeit er- bzw. überarbeitet. Versuche zur Untersuchung der Auswirkungen veränderter Zulaufbedingungen auf die Verfahren der Spurenstoffelimination und Desinfektion werden geplant. Im Bereich der Wertstoffrückgewinnung fand eine ausführliche Recherche der potenziell rückgewinnbaren Metalle im Abwasser und Klärschlamm statt.



Abb. 1: Rechengutwaschpresse zur Kohlenstoffausschleusung

Im Schwerpunkt II (SP II) wird eine Methodik zur Berechnung anlagenspezifischer Kennwerte als Eingangsgrößen für die Auswahl des optimalen Transformationsprozesses entwickelt. Das Planungswerkzeug ist ein um Energie und Kosten erweitertes Stoffflussmodell einer ganzheitlich betrachteten Kläranlage, das die Integration neuer Module erlaubt. Als maßgebender vorbereitender Arbeitsschritt erfolgte der Aufbau eines übergeordneten Handlungsrahmens, in dem das Zusammenspiel von Modellnutzung, Ergebnisbewertung und Betreiberentscheidung bei der Festlegung des Transformationswegs definiert wird. Der notwendige Dateninput und -output des Gesamtmodells wurde erarbeitet, die Parametrierung und Einbindung der in SP I untersuchten Verfahren läuft fortlaufend.

Der schematische Aufbau der Energieebene ist weitestgehend erfolgt. Die Energieverbraucher wurden definiert und die Schnittstellen zwischen der Stoffstrom- und Energieebene sowie weitere Einflussfaktoren zur Berechnung des Energiebedarfs beschrieben. Für die Überprüfung der Dy-

namiken sowie der Sensitivitäten einzelner Parameter der Energiebedarfsberechnungen werden im Rahmen einer Messphase auf der KA Schwerte die notwendigen Daten in hoher Auflösung erhoben. Die Entwicklung des Kostenmodells zur Bestimmung von Jahreskosten sowie eines Kostenmodells zur Ermittlung des finanztechnischen Rahmens (Bestimmung des optimalen Investitionszeitpunktes) erfolgt plangemäß in der zweiten Projekthälfte.

Zur Bewertung der verschiedenen Verfahrensketten und Definition der Zielkläranlage sowie der Pfadanalyse verschiedener Transformationswege werden zu zwei Zeitpunkten des Stufenkonzeptes Modellrechnungen mit Hilfe des erweiterten Gesamtmodells durchgeführt (Abb. 2). Die Berechnung der anlagenspezifischen Kennwerte erfolgt dabei auf Basis von Tagesdaten, die zu Jahreswerten für Energie, Kosten und Stoffströme einer Kläranlage für die nächsten „50 Jahre“ aggregiert werden. Neben der Modellerweiterung ist es somit notwendig, die für die Prognoserechnungen anzusetzenden Lastfälle aus historischen Daten und Prognos Szenarien tagesscharf zu generieren. Hier erfolgten erste methodische Ansätze der Datengenerierung über statistische Verteilungsanalysen. Für die Praxiserprobung wurden drei Kläranlagen des Ruhrverbands ausgewählt und im technischen Modell aufgebaut.

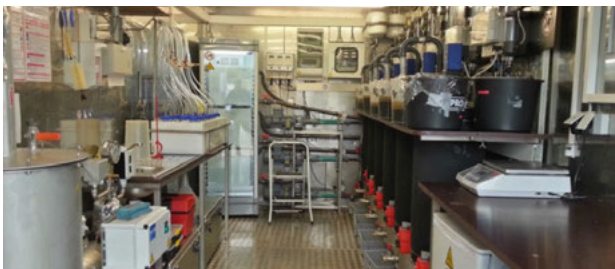


Abb. 2: Anaerobreaktoren zur Kohlenstoffnutzung

Um robuste Leitbilder zu energieeffizienten/wirtschaftlichen Kläranlagen und Transformationspfade dorthin zu definieren, wird im Schwerpunkt III (SP III) die explorative Methode des Stufenkonzeptes angewandt. Diese besteht aus folgenden Teilschritten: (a) Festlegung des Untersuchungskontexts (Kläranlagenstandort, Bewertungsziele); (b) Festlegung von Handlungsoptionen und Ableitung von Szenarien; (c) statische Bewertung von Zielkläranlagen sowie (d) Pfadanalyse und -auswahl. Die Methode unterstützt die Strategiefindung der nachhaltigen Kläranlagenentwicklung und bereitet Investitionsempfehlungen für den nächsten Zeitschritt vor. Sie hilft dabei, bei Investitionsentscheidungen die hohe Prognoseunsicherheit von Einflussfaktoren in der längerfristigen Perspektive aufzugreifen, gegenwärtig diskutierte innovative Verfahren einzubeziehen und das Risiko von Fehlinvestitionen aufgrund von Pfadabhängigkeiten zu verringern.

Für die Methodenerprobung und Konzeptanwendung wurden die Schnittstellen zwischen den Schwerpunkten abgestimmt und die Datenübergabe strukturiert. Nach intensiven Diskussionen verfügen die aus unterschiedlichen Disziplinen stammenden Partner über ein weitgehend deckungsgleiches Verständnis zur methodischen

Herangehensweise, zum Informations- und Datenbedarf sowie zu den weiteren Teilschritten.

Das allgemeine Stufenkonzept wurde konkretisiert und ausdifferenziert, Beispielkläranlagen wurden festgelegt und für sie relevante Handlungsoptionen im Rahmen von Storyboards eingegrenzt (Schritt (a) des Stufenkonzeptes). Für Schritt (b) wurde die Szenarienstruktur erarbeitet. Zurzeit erfolgen die Sichtung der empirischen Daten und Informationen sowie die Integration von Prognosewerten in die Szenarien. Die Kläranlage Wickede wurde hierzu als erstes Fallbeispiel herangezogen. Zur Umsetzung der weiteren Stufen des Stufenkonzeptes erfolgt aktuell die Methodikauswahl zur Bewertung der lastfall- und variantenspezifischer Kennziffern, die mithilfe des Gesamtmodelles (SP II) bereitgestellt werden.



