

KLÄRANLAGEN – IDEAL FÜR POWER-TO-GAS

SWISSPOWER IDENTIFIZIERT 100 KLÄRANLAGEN IN DER NÄHE VON GASNETZEN

Eine von Swisspower publizierte Studie zeigt die Energieeffizienz- und CO₂-Einsparpotenziale sowie die Wirtschaftlichkeit bei der Verstromung und Einspeisung von Klärgas ins Erdgasnetz auf. Das Studienergebnis dokumentiert, dass in mindestens 100 Schweizer Kläranlagen mit einer Kapazität von grösser als 30 000 Einwohnergleichwerten die Einspeisung von Klärgas mindestens eine gleichwertige Alternative zur heute weit verbreiteten Verstromung darstellt. Kläranlagen gehören somit zu den geeignetsten Standorten für Power-to-Gas-Anwendungen beim Umbau des Energiesystems.

Thomas Peyer*, Swisspower AG; René Nijssen, Durena AG; Thomas Heller, Monika Reuter, MicroEnergy GmbH, Viessmann Gruppe

RÉSUMÉ

STATIONS D'ÉPURATION – IDÉALES POUR UTILISER LE POWER-TO-GAS

La pratique courante aujourd'hui est d'utiliser les gaz d'épuration des stations d'épuration pour produire de l'électricité. La chaleur qui en résulte reste cependant souvent inexploitée. Or, c'est justement sur ce point que les stations d'épuration pourraient contribuer à optimiser l'efficacité énergétique et à produire des énergies renouvelables. En traitant le gaz d'épuration et en l'injectant dans le réseau de gaz, il est possible d'améliorer nettement l'efficacité énergétique. En passant par le réseau de gaz, le gaz d'épuration purifié peut également être mis à profit pour réduire le CO₂ dans les domaines de la mobilité et du chauffage. La prise en compte de cette utilisation décentralisée du biogaz injecté permet d'obtenir un bilan énergétique et de gaz à effet de serre positif.

Une utilisation cohérente des potentiels de chaleur perdue, ou la valorisation de l'ensemble des gaz d'épuration, n'est toutefois possible que par le biais d'un raccordement à un réseau de chauffage ou de gaz. Une étude de Swisspower a identifié et analysé 100 installations d'épuration appropriées. Elle a aussi évalué leur efficacité énergétique et leur potentiel de réduction du CO₂. Elle en conclut que l'injection de gaz représente une solution au moins aussi viable pour produire de l'électricité. Chacune des installations peut contribuer à la restructuration du système énergétique suisse, mais également procéder au couplage virtuel de celui-ci

STUDIE ZUR EFFIZIENZSTEIGERUNG IN KLÄRANLAGEN

Viele Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz nutzen das bei der Schlammfäulung anfallende Klärgas in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) selber und decken damit ihren Strom- und Wärmebedarf teilweise ab. Das ist heute ein etablierter Standard und leistet einen wichtigen Beitrag zur erneuerbaren Stromproduktion. Gesamthaft beträgt die Stromgewinnung aus Schweizer ARA rund 120 GWh pro Jahr. Ein Teil des Klärgases wird allerdings heute ungenutzt über die Fackel vernichtet. Auch die BHKW-Abwärme kann auf vielen ARA nicht vollständig genutzt werden. Vor diesem Hintergrund hat Swisspower eine Studie, unterstützt vom Bundesamt für Energie BFE, von den grössten Schweizer Abwasserreinigungsanlagen sowie von Schweizer Energieversorgern, zur Effizienzsteigerung in Kläranlagen mittels Einspeisung oder Verstromung des Klärgases durchgeführt.

Da der Einsatz von BHKW oder die Klärgasaufbereitung und Erdgasnetzeinspeisung aus wirtschaftlichen Gründen eine minimale Anlagengrösse erfordert, wurden in einem ersten Schritt alle Schweizer ARA mit mehr als 30 000 Einwohnergleichwerten identifiziert, in deren Standortgemeinde ein Erdgasnetzeinspeisepunkt vorhanden ist. *Figur 1* zeigt ein Energiefluss-

* Kontakt: thomas.peyer@swisspower.ch

diagramm für die so identifizierten rund 100 ARA, die Energieinputs und -outputs. Auffallend ist die grosse, ungenutzte Abwärmemenge.

