

# DIE KLÄRANLAGE ALS REGELBAUSTEIN IM ENERGIENETZ

Michael Schäfer<sup>1</sup>, Theo G. Schmitt<sup>1</sup>, Markus Sinß<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Kaiserslautern, FG Siedlungswasserwirtschaft

<sup>2</sup> Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung, Bingen

Tel.: +49 631 205 4643

E-Mail: michael.schaefer@bauing.uni-kl.de

## 1. Hintergrund

Der Energiemarkt befindet sich im Umbruch. Bedingt durch den sukzessiven Ausbau der Erneuerbaren Energien (EE) werden zukünftig mehr Flexibilität, Speicherbedarf und eine Umstrukturierung des Energiesektors notwendig. 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 Überschüssen führen, welche nicht ins Stromnetz eingespeist werden können. Umgekehrt kann es zu Versorgungsengpässen kommen, die von flexiblen (erneuerbaren) Stromerzeugern ausgeglichen werden müssen. Mit steigendem Anteil dieser stark volatilen Energiequellen an der Gesamtenergieproduktion sind grundsätzliche Anpassungen der Energieversorgung verbunden. Der Bedarf an Netz- und Systemdienstleistungen, um die Stabilität und Funktionsfähigkeit der Stromnetze weiterhin effektiv zu gewährleisten, wird steigen. Kläranlagen mit anaerober Schlammbehandlung und deren Produktion an Faulgas und dessen Verstromung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) bieten mit den zugehörigen Gasspeichern hervorragende technische Voraussetzungen, um System- und Netzdienstleistungen für Verteil- (Spannungshaltung) und Übertragungsnetze (Frequenzhaltung durch Regelenergie) zur Verfügung zu stellen. Mit der Integration der in Deutschland flächendeckend vorhandenen Kläranlagen mit Schlammfaulung in ein optimiertes Flexibilitäts- und Speicherkonzept können diese einen sinnvollen Beitrag zur Energiewende leisten.