Abb. 3: Handlungsraaster mit Zusammenspiel von Modellnutzung, Ergebnisauswertung und Betreiberentscheidung bei der Festlegung des Transformationswegs

Ausblick

In der zweiten Projekthälfte erfolgt eine Weiterentwicklung der untersuchten innovativen Verfahren und ihrer relevanten Kennwerte und Modulparameter bei unterschiedlichen Randbedingungen. Die Modellebene der Kostendaten wird ausformuliert und in das Gesamtmodell integriert. Weiterhin erfolgt die Anwendung des Stufenkonzeptes für die drei Praxisbeispiele mit den Teilschritten Lastfallprognose, Verfahrensvariation und Vergleichsrechnung, Definition der Zielkläranlage sowie die Pfadanalyse.

Kontakt:

Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)
 der RWTH Aachen
 Templergraben 55
 52062 Aachen
 Prof. Dr. Johannes Pinnekamp
 Tel.: +49 241 80-25207
 pinnekamp@isa.rwth-aachen.de
 Laufzeit: 05/2014 – 04/2017
 www.e-klaer.de

Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft: Energiespeicher in der Interaktion mit technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch

Hintergrund

Der Energiesektor steht durch den Wechsel von fossilen/nuklearen Energieträgern auf erneuerbare Energien vor großen Herausforderungen. Auf Grund der meist volatilen Einspeisecharakteristik erneuerbarer Energien werden zunehmend flexible Kapazitäten im Stromversorgungssystem benötigt, die den restlichen Strombedarf decken und ggf. das Überangebot aus Wind- und Solarenergie aufnehmen können. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung geht der Rückbau der konventionellen und regelbaren Anlagen einher, die bisher zur Netzstabilität beitragen. In einem Smart Grid müssen diese Aufgaben zukünftig verstärkt von anderen flexiblen Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen übernommen werden. Für Kläranlagen als Großenergieverbraucher, aber durch die Nutzung von Faulgas auch als Energieerzeuger, bieten diese veränderten energiewirtschaftlichen Anforderungen große Potenziale. Kläranlagen können durch einen flexiblen Betrieb ihr Energiemanagement optimieren und als Energiedienstleister zusätzliche Einnahmen erwirtschaften.

Im Rahmen des Verbundprojekts „Abwasserbehandlungsanlage der Zukunft: Energiespeicher in der Interaktion mit

technischer Infrastruktur im Spannungsfeld von Energieerzeugung und -verbrauch (ESiTI)“ wird die Vernetzung von Energieverbrauch und -erzeugung der Kläranlage als Energiespeicher analysiert (www.esiti.de). Die Untersuchungen erfolgen dabei am Beispiel des Zentralklärworks Darmstadt, einer kommunalen Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 240.000 Einwohnerwerten. Unter Erfüllung der Aufgabe der Abwasserbehandlung, steht insbesondere die flexibilisierte Energieerzeugung im Fokus.

Zwischenergebnisse

Auf Grundlage der Erfassung der Energieströme auf dem Zentralklärwerk Darmstadt mit einer Datenauflösung bis zu Minutenwerten konnten die elektrische Energieerzeugung und der -verbrauch, abweichend von bisherigen Untersuchungen, auch als Tagesgang ausgewertet werden.

Die Flexibilisierung kommunaler Kläranlagen richtet sich dabei nach der Nachfrage der Energiewirtschaft, woraus die erforderliche Aktivierungszeit resultiert (Abb. 1). Die Flexibilisierung kann dabei über verschiedene Bewirtschaftungsstrategien erfolgen, die Bestandteile der aktuellen Untersuchungen sind. Das bereits in der Praxis (teil-)realisierte Lastmanagement zielt auf einen weitest

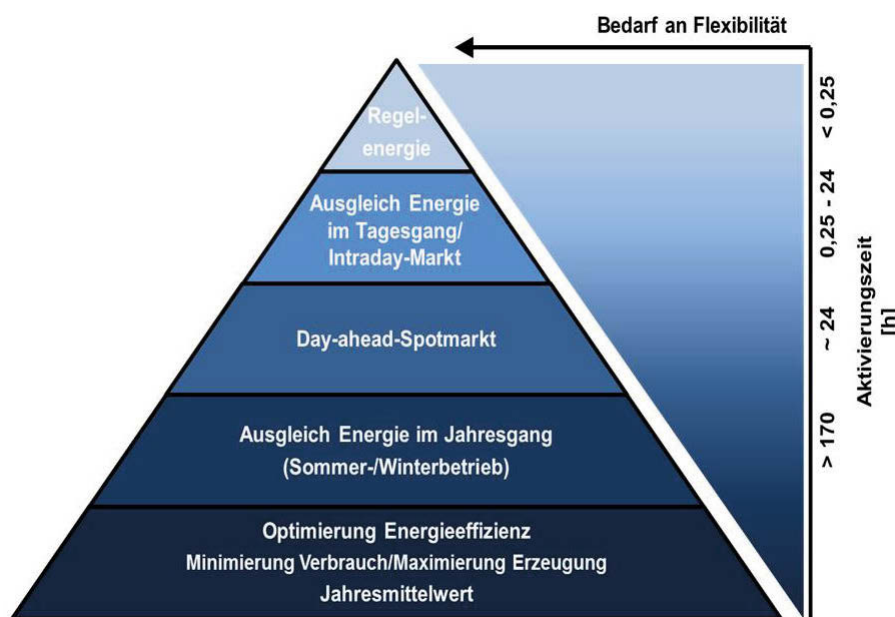


Abb. 1: Grad der Flexibilisierung und Aktivierungszeit in Abhängigkeit vom Optimierungsziel

gehenden Ausgleich von Strombedarf und -erzeugung im Tagesgang. Im Fokus stehen dabei intelligente Steuerungen/Regelungen zur Erbringung von Flexibilität bestehender Technologien und die Einbindung innovativer Technologien zur Erhöhung der Faulgasproduktion, z.B. durch Co-Substrate (Abb. 2). Klärschlamm bzw. Co-Substrat mit der darin enthaltenen chemisch gebundenen Energie werden so zum Energiespeicher, wobei insbesondere Co-Substrate mit leichtabbaubaren Inhaltsstoffen für den Einsatz bei Lastspitzen prädestiniert sind. Der Vergleich der Energiedichte zeigt, dass die Speicherung chemisch gebundener Energie in Form von Primär-/Überschussschlamm sowie Co-Substraten mit einer Energiedichte von 0,03 – 0,2 kWh_{el}/kg in ähnlicher Größenordnung liegt wie bei Batterien.

