

Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg; Lin Zheng

Die Abwasserwirtschaft im Energiesystem

Eine weitgehende Dekarbonisierung des Energiesystems muss zügig vorangetrieben werden. Die Abwasserwirtschaft kann diese Prozesse unterstützen. Die Integration in das Energiesystem mit seinen spezifischen Randbedingungen ist mit Fragestellungen verbunden.

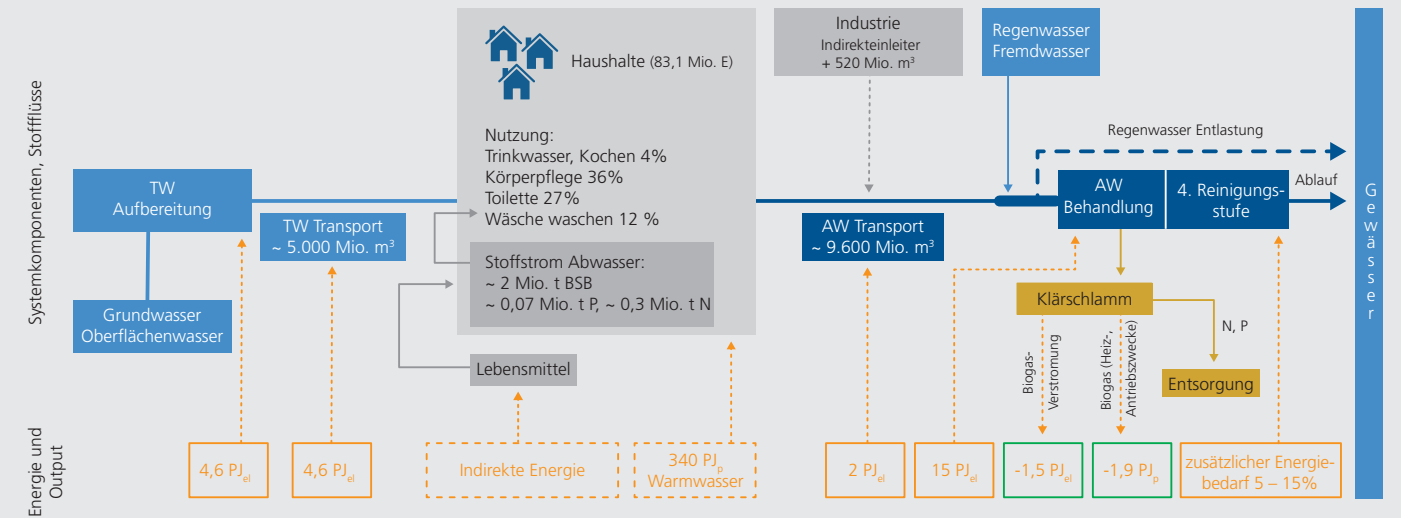


Bild 2 Schematische Darstellung der Energie- und wichtiger Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft in Deutschland pro Jahr (Stand 2020)
Quelle: Fraunhofer ISI



Bild 1 Die 100-kWp-Freiflächen-Photovoltaikanlage mit einem Batteriespeicher deckt ein Drittel des Stromverbrauchs der Kläranlage Liebenwalde (Brandenburg).
Quelle: Aerzen

Die Abwasserwirtschaft ist in der Regel der größte kommunale Energie-Einzelverbraucher. Mit steigenden Anforderungen beispielsweise an die Spurenstoffelimination oder Phosphorrückgewinnung erhöht sich der Energiebedarf. Gleichzeitig ist die Kläranlage ein Standort für Energieproduktion und Ressourcenrückgewinnung. Ziel von Optimierungen muss es sein, durch herkömmliche sowie innovative Maßnahmen den Energieverbrauch zu senken und die Energieproduktion zu steigern. Die nachfolgenden Ausführungen wurden im Rahmen eines Forschungsprojekts für das Umwelt-

bundesamt erarbeitet /1, 2/ und für diesen Artikel aktualisiert.