Um eine nachhaltige und CO₂-arme Energienutzung zu erzielen, ist eine möglichst vollständige Verwertung der Energie aus Abwasser und Klärgas anzustreben. Das gilt vor allem auch für die Wärme, die bei der Verbrennung entsteht. Zu diesem Zweck werden in der Swispower-Studie die Verstromung (BHKW) und die Aufbereitung von Klärgas zu Biomethan mit Einspeisung ins Erdgasnetz verglichen.

DEFINITION DER SYSTEMGRENZE IST ZENTRAL

Wenn Biomethan einmal eingespeist ist, kann dieses über das bestehende Erdgasnetz dezentral in der Mobilität, zum Heizen oder in der Wärme-Kraft-Kopplung eingesetzt werden. Dezentral – also ARA-extern – werden damit andere Energieträger substituiert. Um einen ganzheitlichen Vergleich zu ermöglichen, wurden nicht nur die energetisch relevanten Prozesse in den ARA untersucht, sondern auch eine ARA-externe Nutzung modelliert. Die entsprechende Systemgrenze ist in *Figur 2* schematisch dargestellt.

Für die rund 100 untersuchten ARA wurden auf Basis von Messwerten der letzten Jahre Energiebilanzen erstellt. Für die dezentrale Nutzung wurde für alle Varianten ein gleich hoher Energiebedarf für Mobilität, Wärme und Strom angenommen. Dieser Energiebedarf aus dezentraler Nutzung wird primär durch (Überschuss-)Energie aus den ARA gedeckt. Die übersteigenden Anteile werden durch konventionelle Energieträger bereitgestellt. Darauf aufbauend wurden die Energieflüsse (Wärme, Strom usw.), welche die Systemgrenze überqueren, mit den entsprechenden Primärenergie- und Treibhausgasfaktoren gemäss KBOB¹ bewertet, bzw. in Äquivalente umgerechnet und damit vergleichbar gemacht. Die verwendeten Primärenergie- und Treibhausgasfaktoren berücksichtigen die durch die Energieanwendung vorgelagerten Verluste und umfassen den gesamten Energiebedarf bzw. die Treibhausgasemissionen für die Förderung und für den Transport der Energieträger

¹ KBOB, die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, hat Empfehlungen zur Berücksichtigung der Aspekte Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen im Baubereich herausgegeben.