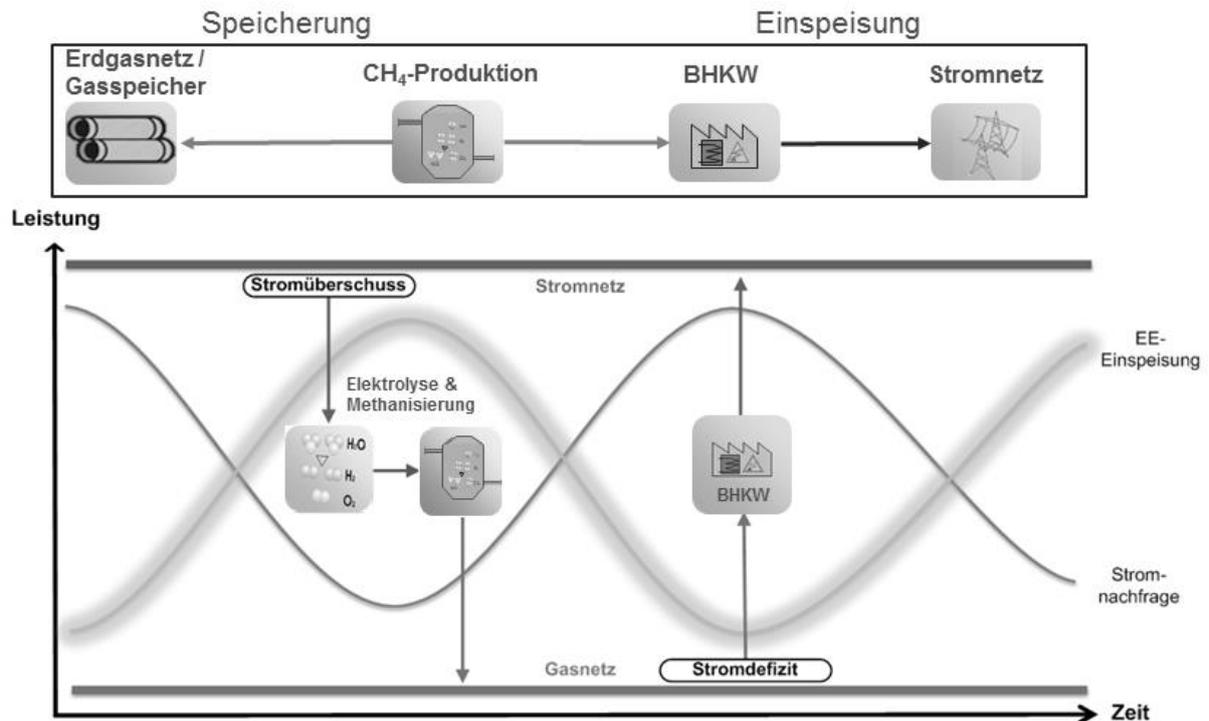


Abbildung 1: Situationsbedingte Speicherung oder Einspeisung von Energie (nach Schäfer, M. et al.; 2015)

## 2. Die Kläranlage als Flexibilitätsdienstleister

Bereits heute werden vielfach auf Kläranlagen Photovoltaik, kleine Wasserkraft- und/oder Windenergieanlagen errichtet und machen diese zu kleinen Kombinationskraftwerke von Erneuerbaren Energien. Die Verstromung des Faulgases in den BHKWs ist Standard auf Anlagen mit anaerober Schlammbehandlung und liefert bereits heute rund 1,25 TWh<sub>el</sub>/a elektrische Energie. Potenzialermittlungen haben gezeigt, dass die deutschlandweite Stromproduktion, im optimierten Bestand, theoretisch auf über 2,6 TWh<sub>el</sub>/a gesteigert werden könnte (Schäfer et al., 2015). Mit dem zusätzlichen Eintrag von Stromüberschüssen aus EE in das Energiesystem der Kläranlage können bestehende und neue Anlagenteile auf die Anforderungen des Energiemarktes abgestimmt und zur Bereitstellung von Dienstleistungen für Netzbetreiber genutzt werden. Der Einsatz der Kläranlage als Speicher und Regelgröße muss allerdings im Zusammenhang des regulären Betriebsablaufs der Kläranlage betrachtet und negative Auswirkungen auf die Reinigungsprozesse ausgeschlossen werden. Um diesem Anspruch gerecht zu werden wurde im Rahmen des Verbundprojektes „arrivee“ ein mathematisches Modell einer Versuchskläranlage erstellt und mit realen Tests überprüft und kalibriert.

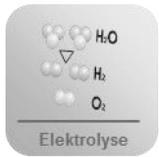
Durch das temporäre Abschalten von Verbrauchern kann neben der flexiblen Nutzung der Stromerzeugungsanlagen Flexibilität bereitgestellt werden. Bei den durchgeführten Simulationen und Abschaltversuchen von Aggregaten (zu unterschiedlichen Belastungszeiten und Abschalt Dauern) wurden keine signifikanten negativen Auswirkungen auf die Gesamtablaufwerte der Anlage festgestellt. Im Rahmen des Projektes wird ein Regelkonzept entwickelt, welches das gezielte Zu- und Abschalten von Aggregaten auf der Kläranlage zur Bereitstellung von Flexibilität ermöglicht. Die zur Verfügung stehende Flexibilität variiert im Tagesverlauf, welches aus der schwankenden Belastungssituation der Kläranlage resultiert. Die gewonnenen Erkenntnisse zur generellen Abschaltbarkeit und -dauer von Aggregattypen, unter Berücksichtigung verschiedener Belastungszeiten sind sowohl für die Bereitstellung von Regelenergie als auch für das interne Lastmanagement und zur dynamischen Energiebeschaffung nutzbar. Neben den Bestandsaggregaten können ebenfalls innovative Flexibilitätsbausteine betrachtet werden (vgl. Tabelle 1), die in unterschiedlichen Anlagenkonzepten Verwendung finden können. Die Erarbeitung und Einbindung der Kläranlage in ein Power-to-Gas (PtG) Konzept ist dabei ein zentraler Punkt. Die Nutzung von überschüssigem EE-Strom zur Herstellung von Wasserstoff ( $H_2$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) mittels Elektrolyse und der anschließenden weitergehenden Methanisierung des Faulgases (65%  $CH_4$ , 35%  $CO_2$ ) zu einem ins Erdgasnetz einspeisefähigen hochreinen Methan ( $> 98\% CH_4$ ), wird die Energieproduktion der Anlagen deutlich steigern. Mit der Möglichkeit  $H_2$  und  $CH_4$  in das Erdgasnetz einzuspeisen werden Kläranlagen, in Kombination mit PtG-Konzepten, zu einer interessanten Komponente einen Beitrag zur Bereitstellung der zukünftig benötigten Langzeitspeicher (Sternner, M. & Stadler, I.; 2014) im zukünftigen Energiesystem zu leisten.

