

Flexibilisierung von Faulungs- und Biogasanlagen – Identifikation von Gemeinsamkeiten und Unterschieden

Ergebnisse des 1. Workshops im Rahmen des Forschungsvorhabens FLXsynErgy

Bettina Steiniger, Johannes Blattenberger, Christian Hubert (Neubiberg), Jörg Kretzschmar (Leipzig), Stefan Einsiedel (München), Markus Heinrich (Hamm), Konstantinos Athanasiadis (Weyarn) und Christian Schaum (Neubiberg)

Zusammenfassung

Faulungsanlagen auf Kläranlagen sowie Biogasanlagen haben die Möglichkeit, mittels Flexibilisierung einen Beitrag zur Energiewende und der Stabilität des Stromnetzes zu leisten. Im 1. Workshop des Forschungsvorhabens FLXsynErgy wurden Chancen, Hemmnisse und Wünsche für eine zukünftige Flexibilisierung auf Faulungs- und Biogasanlagen mit 27 Expertinnen und Experten diskutiert. Der Erfahrungs- und Wissensaustausch aus den Diskussionen des Workshops unterstreicht die Gemeinsamkeiten bei der verfahrenstechnischen Umsetzung des anaeroben Abbaus von organischem Material sowie die Unterschiede, insbesondere hinsichtlich des Eigenverständnisses des Aufgabenspektrums, der damit verbundenen Möglichkeiten der Flexibilisierung sowie deren Umsetzung, in beiden Branchen. Insgesamt zeigt sich ein enormes Potenzial, voneinander zu lernen, um gemeinsam die Chancen der Flexibilisierung zu nutzen.

Schlagwörter: Klärschlamm, Biogasanlage, Faulungsanlage, Flexibilisierung, Wissenstransfer

DOI: 10.3242/kae2022.10.005

Abstract

Making digestion and biogas plants more flexible – identifying similarities and differences

Results of the 1st workshop as part of the FLXsynErgy research project

Digestion plants at sewage treatment plants and biogas plants can help to advance the energy transition and stabilise the electricity grid by adopting a flexible approach. At the first workshop of the FLXsynErgy research project, discussions were held with 27 experts about the opportunities, barriers and requests for making digestion and biogas plants more flexible in the future. The exchange of experiences and knowledge from the workshop discussions underscores commonalities in how organic material undergoes anaerobic degradation and the differences, especially in terms of understanding the spectrum of tasks, associated opportunities to make plants more flexible and their implementation in both sectors. Overall, there is enormous potential to learn from each other so that stakeholders can leverage the opportunities of a more flexible approach together.

Key Words: sewage sludge, biogas plant, digestion plant, flexibilisation, knowledge transfer

Geruchsbehandlung / Abluftbehandlung

NEUTRALOX® - Photoionisation

Hocheffektiv, einfach und dauerhaft.
Geringer Betriebs- und Wartungsaufwand.
Für Geruchsprobleme im Kläranlagenbereich.

NEUTRALOX® Umwelttechnik GmbH

Löhestrasse 63, 53773 Hennef (Sieg)
Tel. 0 22 42 / 913 64 – 0

info@neutralox.de
www.neutralox.de



Neutralox Photoionisation auf der Kläranlage Emscher Mündung

1 Einleitung

Faulungs- und Biogasanlagen nehmen innerhalb der erneuerbaren Energien eine besondere Stellung ein, da die Verstromung durch die in der Biomasse gespeicherte Energie, im Gegensatz zur Solarenergie oder Windkraft, witterungsunabhängig, grundlastfähig und steuerbar ist. Allein für Deutschland ist für das Jahr 2020 die Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) anteilig auf rd. 0,7 % aus Faulgas und rd. 12 % aus Biogas zurückzuführen [1].

Mit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2012 wurde erstmalig die Flexibilisierung von Faulungs- und Biogasanlagen mit dem finanziellen Anreiz einer Flexibilitätsprämie verankert. Der Begriff „Flexibilität“ im Kontext der Interaktion mit Energienetzen ist allgemein zu verstehen als die Fähigkeit einer technischen Anlage, ihre elektrische Leistungsaufnahme oder -abgabe aufgrund eines externen Signals kurzfristig für einen begrenzten Zeitraum anzupassen [2].