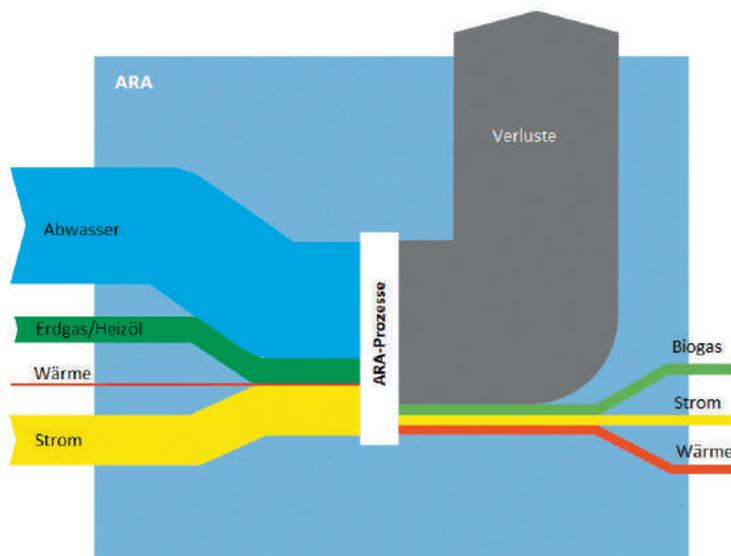


Fig. 1 Energieflüsse der 100 analysierten Kläranlagen

Flux d'énergie des 100 installations d'épuration analysées

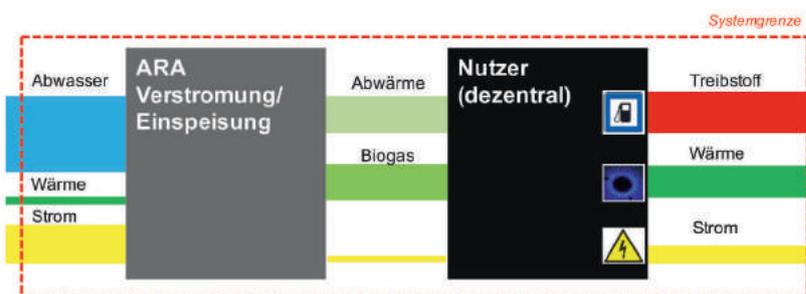


Fig. 2 Systemgrenze zum Vergleich der Verstromung oder Einspeisung von Klärgas

Limite du système pour la comparaison de la production d'électricité ou de l'injection de gaz d'épuration

von der Quelle bis zum Verbraucher. Die Bereitstellung von hochwertiger Energie (z. B. hoher Exergiegehalt von Strom) wird mit dieser Methode nicht ausgeblendet, sondern fliesst sowohl bei der Variante BHKW-Verstromung als auch bei der Einspeisung und dezentralen Nutzung in einer Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) ein.

ERGEBNISSE

Die Studie zeigt auf, dass mit der Biogaseinspeisung zwar der Primärenergiebedarf innerhalb der Systemgrenze ARA steigt, jedoch mit Einbezug der Biogasverwendung beim dezentralen, ARA-externen Nutzer die Gesamteffizienz um

10–14% gesteigert und die Treibhausgasemissionen um 18–20% gesenkt werden können (*Fig. 3*).

Setzt man den vom Bund im Rahmen der Energiestrategie 2050 postulierten Strommix ein, fallen die Primärenergie- und die Treibhausgaseinsparung sogar noch leicht höher aus (*Fig. 4*). Unabhängig davon, ob das eingespeiste Gas nur für die Mobilität, nur das Heizen oder nur in dezentralen WKK-Anlagen eingesetzt würde, schliesst die Biogaseinspeisung energetisch und bezüglich Treibhausgasen in dieser Studie besser ab.

Weil ohne BHKW keine Wärme mehr auf der ARA produziert wird, kann bei

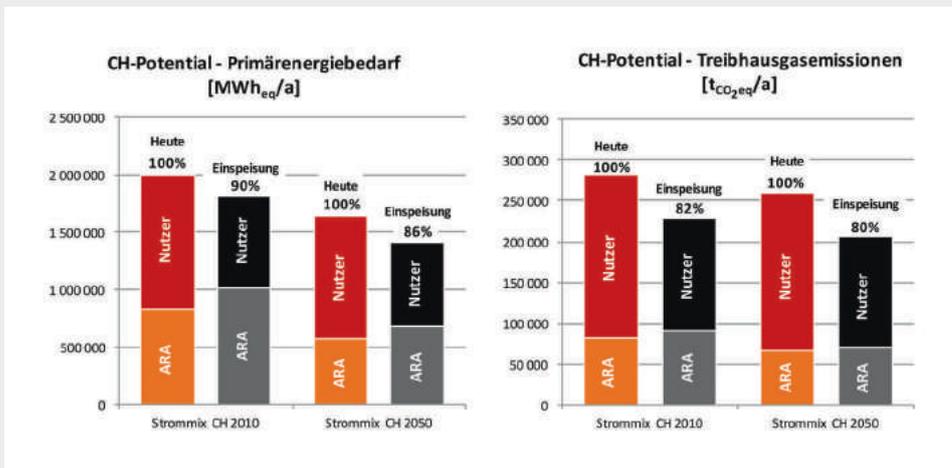


Fig. 3 Vergleich Primärenergiebedarf/Treibhausgasemissionen Verstromung (heute) oder Einspeisung der 100 ARA (Systemgrenze: ARA und dezentraler Nutzer gemäss Fig. 2)