Durch die bereits vorhandene Anlagenstruktur bieten sich auf Kläranlagen viele Synergieeffekte, so kann bspw. der im Elektrolyseur produzierte  $O_2$ , der im Regelfall ungenutzt bleibt, im Reinigungsprozess verwendet werden und den Energieverbrauch der Anlage ggf. dauerhaft senken. Weiter werden Investitionen reduziert, da die Struktur zur Gasnutzung (Verstromung, Zwischenspeicherung, Faulgas als  $CO_2$ -Quelle zur Methanisierung, usw.) bereits vorhanden ist.

Damit ergeben sich drei wesentliche Komponenten über die die Kläranlage als Flexibilitätsdienstleister agieren kann: über die Nutzung der vorhandenen BHKW-Anlagen und Zwischenspeicherung in den Gasspeichern, eine optimierte Aggregatregelung und ein abgestimmter Betrieb des Elektrolyseurs.

Die Kläranlage wird damit als flexible, flächendeckend vorhandene, dezentrale Anlage zur Versorgungssicherheit beitragen können.

**Tabelle 1: Mögliche Flexibilitätsbausteine auf Kläranlagen**

 <p><b>KWK Anlagen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexible Nutzung zur Strom- und Wärmeproduktion</li> <li>• Einbindung von redundanten KWK- und Notstromaggregaten</li> </ul>	 <p><b>Faulbehälter</b></p> <p>Konstante CH<sub>4</sub> Produktion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung des Gasertrags durch Co-Fermentation</li> <li>• Zusätzliche Methanproduktion durch Zugabe von H<sub>2</sub> möglich</li> </ul>	 <p><b>Verbraucher</b></p> <p>Gezieltes Zu- und Abschalten von Aggregaten zur Bereitstellung von Flexibilität</p>
 <p><b>Elektrolyseur</b></p> <p>Bei Energieüberschuss wird H<sub>2</sub>O zu H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> aufgespalten</p>	 <p><b>Gasspeicher</b></p> <p>Lokale Zwischenspeicherung zur effizienten Nutzung der anfallende Gase (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>)</p>	 <p><b>Biologische Methanisierung</b></p> <p>CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> werden zu CH<sub>4</sub> und H<sub>2</sub>O umgewandelt. Aufbereitung des Faulgases zu hochreinem Methan</p>
 <p><b>Druckluftspeicher</b></p> <p>Erstellung der Druckluft bei Energieüberschuss im Netz und Nutzung bei Defizit</p>	 <p><b>Batteriespeicher</b></p> <p>Laden und Entladen von Batteriespeichern je nach Netzsituation</p>	 <p><b>Power-to-Heat</b></p> <p>Umwandlung von Strom in Wärme, z.B. durch Heizstäbe</p>

Weiter werden die externen Eingriffe durch den Energiemarkt auf die Anlage und das vorgeschaltete Verteilnetz simuliert, überprüft und bewertet. Auf Verteilnetzebene muss die individuelle Situation betrachtet werden, generelle Einschätzungen lassen sich dabei nur schwer ableiten. Für das Modellgebiet lässt

sich allerdings festhalten, dass die Flexibilität der Kläranlage Verletzungen des Spannungsbandes ausgleichen oder zumindest eindämmen kann. Damit wäre ein Beitrag zur Stabilisierung des lokalen Verteilnetzes prinzipiell möglich und Eingriffe im Zuge des Netzausbaus könnten reduziert oder verhindert werden.

