

## Energieeffizienz und Klimaschutz

# Die Potenziale der Energieeinsparung in der Abwasserwirtschaft

Welche Potenziale birgt die Abwasserwirtschaft im Sinne der Klimaschutzziele? Und welche rechtlichen Rahmenbedingungen sind dabei zu berücksichtigen? Durch innovative Ansätze sowie die Einbindung in den Energiemarkt können erhebliche Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden. Von Jutta Niederste-Hollenberg, Gitta Schirmer, Julia Borger, Jenny Winkler, Lin Zheng, Markus Fritz, Thomas Hillenbrand und Gerd Kolisch

## 1 Einleitung

Im Kontext des *Klimaschutzplans 2050* mit seinen weitreichenden klima- und energiepolitischen Zielsetzungen ist die öffentliche Abwasserwirtschaft ein wichtiges kommunales Handlungsfeld. Sie ist in der Regel der größte kommunale Energie-Einzelverbraucher, gleichzeitig wird auf Kläranlagen Faulgas beispielsweise in Blockheizkraftwerken genutzt. Ziel von Optimierungen muss es daher sein, durch herkömmliche und innovative Maßnahmen den Energieverbrauch signifikant zu senken und die Energieproduktion zu steigern. Daneben gilt es, Kläranlagen als möglichen Partner mit der vorgelagerten Energieinfrastruktur zu vernetzen und hieraus mögliche Synergien zu nutzen. In dem Projekt wurden zukünftige Möglichkeiten und innovative Lösungen untersucht.

Der Energieverbrauch ist seit über 20 Jahren im Fokus der Betreiber kommunaler Kläranlagen. In diversen Leitfäden einzelner Bundesländer wurde das Vorgehen zur Ermittlung und zur Optimierung des Energieverbrauchs detailliert beschrieben. Mit dem Arbeitsblatt A 216 (DWA 2015) der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) liegt ein standardisiertes Verfahren zur Bewertung des Energieverbrauchs kommunaler Kläranlagen auf Basis der mittleren organischen Belastung (gemessen als CSB = chemischer Sauerstoffbedarf) vor. Auf einzelnen Kläranlagen werden in den hiernach durchgeführten Energieanalysen regelmäßig Einsparpotenziale in Höhe von etwa 20–25 % des Gesamtstromverbrauchs erkannt, die Entwicklung des Stromverbrauchs spiegelt diese mögliche Reduktion jedoch nicht wider. Der im Leistungsvergleich der DWA erfasste spezifische Gesamtverbrauch sank von 34 kWh/(E·a) im Jahr 2011 auf 31,8 kWh/(E·a) im Jahr 2017 (DWA 2017). Das entspricht deutschlandweit einer mittleren Abnahme von 1,1 % pro Jahr. Die Gründe für die nur geringen Verbesserungen sind vielfältig, unter anderem nimmt eine vollständige Umset-

zung erkannter Optimierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung von Austauschzyklen in der Maschinen- und Elektrotechnik etwa zehn Jahre in Anspruch.