Comparaison des besoins en énergie primaire/émissions de gaz à effet de serre, production d'électricité (aujourd'hui) ou injection des 100 STEP (limite du système: STEP et utilisateur décentralisé selon fig. 2)

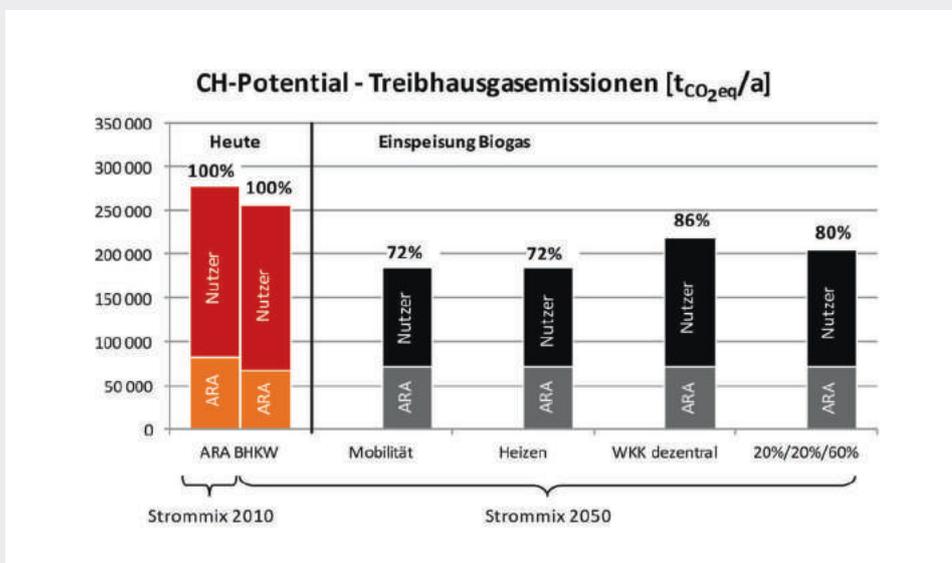


Fig. 4 Vergleich Treibhausgasemissionen Verstromung/Einspeisung mit unterschiedlichem Strommix
Comparaison émissions de gaz à effet de serre, production d'électricité/injection avec divers mélanges

einer Biogaseinspeisung die Wärme bedarfsgerecht, d.h. nicht mehr in Abhängigkeit des Klärgasanfalls, erzeugt werden. Als Wärmequellen können bereits vorhandene Abwärmepotenziale aus den Abwasserreinigungsprozessen mittels Wärmerückgewinnung (WRG) oder Abwasserwärmepumpen genutzt werden. Der entsprechende Energiebedarf für die Wärmebereitstellung aus Abwärmequellen wurde in allen Betrachtungen berücksichtigt. Die Gaseinspeisung hat gemäss der Swisspower-Studie folgende Vorteile:

- Das Klärgas wird vollständig genutzt und der Wärmebedarf der ARA kann wärmegeführt abgedeckt werden.
- Die Energieverluste von der ARA bis zum dezentralen Nutzer des Biogases werden minimiert.

- Wärmerückgewinnungspotenziale aus ARA-Prozessen können kommerziell genutzt werden, weil die Überschusswärme aus dem BHKW wegfällt.
- Substitutionseffekte des eingespeisten Klärgases generieren vor allem in der Mobilität und beim Heizen hohe Treibhausgas-Einsparpotenziale.

Der Betrieb von Gaseinspeisungen ist bereits heute ohne gesetzliche Subventionen wirtschaftlich. Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) für den Klärgasstrom soll voraussichtlich mit der geplanten Energiegesetzesrevision wegfallen. Das macht eine Gaseinspeisung aus unternehmerischer Sicht attraktiver. In der Einzelfallbeurteilung sind selbstverständlich weitere Kriterien sorgfältig einzubeziehen,

wie z. B. lokale Verwertungsmöglichkeiten, die Wirtschaftlichkeit unter unterschiedlichen Markt- und Förderszenarien oder die vorhandenen Management- und Ingenieurkapazitäten vor Ort.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Gaseinspeisung ist technisch, wirtschaftlich und ökologisch eine mindestens gleichwertige Lösung zur ARA-internen Verstromung. Mit der Anbindung der Kläranlagen an das Erdgasnetz wird die Energieverwertung flexibler.