Energieeffizienzpotenzial auf Kläranlagen

Der im Leistungsvergleich der DWA /3/ erfasste einwohnerspezifische Gesamtstromverbrauch von Kläranlagen sank von mittleren 34 kWh/(E*a) im Jahr 2011 auf 31,2 kWh/(E*a) im Jahr 2020. Weitergehende Anforderungen wie die Spurenstoffelimination sind in diesen Zahlen bisher kaum abgebildet. Die bisherigen Erfahrungen mit der vierten Reinigungsstufe lassen

eine Steigerung des Energiebedarfs um etwa 15 % erwarten /2/.

In einer Studie /4/ wurden aus Energieanalysen Quartilswerte ermittelt und daraus der Energieverbrauch einer in allen bisher üblichen Verfahrensbereichen optimierten kommunalen Kläranlage mit einem Wert von knapp 25 kWh/(E*a) als Benchmark ermittelt. Das größte Einsparpotenzial liegt dabei in der Belüftung der biologischen Stufe.

Inzwischen gehen viele Betreiber in der Ausschöpfung der Standortpotenziale weiter. Die Kläranlage ist ein Standort für

Windkraft- und Photovoltaikanlagen (PV). Auch innovative Ansätze wie die Wasserstoffproduktion werden bereits für erste Anlagen konzipiert.

Flexibilisierung

Kläranlagen können sowohl die Stromerzeugung als auch ihren Stromverbrauch bis zu einem gewissen Grad flexibilisieren und damit zur Effizienz des Energiesystems beitragen. Optionen sind die flexible Vermarktung und der Einkauf von Strom auf dem Stromgroßhandelsmarkt, die Teilnahme am Markt für Regelenergie sowie die Bereitstellung von Flexibilität als Beitrag zur Stabilität im lokalen Verteilnetz. Für die beiden zuerst genannten Ansätze sind für die meisten Kläranlagen aufgrund ihrer geringen Größe im Gesamtsystem und fehlender Energiemarkt-Kompetenzen Zwischenhändler (Aggregatoren) notwendig.

Demgegenüber stehen zahlreiche Privilegierungen für die Eigenversorgung mit Strom. Liegen die Voraussetzungen einer Kundenanlage* vor oder ist aus sonstigen Gründen keine Netzdurchleitung erforderlich, können Netzentgelte und daran gekoppelte Abgaben sogar vollständig entfallen.

Bei wirtschaftlichen Betätigungen, die nicht unter die klassische Abwasserentsorgung fallen, ist die Frage nach ihrer rechtlichen Zulässigkeit nicht nur von dem jeweiligen Handlungsfeld, sondern auch von der kommunalrechtlichen Ausgestaltung der jewei-

ligen Bundesländer abhängig. Während die Bereitstellung von Energie in Form von Strom, Gas oder Wärme mit vergleichsweise geringen Hürden verbunden ist, bedarf die Betätigung außerhalb dieser Handlungsfelder im Einzelfall tiefergehender juristischer Prüfungen. Auch die Umlegung der Kosten ist auf Grundlage kommunaler Gebührensatzungen nicht ohne Weiteres möglich.

Gaserzeugung mit erneuerbarem Strom

Kläranlagen können als Standort für Power-to-X(PtX)-Technologien die Kopplung von Strom- und Gassektor ermöglichen. Im Folgenden werden beispielhaft die Produktion von BioCH₄ über Aminwäsche oder Membranverfahren sowie PtH₂ über die alkalische Elektrolyse auf ihre Rentabilität hin analysiert.

Für die Berechnung der Gasgestehungskosten werden Annahmen zu Verfügbarkeit und Preisen von Netzstrom sowie unterschiedliche Standortgütern für die Stromerzeugung aus PV-Anlagen berücksichtigt /1, 2, 5, 6, 7/. Für die Berechnung wird Solarernergie gemäß ihrem Potenzial und ein darüber hinaus notwendiger Bezug von Netzstrom herangezogen. Unter den getroffenen Annahmen liegen die Methangestehungskosten beim günstigeren Membranverfahren zwischen 3,1 €/ct/kWh bei aktuell erreichbaren 5.000 Volllaststunden pro Jahr und 2,8 €/ct/kWh, wenn die Volllaststunden auf 7.000 h/a gesteigert werden könnten. Darin enthalten sind bereits die Gestehungskosten von Klärgas in Höhe von ca. 2,6 €/ct/kWh /7/.