Der Einfluss einer 4. Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination ist in diesen Zahlen aufgrund der noch geringen Anzahl technischer Anlagen nicht erkennbar. Nach ersten Erfahrungen mit den bisherigen Anlagen zur Spurenstoffelimination weisen die Strombedarfe, bezogen auf die Abwassermenge, je nach Verfahren eine hohe Spannweite auf: von 0,02 kWh/m<sup>3</sup> bei Pulveraktivkohlefiltration bis zu 0,2 kWh/m<sup>3</sup> bei einer Ozonierung. Bei einer flächigen Einführung vierter Reinigungsstufen wäre mit einer Steigerung des derzeitigen Strombedarfs um etwa 15 % zu rechnen. Gegenüber dem spezifischen Gesamtverbrauch des DWA-Leistungsvergleichs weisen Energieanalysen nach dem DWA-Arbeitsblatt A 216 einen höheren Detaillierungsgrad auf und ermöglichen die Ableitung von Benchmark-Werten. Die im Rahmen einer Energiepotenzialstudie für Baden-Württemberg aus durchgeführten Energieanalysen ermittelten Quartilswerte (Gasse et al., 2017) ergaben als Benchmark beziehungsweise Energieverbrauch einer in allen Verfahrensbereichen optimierten kommunalen Kläranlage einen Wert von knapp 25 kWh/(E·a). Dieser unterschreitet den Mittelwert gemäß DWA-Leistungsvergleich 2017 um rund 20 % und zeigt das bestehende Optimierungspotenzial auf. Die für eine Verbrauchsoptimierung relevanten Teilprozesse sind Hebewerk, Belüftung, Umwälzung, Rücklaufschlammförderung, Rezirkulation, Schlammfäulung und -entwässerung. Sie decken rund 80 % des gesamten Stromverbrauchs der Kläranlage ab. Das mit Abstand höchste Einsparpotenzial liegt bei der Belüftung, die mit der heute verfügbaren Technik einen spezifischen Verbrauchswert von 10 kWh/(E·a) beziehungsweise 40 % des Gesamtverbrauchs der optimierten Kläranlage erreicht. Ergänzend zu dem heute auf Basis des CSB bewerteten Energieverbrauchs sollten auf kommunalen Kläranlagen weitere Energiekennzahlen regelmäßig ermittelt werden. Energieanalysen sollten generell dynamisiert werden, um mögliche Effizienzpotenziale zu identifizieren und die Wirksamkeit ausgeführter Maßnahmen nachzuweisen. Hierfür sind weiterführende Kennzahlen zu entwickeln, die auch den Stoffumsatz, zum Beispiel auf Basis des Parameters CSB, berücksichtigen.

## 2 Innovative Konzepte

Seit einigen Jahren werden in der Forschung vermehrt Anstrengungen unternommen, die Potenziale der Abwasserwirtschaft für die Ziele der Energiewende nutzbar zu machen. Da-

bei ist die Integration anderer Sektoren in das Energiesystem mit seinen spezifischen Randbedingungen mit besonderen Fragestellungen verbunden. Das Energiesystem unterliegt derzeit einem tiefgreifenden Wandel, insbesondere mit dem Ziel der Dekarbonisierung. Aktuell bestehen dadurch noch viele Unsicherheiten, beispielsweise hinsichtlich des zukünftigen Flexibilitätsbedarfs oder der Zukunft der Gasinfrastruktur. Diese Unsicherheiten müssen bei der Entwicklung von innovativen Ansätzen in der Abwasserwirtschaft berücksichtigt werden. Grundsätzlich lassen sich die folgenden Themenfelder unterscheiden:

- Flexibilisierung von Stromerzeugung und -verbrauch,
- Kläranlagen als Standorte für Power-to-X (PtX),
- Erzeugung von Wasserstoff oder Biomethan,
- Wärmetransfer zu anderen Nutzern.

### 2.1 Flexibilisierung von Stromerzeugung und -verbrauch

Kläranlagen sind technisch in der Lage, sowohl die Stromerzeugung aus Blockheizkraftwerken als auch ihren Stromverbrauch in einem bestimmten Maß zu flexibilisieren. Eine solche Flexibilisierung kann im Kontext der Energiewende zur Effizienz des Gesamtsystems beitragen. Infrage kommen die flexible Vermarktung und Einkauf von Strom auf dem Stromgroßhandelsmarkt, die Teilnahme am Markt für Regenergie 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. Die Bereitstellung von lokaler Flexibilität kann hingegen auch direkt erfolgen. Die aktuellen Rahmenbedingungen im Stromgroßhandel und dem Regenergiemarkt mit relativ geringen Preisen und Preisschwankungen machen eine Beteiligung für Kläranlagen derzeit aus wirtschaftlichen Gründen eher uninteressant. Rückzahlungszeiträume für entsprechende Investitionen liegen bei mehr als 35 Jahren. Falls in Zukunft Preisniveau und Preisvolatilität steigen sowie die Attraktivität der Eigenversorgung, etwa durch eine Anpassung der Abgaben und Umlagen oder der Netzentgelte abnimmt, kann die aktive Beteiligung von Kläranlagen an Regelmärkten und Stromgroßhandel attraktiv werden.