KLÄRANLAGEN - KÜNFTIGE «BATTERIEN» AUF VERTEILNETZEBENE

Heute sind insgesamt nur zwölf Kläranlagen am Gasnetz angeschlossen. Abwasserwärme aus Kläranlagen wird nur vereinzelt genutzt, obwohl die Wärmepotenziale auf rund 7,7 TWh/a [1] geschätzt werden. Die meisten ARA sind gut im Stromnetz integriert.

Der Trend zur dezentralen Stromproduktion mittels Zubau von Photovoltaik und Windkraft sowie deren stochastischen Einspeiseverhalten wird zwangsläufig zu einem Umbau des Energiesystems führen. Die Rolle der Energiespeicherung bzw. die Bereitstellung von Regelenergien werden sowohl auf dem Höchstspannungsnetz sowie auf der Verteilnetzebene wichtiger. Kläranlagen müssen heute primär die Reinigung von Abwasser sicherstellen. Mit der Produktion von Strom haben die meisten Kläranlagen ihre Energieeffizienz steigern können. Mit der Dezentralisierung und dem steigenden Bedarf an Flexibilität im Stromnetz sind die bestehenden Kläranlagen sehr gut geeignet, um Systemdienstleistungen auf der Verteilnetzebene bereitzustellen. Mit einem Anschluss an das Gasnetz und in Kombination mit der Power-to-Gas-Technologie wird eine saisonale Energiespeicherung möglich - ein Schlüssel für eine erneuerbare Energieversorgung in der Schweiz. Kläranlagen sind «Regelbausteine» der Energienetze; sei es als Stromverbraucher (ARA-Prozess und Elektrolyse), als Gaszwischenpeicher oder zur Strom-/Wärmeerzeugung [2]. Am effektivsten können Kläranlagen durch die Anbindung an das Strom-/Gas- oder Wärmenetz mittels Methanisierung von Klärgas genutzt werden (Fig. 5). Das Klärgas kann somit mit dem

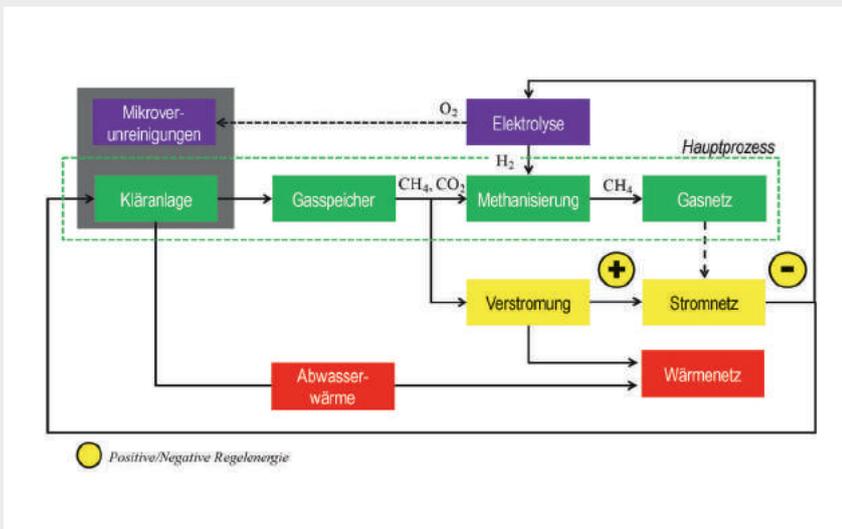


Fig. 5 Anbindung der Kläranlagen an Energienetze und Nutzung der Regelooptionen
Raccordement des stations d'épuration aux réseaux énergétiques et utilisation des options d'équilibrage