Derzeit wird die Flexibilisierung von Faulungs- und Biogasanlagen einschließlich ihrer Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) im Rahmen der 5. Novellierung des EEG 2021, dem Inkrafttreten des Redispatches 2.0 im Oktober 2021, aber auch im Zusammenhang mit den zuletzt steigenden Energiepreisen diskutiert. So beinhaltet das EEG 2021 Neuerungen unter anderem hinsichtlich der Aufhebung der Deckelung der Flexibilitätsprämie, der Anhebung des Flexibilitätszuschlags für neu bezuschlagte Anlagen über 100 kW, der Anpassung der Bemessungsleistung für die unterschiedlichen Flexibilisierungsoptionen sowie der Einführung von Qualitätskriterien für die Flexibilisierung [3]. Mit dem Redispatch 2.0 werden Betreiber von EE-Anlagen und KWK-Anlagen sowie nunmehr auch sonstiger Anlagen zur Erzeugung oder Speicherung elektrischer Energie mit einer installierten Leistung von > 100 kW verpflichtet, die Fahrpläne ihrer Aggregate an die Übertragungsnetzbetreiber zu übermitteln. Dies ermöglicht es den Betreibern, kurzfristige Änderungen des Aggregateinsatzes vorzunehmen, um Netzengpässe zu vermeiden und ein lukratives Einspeisemanagement zu etablieren [4].

Wenngleich sich Faulungs- und Biogasanlagen aufgrund der Verfahrenstechnik rund um den anaeroben Abbau ähneln, unterscheiden sich diese hinsichtlich der Auslegung, der Bauweise, dem Betrieb und ihrem Verständnis von Flexibilität. Die unterschiedliche Entwicklung von Faulungs- und Biogasanlagen ist dabei nicht zuletzt auf unterschiedliche technische Regelwerke, gesetzliche Vorgaben sowie den ihnen gestellten Aufgaben zurückzuführen.

Kommunale Kläranlagen sind aufgrund von Schwankungen zwischen Trocken- und Regenwetterzufluss bereits für einen großen Arbeitsbereich ausgelegt. Dadurch sind Kläranlagen in der Lage, ihre Leistungsaufnahme und -abgabe variabel den gegebenen Umständen anzupassen. Grundsätzlich liegt die Motivation einer Flexibilisierung auf Kläranlagen in einem Beitrag zur Energiewende sowie der verfahrenstechnischen und betriebswirtschaftlichen Optimierung des Anlagenbetriebs [5]. Biogasanlagen hingegen sind traditionell auf die kontinuierliche Stromeinspeisung ausgelegt, wobei seit Inkrafttreten des EEG der flexibilisierte Betrieb immer weiter umgesetzt wird. Die grundlegende Motivation der Flexibilisierung von Biogasanlagen liegt im Ausgleich der Schwankungen der Stromeinspeisung anderer erneuerbarer Energiequellen, wie Wind-

und Sonnenenergie, sowie der Leistung eines Beitrags zur Netzstabilität [6].

Im Rahmen eines interaktiven Online-Workshops wurden Erfahrungen, Chancen und Hemmnisse sowie Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Flexibilisierung im Bereich von Faulungs- und landwirtschaftlichen Biogasanlagen diskutiert. Die Förderung des interdisziplinären Wissensaustauschs ist ein Teilziel des Projektes „FLXsynErgy – Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger“, im Förderbereich „Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“ des 7. Energieforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz.

2 Faulungs- und Biogasanlagen: Zweieilige Zwillinge?

In Deutschland existieren 9105 Kläranlagen, die in der Regel von öffentlichen Betrieben bzw. Verbänden organisiert werden, von denen 1271 Anlagen Faulgas und 88 % davon Strom und Wärme erzeugen [7] (Daten: 2019). Im Jahr 2020 wurden von der öffentlichen Abwasserbehandlung rd. 1 740 556 t TM Klärschlamm entsorgt [8]. Mit der Novellierung der Klärschlammverordnung nimmt die thermische Verwertung stetig zu. Im Jahr 2020 wurden in Deutschland rd. 77 % einer thermischen und rd. 22 % einer stofflichen Verwertung zugeführt [8].

Dem gegenüber stehen 9623 Biogasanlagen [9] (Stand: 2020), die in der Regel von privatwirtschaftlichen Unternehmen betrieben werden. Aktuell existieren keine exakten Zahlen zum Gärrestanfall, ausgehend vom derzeitigen Substrateinsatz an deutschen Biogasanlagen schätzt das DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) eine Menge von ca. 100 Millionen t/a Frischmasse, die zu ca. 90 % landwirtschaftlich verwertet werden.

Sowohl Faulungs- als auch Biogasanlagen basieren auf dem grundlegenden Prozess des anaeroben Abbaus von organischen Rest- und Abfallstoffen, Energiepflanzen bzw. Klärschlämmen. Grundsätzlich ähneln sich dadurch landwirtschaftliche/abfallwirtschaftliche Biogasanlagen und Faulungen auf Kläranlagen in der Prozessführung sowie teilweise in der Verfahrenstechnik. Während der Betrieb von Biogasanlagen primär auf die Erzeugung von Strom und Wärme abzielt, werden Faulgasanlagen auf Kläranlagen vorrangig mit dem Ziel der Klärschlammstabilisierung und Minimierung der Entsorgungskosten betrieben. Die Energieerzeugung, wenngleich ein sehr wichtiger Aspekt, ist der Stabilisierung oftmals untergeordnet oder gleichgesetzt.