Schon heute sinnvoll kann indes die lokale Bereitstellung von Flexibilität sein. Die Netzsituationen sind sehr unterschiedlich und entsprechend ist auch der lokale Bedarf an Flexibilität variabel. Aufgrund ihrer Lage und Ausstattung sind Kläranlagen sehr gut geeignet, lokal zur Netzflexibilität beizutragen. In diesem Zusammenhang ist es empfehlenswert, mit dem lokalen Netzbetreiber bezüglich des tatsächlichen Flexibilitätsbedarfs Kontakt aufzunehmen.

### 2.2 Power-to-X

Kläranlagen können die Kopplung zwischen den Strom- und Gasnetzen durch PtX-Technologien ermöglichen, indem Strom in andere Energieträger wie Methan ( $\text{CH}_4$ ) und Wasserstoff ( $\text{H}_2$ )

oder flüssige Kraftstoffe umgewandelt wird. Beispielhaft werden hier  $\text{PtCH}_4$  und  $\text{PtH}_2$  auf ihre Rentabilität abhängig von ihren Nutzungen analysiert (vgl. Tabelle 1). Für die Berechnung der Gasgestehungskosten werden unterschiedliche Technologien, Annahmen zur Verfügbarkeit von Überschussstrom, unterschiedliche Standortgütern für die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) und eine  $\text{CO}_2$ -Bepreisung berücksichtigt. Die Gestehungskosten von beiden Gasen (Biomethan und Wasserstoff) sinken erwartungsgemäß mit steigenden Volllaststunden der Gaserzeugungssysteme (Klärgasaufbereitungsanlage und Elektrolyse). Unter den getroffenen Annahmen liegen die Methangestehungskosten beim günstigeren Membranverfahren zwischen 3,2 €/kWh bei aktuell erreichbaren 5.000 Volllaststunden pro Jahr und 2,7 €/kWh, wenn die Volllaststunden auf 7000 h/a gesteigert werden können. Durch die Vermeidung der  $\text{CO}_2$ -Emission kann eine weitere Reduktion der Gestehungskosten erreicht werden. Im idealen Fall mit 7000 h/a Volllaststunden und  $\text{CO}_2$ -Einsparung werden die Gestehungskosten von Biomethan mit 2,4 €/kWh günstiger als die von Klärgas (ca. 2,6 €/kWh nach Hoffstede, 2018).

| PtX Ansatz          | Beispieltechnologie             | Mögliche Nutzungen                            |
|---------------------|---------------------------------|---|
| Power $\text{CH}_4$ | Aminwäsche und Membranverfahren | Gas-Einspeisung/<br>Vermarktung; Verstromung; |
| Power $\text{H}_2$  | Alkalie-Elektrolyse             | Kraftstoff                                    |

Tabelle 1: Analytierte PtX-Ansätze

Die Wasserstoffgestehungskosten sind unter den getroffenen Annahmen aufgrund der höheren Stromerzeugung aus PV-Anlagen in Süddeutschland am günstigsten. Die berechneten Kosten bei 6.000 Volllaststunden pro Jahr liegen hier zwischen 8,5 €/kg und 10 €/kg. Im Moment liegt der Preis für Wasserstoff je nach Qualität und Menge unter 4 €/kg (Glenk und Reichelstein, 2019). Wasserstoffherzeugung mit Elektrolyse ist damit derzeit für Kläranlagen nicht rentabel. Im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie mit dem Ziel der Entwicklung und Verbreitung innovativer Wasserstofftechnologien wäre aktuell eine gezielte Förderung notwendig.

### 2.3 Weitere Optionen der Gaserzeugung und -nutzung

Die Biomethanherzeugung durch Methanisierung von Wasserstoff ( $\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$ ) ist aktuell nur bei sehr niedrigen Strompreisen wirtschaftlich. Collet et al. (2017) nennen einen Preis von unter 3,8 €/kWh, der deutlich unter dem aktuellen Endkundenstrompreis für Kläranlagen liegt. Der Prozess der Methanisierung erfordert zudem einen kontinuierlichen Betrieb, was allein mit Überschussstrom nicht zu gewährleisten ist. Bei intermittierendem Betrieb der Methanisierung würde es zu Verlusten von Klärgas während der Off-Stunden kommen.