organischen CO_2 aus der Schlammfau- lung vollständig in Methan umgewandelt werden. Sauerstoff als Nebenprodukt der Elektrolyse kann zudem zur Beseitigung von Mikroverunreinigungen bei der Abwasserbehandlung verwendet werden. Mit dieser Verschachtelung von verschiedenen Energieträgern und Energienetzen – der sogenannten Netzkonvergenz bzw. Sektorenkopplung – wird eine Kläranlage zur zentralen «Schaltstelle». Es kann damit nebst der Energieeffizienzsteigerung eine Zunahme von erneuerbaren Gasen im Erdgasnetz erzielt werden. Kann in Zukunft zusätzliches CO_2 (z. B. aus Luft) dem System zugeführt werden, können auch grosse Überschüsse aus dem Stromnetz ins Gasnetz verschoben werden. Kläranlagen würden somit zu «Batterien» einer dezentralen, erneuerbaren Energieversorgung.

POWER-TO-GAS MIT KLÄRSCHLAMM

BIOLOGISCHE METHANISIERUNG

Die zur *Viessmann Gruppe* gehörende *MicrobEnergy GmbH* hat ein biologisches Methanisierungsverfahren entwickelt, bei dem mit Hilfe von Mikroorganismen Methan produziert wird (Fig. 6). Die Entwicklung dieser Technologie erfolgte in einem mehrstufigen *Upscaling*-Prozess, während dem einer Kläranlage besonderes Augenmerk geschenkt wurde. Mit einem Elektrolyseur ($30\text{ Nm}^3 \text{ H}_2/\text{h}$) und einer Begasungseinheit wird Wasserstoff über Rohrleitungssysteme direkt in den Faulturm der Kläranlage einge-

bracht. Das CO_2 stammt aus dem Klärgas und liegt gelöst im Faultschlamm vor. Der Faultschlamm wird im anaeroben Faulturm mit denjenigen methanogenen Mikroorganismen beimpft, die sich im Labormassstab als besonders geeignet erwiesen haben. Es zeigte sich, dass bei Einbringung einer Teilmenge der Wasserstoff im Faulturm tatsächlich umgesetzt wurde, und dass der Methangehalt des Produktgases signifikant anstieg. An der Anlage konnte mittlerweile in mehr als 5000 Betriebsstunden ein sicherer und stabiler Betrieb nachgewiesen werden. Das biologische Verfahren arbeitet mit dem Trägermedium Klärschlamm



Fig. 6 Biologische Methanisierung Viessmann Anlage Allendorf (Eder)
Méthanisation biologique, installation de Viessmann à Allendorf (Eder)

und zeichnet sich in seiner technischen Umsetzung vor allem durch Einfachheit und Robustheit aus.

Die vergleichsweise niedrigen Temperaturen und die geringeren Drücke machen das Verfahren wirtschaftlich interessant. Der Umwandlungsprozess von Wasserstoff zu Methan kann bei einer Betriebstemperatur von 40 bis 70 °C sehr schnell in Gang gesetzt oder abgeschaltet werden, wobei die Mikroorganismen ihren Stoffwechsel bis auf ein Minimum herunter regulieren.

Synergiepotenziale eröffnen sich bei der Integration von Power-to-Gas in Kläranlagen vor allem auch dadurch, dass lediglich geringe Investitionen und Adaptierungen an der Bestandsanlage erforderlich sind. Die Faultürme der Kläranlagen sowie andere bereits vorhandene Komponenten (z. B. Umwälzpumpen) können in die Prozessketten eingebunden werden.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass für eine Investitionsentscheidung unter Wirtschaftlichkeitsaspekten weniger die Anlageneffizienz als vielmehr die spezifischen Kosten (Franken pro Kilowatt elektrische Anschlussleistung) der schlüsselfertigen Gesamtanlage ausschlaggebend sind. Welches Betreibermodell sich bei der Power-to-Gas-Technologie durchsetzen wird, hängt von den künftigen Rahmenbedingungen ab. Die *Viessmann-Technologie* kann sowohl als Umwandlungstechnologie (Gasaufbereitung) wie auch als Energiespeicherung von überschüssigem Strom eingesetzt werden.