Die Wasserstoffgestehungskosten (Bild 3) sind in Süddeutschland aufgrund der höheren Stromerzeugung aus PV-Anlagen am günstigsten. Die berechneten Kosten bei 5.000 Volllaststunden pro Jahr liegen hier zwischen 5,5 und 7,7 €/kg (Strompreis 2021). Unter Berücksichtigung des aktuellen Strompreinsniveaus (BDEW-Strompreisanalyse April 2022) steigen die Wasserstoffgestehungskosten auf 8,0 bis 10,2 €/kg. Aufgrund der Gasknappheit kostet Wasserstoff aus Erdgas aktuell 6,25 €/kg /8/.

Energieeffizienz auf Kläranlagen ist ein Gebot der Abwasserverordnung, womit auch Maßnahmen im Sinne der Erreichung des Benchmarks abgedeckt sind. Anreizstrukturen können die Ausschöpfung der Klimaschutzpotenziale der Abwasserwirtschaft unterstützen. Energiepotenzialstudien, die aktuell im Rahmen der Kommunalrichtlinie gefördert werden, können hierzu Wege aufzeigen.

Perspektivisch können sich Kläranlagen mit den angeschlossenen Kanalnetzen weiter in Richtung „regionaler Ressourcenzentralen“ entwickeln, die neben ihrem Kerngeschäft einen wichtigen Beitrag zum Wasserrecycling, zur Bereitstellung erneuerbarer Energien und Systemflexibilität oder zur Rückgewinnung elementarer Wertstoffe leisten. Dazu bedarf es teilweise einer Anpassung des Rechtsrahmens und einer Technologieweiterentwicklung. Einiges lässt sich aber auch jetzt bereits realisieren.

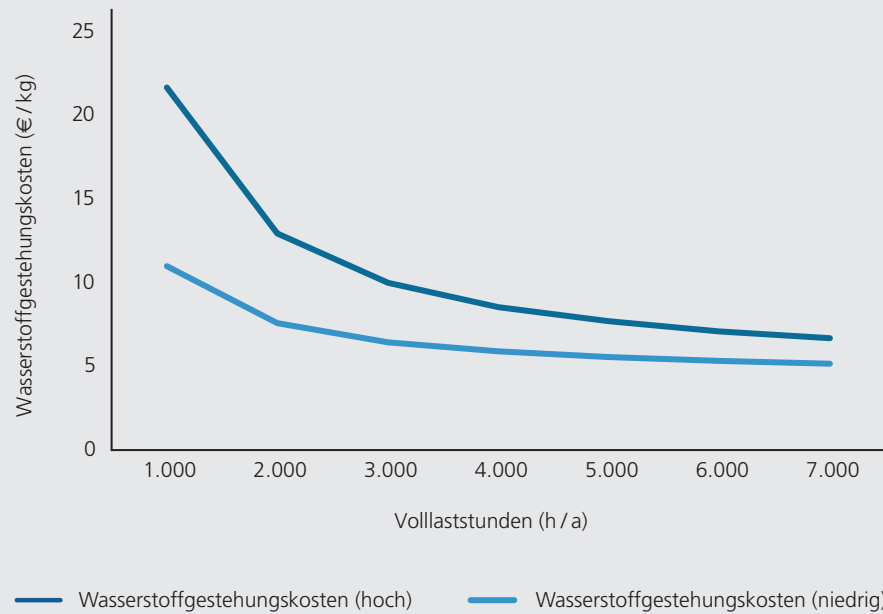


Bild 3 Wasserstoffgestehungskosten über Elektrolyse mit Strom aus PV und zusätzlichem Netzstrom
Quelle: Fraunhofer ISI

Dieser Preis lag vor dem Krieg in der Ukraine unter 4 €/kg /9/. Diese Entwicklungen können die Wettbewerbsfähigkeit der elektrolytischen Wasserstoffherzeugung erhöhen. Im Sinne der nationalen Wasserstoffstrategie mit dem Ziel der Entwicklung und Verbreitung innovativer Wasserstofftechnologien ist aktuell eine gezielte Förderung notwendig. Zur Kläranlage gehörende PtX-Anlagen gelten als Letztverbraucher im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2021 und des Energiewirtschaftsgesetzes mit der Folge, dass sie grundsätzlich alle Letztverbraucherabgaben zu zahlen haben. Zusätzlich ist die elektrolytische Herstellung von grünem Wasserstoff an Anforderungen gebunden: Die Befreiung von der EEG-Umlage gilt nur für die ersten 5.000 Volllaststunden. Auch für die Zeit nach dem grundsätzlichen