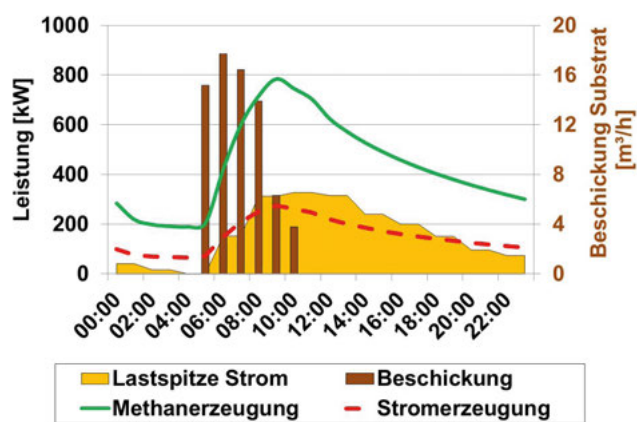


Abb. 2: Dosierstrategie von Klärschlamm zur Faulgaserzeugung, Fotos der Versuchsanlage zur Faulung

Der Strompreis an den kurzfristigen Strommärkten (Day-ahead oder Intraday) unterliegt starken Schwankungen, wobei sich die Kostenstruktur mit der Volatilität der erneuerbaren Energien ändert. Durch die Teilnahme an den Spotmärkten können der Strombezug bei Niedrigtarifzeiten und die Eigenversorgung entsprechend in Hochtarifzeiten erfolgen. Die Bereitstellung von Regelleistung ist notwendig, um Ungleichgewichte zwischen Stromerzeugung und -verbrauch auszugleichen. Die positive Regelleistung ist die Kapazität, die im Notfall ein Defizit auf dem Strommarkt abfedert und Strom einspeist. Mit negativer Regelleistung ist im Umkehrschluss die Kapazität gemeint, die für das Speichern oder Zurückhalten von Strom bereitgestellt wird. Allein durch die Leistung der Blockheizkraftwerke des Zentralkläranwerkes Darmstadt können bei der Teilnahme am Regelleistungsmarkt Erlöse erzielt werden. Hierbei erfolgt der Zusammenschluss über ein virtuelles Kraftwerk mit weiteren Anbietern am Regelleistungsmarkt.

Die notwendigen Technologien werden im Rahmen des Arbeitspakets „Technik“ an diversen Labor- und Pilotanlagen zur Charakterisierung von Substraten und Technologien untersucht. Ziel ist dabei anhand von Kennzahlen den möglichen Flexibilisierungsgrad

einer Technologie oder eines Substrats zu erfassen. Als Technologien stehen die Thermodruckhydrolyse zur Desintegration von Schlamm, konventionelle Faulungen und Faulungen mit nachgeschalteter Mikrofiltrationsmembran zur Entkopplung der Faulzeit von der hydraulischen Verweilzeit im Fokus, wobei periphere Abhängigkeiten mitbetrachtet werden. Auch eine Verknüpfung mit zukünftigen Anforderungen an Kläranlagen durch die Mitbetrachtung der Klärschlamm-trocknung und -verbrennung unter Einbeziehung einer Phosphorrückgewinnung wird berücksichtigt.



Abb. 3: Fotos der Versuchsanlage zur Faulung

Ausblick

Aus den Versuchsergebnissen sollen Technologiebausteine entwickelt werden, die miteinander zu Verfahrensvarianten verknüpft und anschließend in einer multikriteriellen Bewertung an Hand ökonomischer, ökologischer, technologischer und sozio-politischer Kriterien bewertet werden. Aktuell erfolgt eine Expertenbefragung zur Gewichtung von Kriterien und Messindikatoren für die umfassende Bewertung der Verfahrensvarianten. Aus den Ergebnissen wird ein Bewertungstool zur Entscheidungsunterstützung für politische, wirtschaftliche und technologische Stakeholder entwickelt.

Die Zusammenführung aller Technologiebausteine, deren Bewertung und der Bedarf der Kläranlagen zur Flexibilisierung bzw. deren Rahmenbedingungen erfolgen in einem Leitfaden, der am Beispiel des Zentralkläranwerkes Darmstadt validiert werden soll.

Kontakt:

TU Darmstadt, Institut IWAR
 Franziska-Braun-Str. 7
 64287 Darmstadt
 Prof. Dr. Peter Cornel
 Tel.: +49 6151 16-27 48
 p.cornel@iwar.tu-darmstadt.de

Laufzeit: 05/2014 – 04/2017
www.esiti.de

Klärschlammverwertung Region Nürnberg mit metallurgischem Phosphorrecycling

Hintergrund

In Deutschland entstehen bei der Reinigung von Abwasser jährlich ca. 7,5 Mio. Tonnen entwässerter Klärschlamm. Fast alle Schadstoffe, die wir mit dem Abwasser in die Kläranlage spülen, finden wir in diesem Schlamm wieder: Mit Blick auf deren Umweltwirkungen sind es hoch giftige organische und metallische Verbindungen. Aus elementarer Sicht aber auch wertvolle Rohstoffe, die genutzt werden sollten. Der kalorische Brennwert des Schlammes ist nach seiner Trocknung dem von hochwertiger Braunkohle vergleichbar. Als Wertstoffe sind die Metalle und besonders das rare Phosphor interessant. Er steht auf der Liste der kritischen Rohstoffe Europas. Dabei könnten theoretisch bis über die Hälfte des deutschen Bedarfs aus dem Klärschlamm gedeckt werden.

Die wirtschaftliche Lösung der Aufgabe liegt wahrscheinlich nicht im Einzelvorgang der Pyrolyse, Verbrennung oder Vergasung, sondern in der Kombination der Prozesse in einem Verfahrensschritt. Das Ziel ist, eine fließfähig gemachte, leichte mineralische Schlacke von der schweren metallischen Schmelze in Phasen unterschiedlicher Dichte zu trennen.

Das Verbundprojekt „Klärschlammverwertung Region Nürnberg mit metallurgischem Phosphorrecycling“ (KRN-Mephrec) untersucht in diesem Sinne die traditionellen Schmelzverfahren der Metallverhüttung. Was im Experiment bereits gelungen ist, wird im Projekt als Versuchsreaktor im halbtechnischen Maßstab erprobt und soweit fortentwickelt, dass über den Bau einer wirtschaftlichen Großanlage entschieden werden kann.