Um die potenzielle Flexibilität tatsächlich anbieten zu können müssen Kläranlagen aufgrund ihrer geringen (Einzel-)Leistung im Vergleich zu regulären Kraftwerken in sogenannten virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen werden und, im Falle der Regelenergie, als Verbund mit anderen Kleinkraftwerken vermarktet werden (Simon & Münch, 2013). Die Teilnahme am Regelenergiemarkt wird heute bereits auf Kläranlagen praktiziert, dabei werden vorwiegend die BHKW- und Netzersatzanlagen zur Bereitstellung von negativer Minutenreserve angeboten. Die bisherigen Tests bei der Einbindung der Modellanlage in ein virtuelles Kraftwerk zeigen, dass auch kleinere und sensiblere Anlagenteile zur Bereitstellung von Flexibilität nutzbar sind, und lassen auf eine breite Übertragbarkeit schließen. Ziel ist es ein optimiertes System zum Anbieten von Flexibilität an den bekannten sowie an zukünftigen Märkten der Energiewirtschaft bereit zu stellen.

### **3. Zusammenfassung und Ausblick**

Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass bereits heute Kläranlagen einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Stabilisierung der Netze liefern können. Eine durchgeführte Potenzialanalyse zeigt, dass mit der bereits vorhandenen Infrastruktur eine Leistung von rund 143 MW<sub>el</sub>, im optimierten Ist-Zustand bis zu 300 MW<sub>el</sub> bereitgestellt werden kann (Schäfer et al., 2015). Durch die Implementierung von innovativen Anlagenkonzepten (z.B. PtG-Konzepte) können die vorhandenen Potentiale noch deutlich gesteigert werden. Je nach Anlagenkonzept liegt die mögliche installierte Elektrolyseleistung deutlich über der entsprechenden KWK-Leistung. Zusammen mit einer optimierten Aggregatregelung wird die vorhandene Flexibilität, bereitgestellt durch die KWK-Anlagen, mit der angepassten Fahrweise des Elektrolyseurs signifikant gesteigert werden können.

Um eine breite Übertragbarkeit und Integration der Kläranlagen als Dienstleister zu erreichen, werden verschiedene Nutzungs- und Regelungskonzepte erarbeitet, um Betreibern technische Handlungsempfehlungen bereitzustellen sowie Hemmnisse und Hürden frühzeitig erkennen und umgehen zu können.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Kläranlagen interessante Bausteine eines dezentralen Energiesystems sein können. Mit der vorhandenen Infrastruktur lassen sich einfach benötigte Dienstleistungen anbieten, innovative Konzepte integrieren und eine Vielzahl von Synergien generieren. Die entwickelten Konzeptansätze ermöglichen eine angepasste Betriebsweise für Kläranlagen am Schnittpunkt zwischen Wasser- und Energiewirtschaft.

Das Verbundprojekt *arrivee* besteht aus einem Konsortium und setzt sich aus dem Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern, dem Lehrstuhl für Elektrische Energieversorgungstechnik der Bergischen Universität Wuppertal, der iGas GmbH, den Stadtwerke Radevormwald GmbH, der Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung aus Bingen, dem Wupperverband und der Kanzlei Becker-Büttner-Held zusammen. Es wird gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme ERWAS als Teil des Förderschwerpunkts Nachhaltiges Wassermanagement (Rahmenprogramm FONA). Die Autoren danken dem BMBF für die finanzielle Unterstützung.

## **Literatur**

- Schäfer, M.; Gretzschel, O.; Knerr, H.; Schmitt, T.G. (2015): "Wastewater treatment plants as system service provider for renewable energy storage and control energy in virtual power plants – a potential analysis", In: Energy Procedia 2015, Vol. 73, S. 87 – 93, Elsevier Verlag, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.566.
- Simon, R; Münch, M. (2013): „Teil I: Lastganggerechte Stromversorgung als Maßnahme bei der Umsetzung von kommunalen Klimaschutzkonzepten“, In: Chanc/ge – 100% Klimaschutz kommunal, Ausgabe 4/2013, S. 42 – 44.
- Sterner, M.; Stadler, I. (2014): „Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration“; Springer; 2014.