Wegfall der EEG-Umlage wird diese Zahl als Obergrenze diskutiert. Außerdem muss der Nachweis des Bezugs von grünem Strom und einer mess- und eichrechtskonformen Messung der Zeitgleichheit von Stromerzeugung und -verbrauch erbracht werden (EEG 2021). Die Zeitgleichheit kann dabei auf der eigenen Anlage (Produktion und Verbrauch) oder über ein Power-Purchase-Agreement (PPA) mit einem Grünstromanbieter hergestellt werden.

Weitere Optionen

Für die Einspeisung erneuerbar erzeugten Stroms besteht die Möglichkeit, eine Vergütung nach dem EEG 2021 oder eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz zu erhalten. Klärgas kann als erneuerbare Energie im Sinne des EEG eine Reihe von Privilegien für sich beanspruchen, auch weil es unter Anwendung der Vorschriften zur Massenbilanzierung von Gasen in das Erdgasnetz eingespeist und unter Nutzung seiner „grünen“ Eigenschaft an anderer Stelle für die Stromerzeugung vermarktet werden kann. Der Eigenverbrauch des vor Ort erzeugten erneuerbaren Stroms, z. B. aus der PV-Anlage oder Klärgasverstromung, kann aufgrund steigender Strompreise und technologischer Entwicklung (z. B. der PV-Module) ein erhebliches Potenzial haben, um Energiekosten einzusparen. Die Methanherzeugung durch $PtCH_4$ ($CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$) ist aktuell nur

bei sehr niedrigen Strompreisen wirtschaftlich. In /10/ wird ein Preis von unter 3,8 €/kWh genannt. Der Prozess der Methanisierung und Elektrolyse erfordert zudem einen kontinuierlichen Betrieb, damit es während der Off-Stunden nicht zu Klärgasverlusten kommt.

Die direkte thermochemische oder biologische Wasserstoffherzeugung aus Klärschlamm ist im Moment zwar noch Stand der Forschung, kostengünstige Verfahren könnten sich aber in naher Zukunft wirtschaftlich gestalten.

Die Bereitstellung von Wärme durch regenerative Energien gilt als wichtiger Hebel für die Wärmewende. Wärme auf Kläranlagen kann aus der Abwärme von KWK-Prozessen, aus der Klärschlamm- oder Klärgasverbrennung oder aus auf der Kläranlage erzeugtem Strom stammen. Unabhängig vom zum Teil eher geringen Wärmeüberschuss gibt es aktuell noch regulative und marktliche Hemmnisse.

Wärmerückgewinnung aus Abwasser im Kanal oder aus Grauwasser direkt im Gebäude sind etablierte Technologien, die auch unter Berücksichtigung der bisherigen Rahmenbedingungen und noch mehr vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen wirtschaftlich sein können. Innovative Ansätze sind darüber hinaus die Abwärmenutzung durch gezielte Wärmeinleitung und -verteilung über die Kanalisation und die nicht leitungsgebundene Abwärmenutzung über die Speicherung in geeigneten Materialien.

Fazit

Die kommunale Abwasserwirtschaft kann eine Rolle im Kontext regionaler Klima-



Bild 4 Demonstrationsanlage im Technologiepark Berlin-Adlershof: Die Fa. Graforce stellt hier in einem selbst entwickelten Plasmalyse-Verfahren Wasserstoff her. Dabei wird Schmutzwasser, das beispielsweise bei Produktionsprozessen in Biogas-, Klär- oder Industrieanlagen anfällt, mit Hilfe von elektrischem Strom in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten – ähnlich der Elektrolyse.
Quelle: Graforce

schutzziele, Regelenergiesysteme und der grundsätzlichen Versorgung mit erneuerbaren Energien übernehmen. Kläranlagen bieten aufgrund ihrer infrastrukturellen Anbindung und technischen Ausstattung

gute Voraussetzungen für die Einbindung innovativer Technologien.
■ Dr.-Ing. Jutta Niederste-Hollenberg, Lin Zheng
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Competence Center Nachhaltigkeit und Infrastruktursysteme
jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de
www.isi.fraunhofer.de