Zwischenergebnisse

Das technologische Konzept als modifizierter Kupolofen ist ausgearbeitet. Statt Eisenschrott wird eisenhaltiger Klärschlamm geschmolzen. Aus der kohlenstoffreichen Organik des Klärschlammes wird gleichzeitig CO-reiches Synthesegas erzeugt. Die Produkte des experimentellen Versuchs in Freiberg wurden getestet. Sie sind frei von organischen Reststoffen. Alle Schwermetalle einschließlich Uran sind in der Eisenlegierung neutralisiert. Die phosphorreiche Schlacke erreicht eine Düngqualität, die für die biologische Landwirtschaft geeignet ist. Au-

ßer geringen Mengen Flugasche und bei Nutzung des Synthesegases die Reinigungsprodukte entsteht kein Abfall.

Der erste Teilprozess des Verfahrens betrifft die Trocknung und Bereitstellung des Klärschlammes. Die Qualität und Struktur des Ausgangsprodukts wurde in einer mehrjährigen Untersuchungsreihe chemisch analysiert und im Projekt ausgewertet. Um eine staubarme Trockensubstanz (TS) zu erreichen, fiel die Wahl auf einen Bandtrockner, der einen Trocknungsgrad von 90% TS einhält. Für die geplante Versuchsreihe werden für das Projekt 6.700 Mg Klärschlamm zu Klärschlammgranulat getrocknet.

Das Granulat wird im zweiten Schritt zu formstabilen Briketts gepresst. In Versuchen wurden die verschiedenen Verfahren der Brikettierung getestet. Die Entscheidung fiel auf Stempelpressen, mit denen sich besonders feste und lagerstabile, zylindrische Briketts erzeugen lassen. Für den Pilotversuch ist jetzt eine leistungsfähige Brikettierungsanlage in der Herstellung.

Die konstruktiven Vorgaben für den Bau und Betrieb des Ofens sind definiert. Der thermochemische Prozess der Schmelzvergasung erfolgt einstufig im Schachtofen, der für den geplanten Anwendungsfall so gestaltet wird,

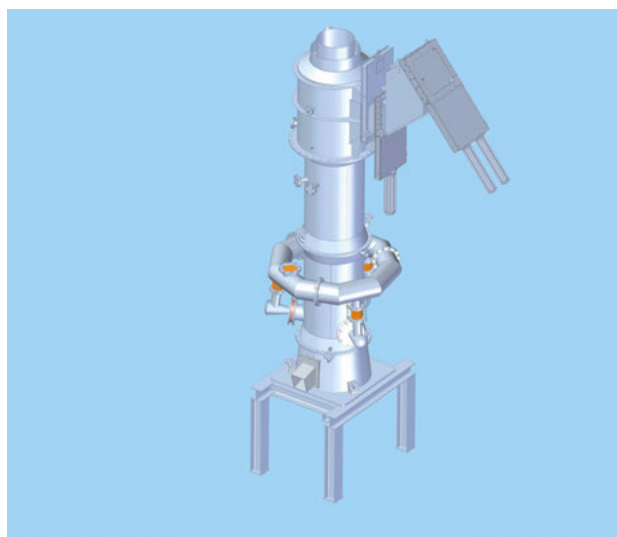


Abb. 1: Ausführungsplanung des Reaktors
Quelle: Baumgarte Boiler Systems GmbH

dass die Prozesse der Pyrolyse, Vergasung und Schmelze in differenzierten Zonen und unter kontrollierten Bedingungen ablaufen. Damit soll die Gefahr der Brückenbildung und Versinterung reduziert werden.

Das Vergasungs- und Schmelzverhalten der Briketts wurde in einer Versuchsreihe näher untersucht, um Rückschlüsse auf die Form der Ofenanlage zu ziehen. Die Feuerfestauskleidung des Ofens wird dem getesteten thermochemischen Verhalten entsprechend gestaltet. Der Mantel des Ofens wird doppelwandig mit Wasserkühlung ausgeführt. Für den Betrieb der Anlage wird eine spezielle Heißwind- und Reinsauerstoffeindüsung montiert.

Das im Ofen entstehende Synthesegas wird zur Beurteilung seiner Brennstoff-Qualität gereinigt und auf seine Zusammensetzung (u.a. Teergehalt, CxHy, SOx) exakt analysiert. Ofenbetrieb und Reinigung des Synthesegases können über die Versuchsphasen hinweg modifiziert werden, um für einen späteren Betrieb eines Gasmotors ein möglichst hochwertiges Gasgemisch produzieren zu können.

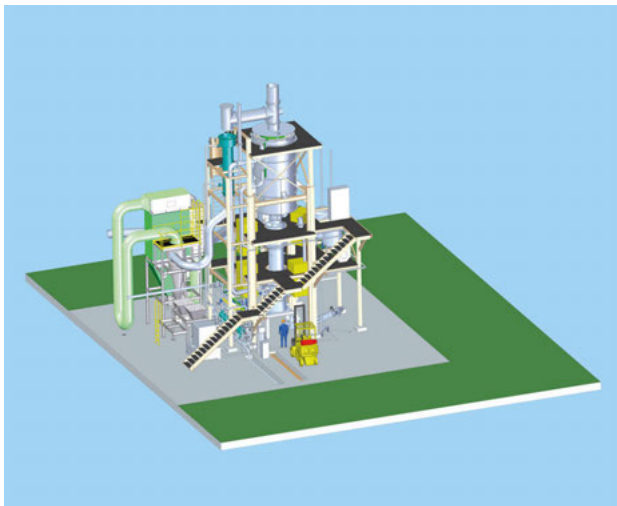


Abb. 2: Ansicht der Versuchsanlage mit Schachtofen und Abluftbehandlung (ohne vorgeschaltete Betriebsanlagen und Gebäude)

Quelle: Klärschlammverwertung Region Nürnberg GmbH

Ausblick

Die Planung ist weitgehend abgeschlossen und die Komponenten der Pilotanlage definiert. Das begleitende Untersuchungsprogramm ist erstellt. Bau und Betrieb der Pilotanlage sind in einem integrierten Genehmigungsverfahren nach Bundesimmissionsschutzrecht genehmigt. In der Abfolge von fünf Meilensteinen erfolgte nach der Ausführungsplanung die Freigabe für den Bau und die Beschaffung der Betriebsmittel.