Die Klärgasaufbereitung zu Biomethan ist sehr aufwendig und führt erwartungsgemäß im Vergleich zur herkömmlichen Klärgasverstromung zu keinem zusätzlichen Gewinn, obwohl die Kosten von  $\text{PtCH}_4$  immer weiter sinken. Die Nut-

zung von Biomethan als Kraftstoff könnte für Kläranlagen zukünftig aber eine sinnvolle Option darstellen, die es weiter zu untersuchen gilt.

Ein weiterer Ansatz ist die direkte thermochemische oder biologische Wasserstofferzeugung aus Klärschlamm. Diese ist im Moment zwar noch Stand der Forschung, könnte kostengünstige Verfahren zur Wasserstofferzeugung in naher Zukunft aber wirtschaftlicher gestalten.

#### 2.4 Wärmeerzeugung und -nutzung

Die Bereitstellung von Wärme durch regenerative Energien gilt als wichtiger Hebel für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors. Eine Option ist die Nutzung von Fernwärme aus regenerativen Energiequellen. Wärme auf Kläranlagen kann aus der Abwärme von KWK-Prozessen, durch gezielte Erzeugung bei Klärschlamm- oder Klärgasverbrennung, und aus auf der Kläranlage erzeugtem Strom stammen. Eine direkte Einbindung der Kläranlage in bestehende Fern- und Nahwärmesysteme ist nur schwer zu realisieren. Das liegt zum einen an einem relativ geringen Wärmeüberschuss auf Kläranlagen, da der Großteil der Wärme intern Verwendung findet. Zum anderen stellt der aktuell nicht liberalisierte Markt für Fernwärme hier ein Hemmnis dar. Der freie Zugang zu Wärmeinfrastrukturen sollte grundsätzlich gesetzlich geregelt werden, damit auch für kleinere lokale Einspeiser die Möglichkeit besteht, Wärme in vorhandene Infrastrukturen einzuspeisen.

Für die Wärmerückgewinnung in der Kanalisation oder in Gebäuden ergeben sich dagegen aussichtsreiche Möglichkeiten. Die Nutzung der Wärme im Kanal und direkt im Grauwasser sind teilweise bereits etablierte Technologien, welche auch unter Berücksichtigung der aktuellen Rahmenbedingungen wirtschaftlich sind.

Innovative Ansätze sind darüber hinaus die Abwärmenutzung durch gezielte Wärmeverteilung über die Kanalisation und die nicht leitungsgebundene Abwärmenutzung. Bei Ersterem wird die Kanalisation genutzt, um Abwärme von obenliegenden Emittenten mit dem Abwasser zu weiter untenliegenden Abnehmern zu transportieren. Die Wärme wird hierbei bewusst mit hohem Temperaturniveau eingeleitet. Bei nicht leitungsgebundenen Technologien wird die Wärme in geeigneten Materialien gespeichert und kann dann über die Straße zu einem Abnehmer transportiert werden.

### 3 Rechtsrahmen

Der Rechtsrahmen für die Rolle von Kläranlagen im Gesamtenergiesystem ist über verschiedene Gesetze und Verordnungen gestreut und nur fragmentarisch ausgestaltet. Kläranlagen müssen sich mit ihren verschiedenen Erzeugungs- und Verbrauchsoptionen in die allgemeinen energierechtlichen Regelungen einfügen. Dabei ergeben sich Lücken, aus denen ersichtlich wird, dass der Gesetzgeber die Rolle von Kläranlagen als Akteur des Energiemarkts bei der Konzeption des rechtlichen Rahmens nicht immer umfassend im Blick hatte.