Literatur:

<p>/1/ Niederste-Hollenberg, J.; Schirmer, G.; Borger, J.; Winkler, J.; Zheng, L.; Fritz, M.; Hillenbrand, T.; Kolisch, G. (2020): Die Potenziale der Energieeinsparung in der Abwasserwirtschaft. In: Ökologisches Wirtschaften (2020), Nr. 3, S.47–50; ISSN: 1430-8800</p> <p>/2/ Niederste-Hollenberg, J.; Schirmer, G.; Borger, J.; Winkler, J.; Zheng, L.; Fritz, M.; Hillenbrand, T.; Kolisch, G. (2021): Klimaschutz- und Energieeffizienzpotenziale in der Abwasserwirtschaft – aktueller Stand und Perspektiven. Umweltbundesamt UBA Texte 50/2021; ISSN 1862-4804</p> <p>/3/ DWA (2020): DWA Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Online unter https://de.dwa.de/de/themen-kläranlagen.html, zuletzt abgerufen am 09.06.22</p>	<p>/4/ Gasse, J. et al. (2017): Energieverbrauch von Teilprozessen auf kommunalen Kläranlagen. In: Korrespondenz Abwasser, Jg. 64, Heft 9, S. 802–808</p> <p>/5/ IRENA (2021): Green hydrogen supply – A guide to policy making. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-344-1</p> <p>/6/ Kost, C.; Shammugam, S.; Fluri, V.; Peper, D.; Memar, A. D.; Schlegl, T. (2021): Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. Fraunhofer ISE, Freiburg</p> <p>/7/ Hoffstede, U.; Beil, M.; Beyrich W.; Hahn, H.; Kasten, J.; Krautkremer, B.; Stelzer, M. (2019): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz – Teilvorhaben II a: Biomasse – Endbericht, Fraunhofer IEE, Kassel</p> <p>/8/ Göbelbecker, J. (2022): Was kostet Wasserstoff jetzt und in Zukunft? Online unter www.chemietechnik.de/energie-utilities/wasserstoff/was-kostet-wasserstoff-</p>	<p>jetzt-und-in-zukunft-338.html, zuletzt abgerufen am 09.06.22</p> <p>/9/ Glenk, G.; Reichelstein, S. (2019): Economics of converting renewable power to hydrogen. In: Nature Energy, Vol 4, March 2019, S. 216–222</p> <p>/10/ Collect, P.; Flottes, E.; Favre, A.; Raynal, L.; Pierre, H.; Capela, S.; Peregrina, C. (2017): Techno-economic and Life Cycle Assessment of methane production via biogas upgrading and power to gas technology, Applied Energy 192, France, S. 282–295</p> <p>/11/ BMWK: Verordnung zur Umsetzung des EEG 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften. Online unter www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/V/verordnung-zur-umsetzung-des-ee-2021-und-zur-aenderung-weitererenergierichtlicher-vorschriften.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt abgerufen am 09.06.22</p>
--	--	--

Weiterführende Links:

Innovative Abwärmenutzung durch gezielte Wärmeverteilung über die Kanalisation (InnoA2):
www.isi.fraunhofer.de/de/competence-center/nachhaltigkeit-infrastruktursysteme/projekte/inno_a2.html

Förderung von Energiepotenzialstudien:
www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie

PERFORMANCE³ - THE NEW GENERATION

DIE INNOVATIVEN DREHKOLBEN-, SCHRAUBEN- UND TURBO-GEBLÄSE

- ✓ Bis zu 30% Effizienzsteigerung
- ✓ Bis zu 40% CO₂-Reduzierung
- ✓ Amortisierung: weniger als 2 Jahre



LET'S TALK

Markus Leidinger, Application Manager
Phone: +49 (0) 175 9335602
E-Mail: markus.leidinger@aerzen.com
Web: www.aerzen.com