Die umfangreiche Infrastruktur am Standort Klärwerk Nürnberg ist im Entstehen. Die Anlagenkomponenten Schachtofen, Rekuperator und Abgasbehandlung sind bei Spezialfirmen beauftragt und werden Anfang 2016 montiert. Besondere Anlagenteile, die die Zufuhr und den Ablauf des Ofens betreffen, werden vom Anlagenbauer unter betrieblichen Gesichtspunkten optimiert. Im Januar 2016 beginnt die Errichtung des Ofens. Für April 2016 ist die Kaltinbetriebnahme geplant. Die heiße Projektphase erfolgt unter der Anleitung eines erfahrenen Betriebsingenieurs mit Unterstützung von mehreren Fachingenieuren und Technikern.

Es werden zunächst mehrere Kurzversuche zur Erprobung der Infrastruktur und der Ofenkonstruktion durchgeführt. Dann schließen sich längere Betriebsphasen zur Optimierung des Betriebsmittelverbrauchs, der Synthesegaserzeugung und der Schmelzergebnisse an. Die Qualität der Phosphorschlacke wird stofflich und in der mineralogischen Struktur variiert und die verlustfreie Abtrennung des Eisenmetalls maximiert.

In einem Langtest wird der Ofen über Wochen rund um die Uhr betrieben, um Erkenntnisse über den Dauerbetrieb und den Verbesserungsbedarf an den Teilkomponenten der Anlage zu erkennen.

In einer zusätzlichen Betriebsphase wird Klärschlammmasse eines weiteren Verbundpartners aufgeschmolzen, um Erkenntnisse über die Eignung und Wirtschaftlichkeit der Schmelzvergasung auch in einem zweistufigen Verfahren als Ergänzung für Monoverbrennungsanlagen zu gewinnen.

Die zahlreichen Messreihen werden von den wissenschaftlichen Instituten ausgewertet und die Ergebnisse der Versuche bewertet. Die erzeugten Produkte werden weiteren Tests unterzogen, um die Qualität und das Potenzial der Wiederverwertung auszuloten. Auf Basis der Ergebnisse wird der ökologische und wirtschaftliche Beitrag zum energetischen und stofflichen Recycling des Klärschlammes eingestuft.

Kontakt:

Klärschlammverwertung
Region Nürnberg GmbH
Adolf-Braun-Str. 33 • 90429 Nürnberg
Burkard Hagspiel
Tel.: +49 911 231-4520
burkard.hagspiel@stadt.nuernberg.de

Laufzeit: 11/2014 – 04/2017
www.nuernberg.de/internet/klaerschlammverwertung





Kontakt Daten der Verbundpartner

arrivee

Projektkoordinator
Technische Universität
Kaiserslautern, Fachgebiet
Siedlungswasserwirtschaft
Paul-Ehrlich-Str. 14
67663 Kaiserslautern
Prof. Dr. Theo Schmitt
Tel.: +49 631 205-29 46
theo.schmitt@bauing.uni-kl.de

Verbundpartner
Bergische Universität Wuppertal,
Lehrstuhl für Elektrische Energie-
versorgungstechnik
Rainer-Gruenter-Str. 21
42119 Wuppertal
Prof. Dr. Markus Zdrallek
Tel.: +49 202 439-19 76
zdrallek@uni-wuppertal.de

iGas GmbH
Bonner Str. 305 • 42697 Solingen
Karl-Heinz Lentz
Tel.: +49 212 88 09-33
kh.lentz@igas-engineering.de

**ITB – Institut für Innovation,
Transfer und Beratung
gemeinnützige GmbH**
Berlinstr. 107 A
55411 Bingen am Rhein
Prof. Dr. Ralf Simon
Tel.: +49 6721 98 424-25 90
simon@tsb-energie.de

Stadtwerke Radevormwald GmbH
Am Gaswerk 13
42477 Radevormwald
Christoph Richtarski
Tel.: +49 2195 91 31-0
c.richtarski@s-w-r.de

Wupperverband
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
Dirk Salomon
Tel.: +49 202 583-114
sal@wupperverband.de

**Wupperverbandsgesellschaft für
integrale Wasserwirtschaft mbH
-WiW-**
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
Dr. Gerd Kolisch
Tel.: +49 49 202 583-0
kol@wupperverband.de

BioBZ

Projektkoordinator
Clausthaler Umwelttechnik-Institut
GmbH (CUTEC-Institut)
Leibnizstr. 21+23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Michael Sievers
Tel.: +49 53 23 933-243
michael.sievers@cutec.de
Dr. Torsten Zeller
Tel.: +49 53 23 933-206
torsten.zeller@cutec.de

Verbundpartner
DVGW-Forschungsstelle am
Engler-Bunte-Institut des Karls-
ruher Instituts für Technologie (KIT)
Engler-Bunte-Ring 1
76131 Karlsruhe
Prof. Dr. Harald Horn
Tel.: +49 721 608-42581
harald.horn@kit.edu

Eisenhuth GmbH & Co. KG
Friedrich-Ebert-Str. 203
37520 Osterode am Harz
Dr. Thorsten Hickmann
Tel.: +49 5522 9067-14
t.hickmann@eisenhuth.de

**EURAWASSER Betriebsführungs-
gesellschaft mbH**
Odermarkplatz 1 • 38640 Goslar
Sabrina Lohmar
Tel.: +49 5321 33 76-63
sabrina.lohmar@eurawasser.de

**TU Carolo-Wilhelmina zu Braun-
schweig, Institut für Ökologische
und Nachhaltige Chemie**
Hagenring 30 • 38106 Braunschweig
Prof. Dr. Uwe Schröder
Tel.: +49 531 391-84 25
uwe.schroeder@tu-bs.de
Prof. Dr. Robert Kreuzig
Tel.: +49 531 391-59 61
r.kreuzig@tu-braunschweig.de

**TU Clausthal, Institut für
Chemische Verfahrenstechnik**
Leibnizstraße 17
38678 Clausthal-Zellerfeld
Prof. Dr. Ulrich Kunz
Tel.: +49 5323 72-2534
kunz@icvt.tu-clausthal.de