POWER-TO-GAS-DEMOPROJEKT IN DER SCHWEIZ

Aufgrund dieser Erkenntnisse sind *Swisspower* und die *Viessmann Gruppe* eine Kooperation eingegangen und beabsichtigen, zusammen mit Schweizer Energieversorgern und Kläranlagenbetreibern eine industriell nutzbare Power-to-Gas-Anlage im Leistungsbereich von 1 MW_e Elektrolyseleistung bzw. etwa 140-200 m³/h Klärgas zu bauen. Mit den heutigen energiewirtschaftlichen Randbedingungen gibt es für Power-to-Gas-Anlagen noch keine kommerziellen Betreiber- und Geschäftsmodelle. Die zunehmende Flexibilitätsnachfrage im Stromnetz bildet für die Power-to-Gas-Technik allerdings gute Perspektiven. Die Durchsetzung von Power-to-Gas-Systemen wird von folgenden drei Schlüsselfaktoren abhängig sein:

- politische Rahmenbedingungen (z. B. Anerkennung von erneuerbaren Gasen im Gebäudereich und Treibstoffsektor, Erlass von Netzentgelten)
- Senkung der Anlagenkosten durch Standardisierung und Modularisierung
- Nutzung der Regelenergieoptionen im Einzelsystem, insbesondere die virtuelle Kopplung mehrerer Systeme

Die *Swisspower*-Stadtwerke streben im Rahmen des *Swisspower*-Masterplanes an, zunehmend erneuerbare, CO₂-neutrale und effiziente Energieprodukte in ihrem Portfolio anzubieten. Deshalb sind diese Innovationen heute zu tätigen, damit in einem Zeitraum von 10-20 Jahren ein funktionierendes Gesamtsystem einsatzbereit und etabliert sein wird.

AUSBLICK

Die Kläranlagenbetreiber müssen primär die gewässerschutzrechtlichen Anforderungen erfüllen. Im Rahmen der neuen Energie- und Klimaschutzziele des Bundes sind verstärkt Konzepte mit energiewirtschaftlichem Fokus zu entwickeln. Im Idealfall bedeutet das, dass in Zukunft Kläranlagen sowohl mit Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen als auch mit Power-to-Gas-Systemen ausgerüstet und mit Wärme- und Gasnetzen erschlossen werden

VIRTUELLE VERSCHWÄRMUNG

Das grösste Potenzial sieht *Swisspower* in der virtuellen Kopplung einzelner Systeme. Klär- und Biogasanlagen oder generell Standorte mit CO₂-Quellen bilden künftige Knotenpunkte im Schweizer Energiesystem.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Verband Fernwärme Schweiz (2014): Weissbuch Fernwärme Schweiz. www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch-wAssets/docs/Dienstleistungen/Weissbuch/BE-Weissbuch_VFS_20140312.pdf*
- [2] *Schäfer, M.; Gretzschnel, O.; Schmitt, Theo G. (2015): Die Kläranlage als Regelbaustein im Energienetz, Herausgegeben von TU Kaiserslautern. www.wwt-online.de/sites/default/files/fachartikel/wwt0615-fa-schaefer.pdf*

> SUITE DU RÉSUMÉ

par le biais d'une gestion intelligente et adaptée des données. Une fois une installation d'épuration reliée à un réseau de chaleur et de gaz, ce système peut devenir un «moteur indispensable pour les réseaux énergétiques». La demande d'énergie d'équilibrage et d'emmagasinage d'énergies renouvelables est appelée à progresser. Le Power-to-Gas est déjà utilisé dans l'industrie. Dans ce contexte, *Swisspower* et le groupe *Viessman* ont noué une coopération visant à présenter l'utilisation des technologies Power-to-Gas dans les installations d'épuration suisses à but commercial. *Viessmann* a développé pour ce faire la méthanisation biologique du gaz d'épuration ou du biogaz par hydrogène (H₂), les boues d'épuration faisant office d'agent de support. Depuis plusieurs mois, le groupe exploite l'installation à Allendorf (Eder, en Allemagne), avec une capacité de 30-50 m³/h.


solidarit'eau suisse

**Commune solidaire:
l'eau, c'est la vie. Pour les
pays en développement aussi!
Contribuez à rendre l'eau
potable accessible à tous!**

www.solidariteausuisse.ch