#### 3.1 Strom: Eigenversorgung und Einspeisung

Als größter kommunaler Stromverbraucher spielt der Strompreis eine bedeutende Rolle für den Betrieb von Kläranlagen. Zur Kläranlage gehörende Speicher und PtX-Anlagen gelten dabei als Letztverbraucher im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2017 und des Energiewirtschaftsgesetzes mit der Folge, dass sie grundsätzlich alle Letztverbraucherabgaben zu zahlen haben, was erhebliche Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb und damit auf mögliche Geschäftsmodelle haben kann (z. B. die Erzeugung und Vermarktung von Biomethan und Wasserstoff). Bei den staatlich induzierten Strompreisbestandteilen (insb. EEG-Umlage, Stromsteuer, Netzentgelte und netzentgeltgekoppelte Abgaben und Umlagen) existieren eine Reihe von Privilegierungen, die unter anderem für einen Beitrag zur Stabilisierung des allgemeinen Stromnetzes in Anspruch genommen werden können.

In einem Spannungsverhältnis zu den bestehenden Flexibilitätsanreizen stehen zahlreiche Privilegierungen für die Eigenversorgung mit Strom, wenn auf dem Gelände der Kläranlage Strom dezentral erzeugt und verbraucht wird. Liegen die Voraussetzungen einer Kundenanlage vor oder ist aus sonstigen Gründen keine Netzdurchleitung erforderlich, können Netzentgelte und daran gekoppelte Abgaben und Umlagen sogar vollständig entfallen.

Für die Einspeisung erneuerbar erzeugten Stroms besteht die Möglichkeit, eine Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz 2017 oder eine Förderung nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz zu erhalten. Insbesondere das auf Kläranlagen anfallende Klärgas kann als erneuerbare Energie im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 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.

#### 3.2 Wärme

Auch im Wärmesektor ist Klärgas (und auch Klärschlamm) grundsätzlich als erneuerbare Energiequelle anerkannt und kann als solche für die Erfüllung von Verpflichtungen zur anteiligen Nutzung erneuerbarer Energie bei der Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden herangezogen werden. Erzeugt eine Kläranlage über den eigenen Wärmebedarf hinaus einen Wärmeüberschuss, besteht die Möglichkeit, diese Wärme beispielsweise über die Einspeisung in ein Wärmenetz gegenüber Dritten zu vermarkten und auch dabei die erneuerbare Energie-Eigenschaft des Klärgases als Wettbewerbsvorteil zu nutzen.

Die genaue rechtliche Ausgestaltung eines solchen (Dritt-)Zugangs zu von anderen Akteuren betriebenen Wärmenetzen befindet sich dabei in einer Umbruchphase und ist aufgrund europarechtlicher Vorgaben durch die Mitgliedsstaaten neu zu regeln, mit dem Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien in den Wärmenetzen signifikant zu erhöhen.

### 3.3 Gas

Die rechtlichen Bedingungen für die Vermarktung von Gas-erzeugnissen, wie aus Klärgas aufbereitetes Biomethan oder mithilfe erneuerbarer Energien erzeugtem „grünem“ Wasserstoff, sind weder umfassend noch systematisch geregelt. Bei der Einspeisung dieser Gase als Biogase in das Erdgasnetz existieren zwar eine Reihe von Privilegierungen, ihre weitere Vermarktung ist jedoch aufgrund vieler nicht anwendbarer technologiespezifischer Vorschriften sowohl im Strom- als auch im Mobilitätssektor stark eingeschränkt. Insbesondere ist „grüner“ Wasserstoff bisher nicht als erneuerbare Energie anerkannt, obwohl er für eine vollständige Dekarbonisierung der Energieversorgung vermutlich notwendig ist.

### 3.4 Regelenergiemarkt

Durch die in der Kläranlage vorhandenen zahlreichen Stromverbraucher und teilweise auch -erzeuger ist nach der Präqualifikation dieser Anlage die Bereitstellung von Regelenergie grundsätzlich möglich. Das Pooling von Anlagen bietet Kläranlagenbetreibern dabei die Option, sich ein neues Geschäftsmodell als Systemdienstleister durch die Teilnahme am Regelenergiemarkt zu erschließen.