BioMethanol

Projektkoordinator
Albert-Ludwigs-Universität
Freiburg,
IMTEK – Institut für
Mikrosystemtechnik
Georges-Koehler-Allee 103
79110 Freiburg
Dr. Sven Kerzenmacher
Tel.: +49 761 203-732 18
sven.kerzenmacher@imtek.uni-
freiburg.de
**Institut für Anorganische
und Analytische Chemie
(Projektbearbeitung)**
Albertstr. 21 • 79104 Freiburg
Prof. Dr. Ingo Krossing
Tel.: +49 761 203-61 22
krossing@uni-freiburg.de

Verbundpartner
Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme, Wasserstoff-
erzeugung und -speicherung
Heidenhofstraße 2 • 79110 Freiburg
Dr. Achim Schaadt
Tel.: +49 761 4588-5428
achim.schaadt@ise.fraunhofer.de

**Karlsruher Institut für Technologie
(KIT), Institut für angewandte
Biowissenschaften**
Fritz-Haber-Weg 2 • 76131 Karlsruhe
Prof. Dr. Johannes Gescher
Tel.: +49 721 608-419 40
johannes.gescher@kit.edu

Solvay Acetow GmbH
Engesserstr. 8
79108 Freiburg im Breisgau
Dr. Dirk Hölter
Tel.: +49 761 511-35 98
dirk.hoelter@solvay.com

E-Klär

Projektkoordinator

RWTH Aachen, Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Templergraben 55 • 52062 Aachen
Prof. Dr. Johannes Pinnekamp
Tel.: +49 241 80-25207
pinnekamp@isa.rwth-aachen.de

Verbundpartner

CAMBI Deutschland GmbH

Schraderstr. 37 • 67227 Frankenthal
Henrik Kruchen
Tel.: +49 151 24024845
henrik.kruchen@cambi.no

DHI-WASY GmbH

Max-Planck-Straße 6 • 28857 Syke
Arne Hammrich
Tel.: +49 4242 163816
arh@dhigroup.com

E&P Anlagenbau GmbH

Mariannenstr. 38 • 12209 Berlin
Kerstin Zacherl-John
Tel.: +49 8122 8471879
ep.kerstin.john@t-online.de

Huber SE

Industriepark Erasbach A1
92334 Berching
Dr. Stefania Paris
Tel.: +49 8462 201-744
ps@huber.de

Leibniz Universität Hannover, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Welfengarten 1 • 30167 Hannover
Prof. Dr. Karl-Heinz Rosenwinkel
Tel.: +49 511 762-2276
rosenwinkel@isah.uni-hannover.de

Ruhrverband

Postfach 10 32 42 • 45128 Essen
Dr. Dieter Thöle
Tel.: +49 201 178-2546
dth@ruhrverband.de

Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Pockelsstr. 14 • 38106 Braunschweig
Prof. Dr. Norbert Dichtl
Tel.: +49 531 391-79 35
n.dichtl@tu-braunschweig.de

Universität Leipzig, Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement

Grimmaische Straße 12
04109 Leipzig
Prof. Dr. Robert Holländer
Tel.: +49 341 973-3870
hollaender@wifa.uni-leipzig.de

Xylem Services GmbH

Boschstr. 4-14 • 32051 Herford
Arne Wieland
Tel.: +49 5221 930 129
arne.wieland@xyleminc.com

ENERWA

Projektkoordinator
**IWW Rheinisch-Westfälisches
Institut für Wasserforschung
gemeinnützige GmbH**
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Dr. Wolf Merkel
Tel.: +49 208 403 03-100
w.merkel@iww-online.de
Anja Rohn
Tel.: +49 208 403 03-384
a.rohn@iww-online.de

Verbundpartner
Aggerverband
Sonnenstr. 40 • 51645 Gummersbach
Dieter Wonka
Tel.: +49 22 61 36-350
won@aggerverband.de

**Bergische Universität Wuppertal
Forschungsstelle Bürgerbeteiligung**
Gaußstr. 20 • 42119 Wuppertal
Prof. Dr. Hans-Joachim Lietzmann
Tel.: +49 202 257 95 40
hans.j.lietzmann@uni-wuppertal.de

**enwor – energie &
wasser vor ort GmbH**
Kaiserstr. 86 • 52134 Herzogenrath
Stephan Hunze
Tel.: +49 24 07 579-14 00
stephan.hunze@enwor-vorort.de

**Forschungsinstitut für Wasser-
und Abfallwirtschaft an der RWTH
Aachen e. V.**
Kackertstr. 15-17 • 52072 Aachen
Dr. Friedrich-Wilhelm Bolle
Tel.: +49 241 80-268 27
bolle@fiw.rwth-aachen.de

**Rechenzentrum für Versorgungs-
netze Wehr GmbH**
Wiesenstr. 21 • 40549 Düsseldorf
Dr. Dirk König
Tel.: +49 211 60 12 73-18
d.koenig@rzvn.de

**RWTH Aachen, Institut für
Elektrische Anlagen und
Energiewirtschaft**
Schinkelstraße 6 • 52062 Aachen
Daniel Schweer
Tel.: +49 241 80-97659
daniel.schweer@iaew.rwth-aachen.de

**RWW Rheinisch-Westfälische
Wasserwerksgesellschaft mbH**
Am Schloß Broich 1-3
5479 Mülheim an der Ruhr
Ronald Roepke
Tel.: +49 208 44 33-738
ronald.roepke@rwe.com

SYDRO CONSULT GmbH
Mathildenplatz 8
64283 Darmstadt
Dr. Hubert Lohr
Tel.: +49 6151 367-367
h.lohr@sydro.de

**Universität Duisburg-Essen,
Abteilung Aquatische Ökologie**
Universitätsstr. 5 • 45141 Essen
Prof. Dr. Bernd Sures
Tel.: +49 201 183-26 17
bernd.sures@uni-due.de

**WAG Wassergewinnungs-
und aufbereitungsgesellschaft
Nordeifel mbH**
Am Filterwerk • 52159 Roetgen
Walter Dautzenberg
Tel.: +49 2471 17-61 00
walter.dautzenberg@enwor-vorort.de

Wupperverband
Untere Lichtenplatzer Str. 100
42289 Wuppertal
Dr. Torsten Frank
Tel.: +49 202 583-332
tfkn@wupperverband.de

EnWasser

Projektkoordinator
**Fraunhofer-Institut für Wind-
energie und Energiesystemtechnik**
Königstor 59 • 34119 Kassel
Patrick Hochloff
Tel.: +49 561 72 94-214
patrick.hochloff@iwes.fraunhofer.de

Verbundpartner
Capgemini Deutschland GmbH
Potsdamer Platz 5 • 10785 Berlin
Dr. Jörg Katzfey
Tel.: +49 221 91 26 44-482
joerg.katzfey@capgemini.com

IHS Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 10
70550 Stuttgart
Dr. Albert Ruprecht
Tel.: +49 711 685-632 56
ruprecht@ihs.uni-stuttgart.de

**Zweckverband Bodensee-
Wasserversorgung**
Hauptstr. 163 • 70563 Stuttgart
Matthias Weiß
Tel.: +49 711 973-22 18
matthias.weiss@zvbvw.de

ESiTI

Projektkoordinator

Technische Universität Darmstadt,
Institut IWAR

Franziska-Braun-Str. 7
64287 Darmstadt

Prof. Dr. Peter Cornel
p.cornel@iwar.tu-darmstadt.de

Dr. Christian Schaum
Tel.: +49 6151 16 20319

c.schaum@iwar.tu-darmstadt.de
Prof. Dr. Liselotte Schebek

(Projektbearbeitung)
Tel.: +49 6151 16-31 41

l.schebek@iwar.tu-darmstadt.de

Verbundpartner

**Clausthaler Umwelttechnik-Institut
GmbH (CUTEC-Institut)**

Leibnizstr. 21+23
38678 Clausthal-Zellerfeld

Prof. Dr. Michael Sievers
Tel.: +49 5323 933-243

michael.sievers@cutec.de

Dr. Born - Dr. Ermel GmbH

Finienweg 7 • 28832 Achim
Jörn Franck

Tel.: +49 4202 758-0
jf@born-ermel.de

EnviroChemie GmbH

In den Leppsteinswiesen 9
64380 Roßdorf

Dr. Markus Engelhart
Tel.: +49 6154 69 98-57

markus.engelhart@envirochemie.com

Fraunhofer-Institut für Grenz- flächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Nobelstraße 12 • 70569 Stuttgart

Dr. Ursula Schließmann
Tel.: +49711 970-42 22

ursula.schliessmann@igb.
fraunhofer.de

ENTEKA Abwasserreinigung GmbH & Co. KG

Frankfurter Str. 110
64293 Darmstadt

Dr. Julia Klinger
Tel.: +49 6151 701-40 90
abwasser@entega.ag

inter 3 GmbH Institut für Ressourcen- management

Otto-Suhr-Allee 59 • 10585 Berlin

Dr. Shahrooz Mohajeri
Tel.: +49 30 34 34 74-40

mohajeri@inter3.de

bluemove Consulting gmbh

Kellerbachstraße 8 • 82335 Berg

Arthur Dornburg

Tel.: +49 175 2232144
dornburg@bluemove-consulting.de

EWave

Projektkoordinator

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Cauerstraße 11 • 91058 Erlangen
Prof. Dr. Alexander Martin

Tel.: +49 9131 85-67163
alexander.martin@math.uni-
erlangen.de

Verbundpartner

Bilfinger GreyLogix aqua GmbH

Heidenkampsweg 101
20097 Hamburg

Olaf Kreamsier
Tel.: +49 4023 533 39-91

o.kreamsier@greylogix.de

Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Fachbereich Elektrotechnik, Maschinenbau und Technik- journalismus

Grantham-Allee 20

53757 Sankt Augustin

Prof. Dr. Gerd Steinebach

Tel.: +49 2241 865-330

gerd.steinebach@h-brs.de

RWW Rheinisch-Westfälische Was- serwerksgesellschaft mbH

Am Schloß Broich 1-3

45479 Mülheim an der Ruhr

Ronald Roepke

Tel.: +49 208 4433-738

ronald.roepke@rwe.com

Dr. Michael Plath

Tel.: +49 208 4433-629

michael.plath@rwe.com

Siemens AG, Industry Sector

Gleiwitzer Str. 555

90475 Nürnberg

Dr. Andreas Pirsing

Tel.: +49 911 895-71 07

andreas.pirsing@siemens.com

Technische Universität Darmstadt

Dolivostr. 15 • 64293 Darmstadt

Prof. Dr. Jens Lang

Tel.: +49 6151 16-2389

lang@mathematik.tu-darmstadt.de

EWID

Projektkoordinator

Universität der Bundeswehr
München, Institut für Wasser-
wesen, Professur für Siedlungswas-
serwirtschaft und Abfalltechnik

Werner-Heisenberg-Weg 39
85579 Neubiberg

Prof. Dr. F. Wolfgang Günthert

Tel.: +49 89 6004-21 56

wolfgang.guenthert@unibw.de

Frank Krönlein

Tel.: +49 89 6004-26 16

frank.kroenlein@unibw.de

Salomé Parra

Tel.: +49 89 6004-22 31

salome.parra@unibw.de

Verbundpartner

**AWA-Ammersee Wasser-
und Abwasserbetriebe gKU**

Mitterweg 1 • 82211 Herrsching
Thomas Tinnes

Tel.: +49 8152 91 83-503

tinnes@awa-ammersee.de

**Dr. Krätzig Ingenieurgesellschaft
mbH**

Süsterfeldstr. 81 • 52072 Aachen

Dr. Thomas Krätzig

Tel.: +49 241 88 973-0

infoline@dr-kraetzig.com

KSB Aktiengesellschaft

Johann-Klein-Str. 9

67227 Frankenthal

Traugott Ulrich

Tel.: +49 6233 86-29 63

traugott.ulrich@ksb.com

Schraml GmbH

Herxheimer Str. 7

83620 Feldkirchen-Westerham

Dr. Stephanie Schraml

Tel.: +49 8062 70 71-17

stephanie.schraml@schraml.de

**Wasserversorgungszweckverband
Perlenbach**

Am Handwerkerzentrum 31

52156 Monschau

Derk Buchsteiner

Tel.: +49 2472 9916-10

derk.buchsteiner@wasserwerk-
perlenbach.de

H₂Opt

Projektkoordinator

Technische Universität Kaisers-
lautern, Lehrstuhl für Strömungs-
mechanik und Strömungsmaschinen