Bei jeder dieser wirtschaftlichen Betätigungen von kommunalen Kläranlagen, die nicht unter die klassische Abwasserentsorgung fallen, stellt sich die Frage nach ihrer rechtlichen Zulässigkeit. Diese ist nicht nur von dem jeweiligen Handlungsfeld, sondern auch von der kommunalrechtlichen Ausgestaltung der verschiedenen 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 tiefergehender juristischer Prüfungen der Anforderungen im Einzelfall. Auch die Umlegung der für die Entwicklung von innovativen Konzepten für Kläranlagen notwendigen Kosten ist nicht ohne Weiteres möglich. Prinzipiell lassen sich auf Grundlage kommunaler Gebührensatzungen nur solche Kosten auf die Abwassergebühren umlegen, die betriebsbedingt und kausal mit der Abwasserbeseitigung und -reinigung im Zusammenhang stehen. Darüber hinaus ist eine Ausweitung der Satzung nur in engen Grenzen rechtlich zulässig.

## 4 Fazit

Die kommunale Abwasserwirtschaft ist in der Regel der größte kommunale Energie-Einzelverbraucher und kann damit eine Rolle im Kontext regionaler Klimaschutzziele, Regenergiesysteme und grundsätzlicher Versorgung mit erneuerbaren Energien übernehmen. Die Lage und infrastrukturelle Anbindung von Kläranlagen ebenso wie die vorhandene technische Ausstattung bieten darüber hinaus gute Voraussetzungen für die Einbindung innovativer Technologien.

Grundsätzlich ist Energieeffizienz auf Kläranlagen ein Gebot der Abwasserverordnung. Auch die Maßnahmen des Benchmark-Szenarios sind durch diese Forderung abgedeckt.

Anreizstrukturen können die Ausschöpfung der Klimaschutzpotenziale der Abwasserwirtschaft unterstützen. So kann beispielsweise auch die Ausstattung mit intelligenten Messeinrichtungen, mit dem Ziel einer dynamisierten Energieanalyse und als Voraussetzung auch für die Einbindung in das Energiesystem, eine sinnvolle Unterstützung im Sinne der Marktdiffusion sein.

Prinzipiell können sich Kläranlagen mit den angeschlossenen Kanalnetzen perspektivisch immer weiter in Richtung „regionaler Ressourcenzentralen“ entwickeln, in denen Abwasser gereinigt wird, die aber darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zum Wasserrecycling, zur Bereitstellung erneuerbarer Energien und Systemflexibilität oder zur Rückgewinnung elementarer Wertstoffe wie beispielsweise Phosphor leisten. Dazu bedarf es teilweise einer Anpassung des Rechtsrahmens und einer Technologieweiterentwicklung. Einiges lässt sich aber auch jetzt schon realisieren.

### Literatur

- 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. In: Applied Energy 192: 282–295.
- DWA (2017): DWA Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- DWA (2015): DWA-Regelwerk Arbeitsblatt DWA-A 216. Energiecheck und Energieanalyse. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- Gasse, J./Reinhardt, T./Meyer, C./Kolisich, G./Taudien, Y./Steinmetz, H./Morck, T./Baumann, P./Poppe, B./Maier, W. (2017): Energieverbrauch von Teilprozessen auf kommunalen Kläranlagen. In: Korrespondenz Abwasser 64/9: 802–808.
- Glenk, G./Reichelstein, S. (2019): Economics of converting renewable power to hydrogen. In: Nature Energy 4: 216–222.
- Hoffstede, U./Stelzer, M./Hahn, H./Beil, M./Krautkremer, B./Kasten J./Beyrich W. (2018): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß §97 Erneuerbare-Energien-Gesetz – Teilvorhaben II a: Biomasse – Zwischenbericht. Kassel, Fraunhofer IEE.

### AUTOR/INNEN + KONTAKT

**Dr. Jutta Niederste-Hollenberg, Dr. Thomas Hillenbrand, Dr. Jenny Winkler, Lin Zheng und Markus Fritz** sind wissenschaftliche Mitarbeiter/innen am Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe.  
Tel.: +49 721 6809-115,  
E-Mail: jutta.niederste-hollenberg@isi.fraunhofer.de

**Gitta Schirmer und Dr. Gerd Kolisch** sind wissenschaftliche Mitarbeiter/innen der Wuppertalgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft WIW mbH.

WIW mbH, Untere Lichtenplatzter Straße 100, 42289 Wuppertal.

**Julia Borger** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e. V.  
IKEM, Magazinstraße 15–16, 10179 Berlin.