Gottlieb-Daimler-Str. 47

67663 Kaiserslautern

Prof. Dr. Martin Böhle

Tel.: +49 631 205-27 60

martin.boehle@mv.uni-kl.de

Dr. Harald Roclawski

Tel.: +49 631 205-43 08

roclawsk@mv.uni-kl.de

Verbundpartner

EWR Netz GmbH

Klosterstr. 16 • 67547 Worms

Wolfgang Hausen

Tel.: +49 6241 848-530

hausen@ewr.de

**Fraunhofer-Institut für Techno-
und Wirtschaftsmathematik**

Fraunhofer Platz 1

67663 Kaiserslautern

Dr. Michael Bortz

Tel.: +49 631 316 00-45 32

michael.bortz@itwm.fraunhofer.de

**Obermeyer Planen + Beraten
GmbH**

Brüsseler Straße 5

67657 Kaiserslautern

Kasimir Mazur

Tel.: +49 631 303 29-177

kasimir.mazur@opb.de

**SWK Stadtwerke Kaiserslautern
Versorgungs-AG**

Karcherstraße 28

67655 Kaiserslautern

Hilmar Württemberger

Tel.: +49 631 80 01-40 37

hilmar.wuerttemberger@swk-kl.de

KEStro

Projektkoordinator

DECHEMA Forschungsinstitut

Theodor-Heuss-Allee 25

60486 Frankfurt

Dr. Klaus-Michael Mangold

Tel.: +49 69 75 64-327

mangold@dechema.de

Verbundpartner

Abwasserverband Braunschweig

Celler Str. 22 • 38176 Wendeburg

Bernhard Teiser

Tel.: +49 5303 509-11

bernhard.teiser@abwasserverband-
bs.de

CONDIAS GmbH

Fraunhoferstr. 1 b • 25524 Itzehoe

Dr. Thorsten Matthee

Tel.: +49 4821 804 087-0

matthee@condias.de

**DVGW, Technologiezentrum
Wasser TZW**

Karlsruher Straße 84

76139 Karlsruhe

Prof. Dr. Andreas Tiehm

Tel.: +49 721 96 78-137

andreas.tiehm@tzw.de

**WaCo Wassertechnik Consult
GmbH**

Grottenstr. 3 • 22605 Hamburg

Dr. Oliver Debus

Tel.: +49 40 822 770-0

waco@wassertech.de

KRN-Mephrec

Projektkoordinator

**Klärschlammverwertung Region
Nürnberg GmbH**
Adolf-Braun-Str. 33
90429 Nürnberg
Burkard Hagspiel
Tel.: +49 911 231-45 20
burkard.hagspiel@stadt.nuernberg.de

Verbundpartner

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg
Sonja Wiesgickl
Tel.: +49 9661 9084-423
sonja.wiesgickl@umsicht.fraunhofer.de

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH

Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg
Horst Fehrenbach
Tel.: + 49 6221 4767-16
horst.fehrenbach@ifeu.de

INNOVATHERM Gesellschaft zur innovativen Nutzung von Brenn- stoffen mbH

Frydagstraße 47
44536 Lünen
Ute Blöthe
Tel.: +49 2306 92823-23
ub@innovatherm-gmbh.de

RWTH Aachen University, Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Templergraben 55
52062 Aachen
Prof. Dr. Johannes Pinnekamp
Tel.: +49 241 80-25207
isa@isa.rwth-aachen.de

Baumgarte Boiler Systems GmbH

Senner Str. 115
33647 Bielefeld
Gerald Gruener
Tel.: +49 521 9406-168
Ggruener@baumgarte.com

**Universität der Bundeswehr München,
Institut für Wasserwesen, Siedlungs-
wasserwirtschaft und Abfalltechnik**
Werner-Heisenberg-Weg 39
85579 Neubiberg
Prof. Dr. F. Wolfgang Günthert
Tel.: + 49 89 6004-2156
wolfgang.guenthert@unibw.de

Impressum

Herausgeber:

DWA

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Theodor-Heuss-Allee 17 • 53773 Hennef

Tel.: +49 2242 872-333 • Fax: +49 2242 872-100

info@dwa.de • www.dwa.de

Redaktion:

ERWASNET – Vernetzungs- und Transfervorhaben für die BMBF-Fördermaßnahme

„Zukunftsfähige Technologien und Konzepte für eine energieeffiziente und ressourcenschonende Wasserwirtschaft (ERWAS)“

Fotonachweise:

Titel v. l. o.: TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH; tan4ikk, fotolia.de; pixelio.de, Foto: Rainer Sturm

v. l. u.: TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH; EWID; TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH;
TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH

Innen: Innen: S. 4: Torsten Fiedler (Stadtentwässerung Dresden GmbH); S. 8 oben: TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Foto: Maren Schröder; S. 8 unten: DWA, Rainer Berg; S. 14 oben: TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Foto: Dietmar Loch; S. 14 unten: Architektur-Bildarchiv/Thomas Robbin; S. 40 oben: TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft mbH, Foto: Jan Mauriz Kaub; S. 40 unten: fotolia; Bilder QT/Verbünde: jeweilige Projektpartner

Layout:

DWA, Hennef

Druck:

medienHaus Plump GmbH • Rolandsecker Weg 33 • 53619 Rheinbreitbach

Bezug über:

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

Download: www.bmbf.nawam-erwas.de

Beiträge:

Koordinatoren der ERWAS-Verbundprojekte,

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Vernetzungs- und Transfervorhabens ERWASNET

Ansprechpartner:

Ansprechpartner beim BMBF:

Dr. Helmut Löwe – Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Referat 724 – Ressourcen und Nachhaltigkeit • 53170 Bonn

Tel.: +49 228 9957-2110 • helmut.loewe@bmbf.bund.de

Ansprechpartner beim Projektträger:

Dr. Thomas Deppe – Projektträgerschaft Ressourcen und Nachhaltigkeit

Projektträger Karlsruhe, Wassertechnologie und Entsorgung

Karlsruher Institut für Technologie, Außenstelle Dresden

Hallwachsstr. 3 • 01069 Dresden

Tel.: +49 351 463-31443 • thomas.deppe@kit.edu

Auflage:

1. Auflage, Februar 2016