Mit Inkrafttreten der neuen Düngeverordnung stellt sich für landwirtschaftliche Betriebe zunehmend die Frage, wie mit überschüssigem Wirtschaftsdünger (zum Beispiel Gülle und Mist) und Gärresten aus Biogasanlagen umzugehen ist. Vor dem Hintergrund der notwendigen Erweiterung der Lagerkapazitäten spielen Biogasanlagen als Zwischenlager für energetisch genutzte Wirtschaftsdünger bzw. Gärprodukte eine besondere Rolle.

Als Substrate werden für Faulungsanlagen die bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlämme eingesetzt. Die Vorbehandlung umfasst lediglich die statische bzw. maschinelle Eindickung des Primär- bzw. Überschussschlamms. Auf Biogasanlagen hingegen werden je nach Art der Anlage (abfall- oder landwirtschaftliche Biogasanlagen) entweder organische Abfälle und industrielle Reststoffe bzw. Wirtschaftsdünger,

landwirtschaftliche Reststoffe und nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) vergoren. Eine Auswahl der typischerweise eingesetzten (Co-)Substrate und deren Charakteristika sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die (Vor-)Behandlung des Substrats kann hier, wie für Co-Substrate auf Kläranlagen, die Störstoffabtrennung, Zerkleinerung, und Anmischung der Substrate, aber auch weitere physikalisch/chemische bzw. biochemische Aufschlussverfahren (zum Beispiel Säureaufschluss bzw. enzymatische Behandlung) umfassen [10].

Die verfahrenstechnische Anordnung von Faulungs- und landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Nassfermentation ist in Abbildung 1 schematisch skizziert. Typischerweise werden Faulungsanlagen als Zylinder mit oberem und unterem Konus oder als Eiform gebaut, um der Bildung von Schwimmdecken, das Eindringen von Schaum in die Gasleitung und Bodenablagerungen vorzubeugen sowie eine gute Durchmischung zu gewährleisten [11]. Biogasanlagen zur Nassfermentation ($TR < 15\%$) werden in der Regel als Zylinder konstruiert. Bioabfälle und landwirtschaftliche Reststoffe mit einem TR von $15-40\%$ werden in sogenannten Garagen- oder Boxenfermentern behandelt (nicht dargestellt). Hier wird das Substrat permanent mit der Prozessflüssigkeit (im Kreislauf) besprüht. Die Durchmischung der Faulungsanlagen erfolgt entweder über außenliegende Umwälzpumpen, Faulschlammmischer (zum Beispiel Schraubenschaufler), außenliegende Verdichter zur Faulgas-einpressung oder Rührwerke [11]. Bei Biogasanlagen zur Nassfermentation finden sich in der Regel Rührwerke und Umwälz-

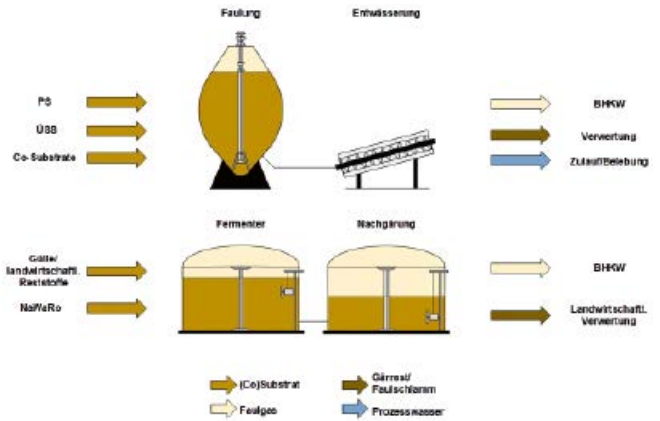



Abb. 1: Vereinfachter verfahrenstechnischer Vergleich Faulungs- und landwirtschaftlicher Biogasanlagen (Primärschlamm (PS), Überschussschlamm (ÜSS), Nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo))

pumpen, wobei die Einpressung von Biogas zur Durchmischung nur eine untergeordnete Rolle spielt [13].

Für den Betrieb der Faulung wird in Abhängigkeit von der Anlagengröße eine hydraulische Verweilzeit zwischen 16 bis 28 d (je kleiner die Anlage desto höher) für einstufige Faulungsanlagen empfohlen [11]. Entsprechend werden organische Raumbelastungen von $1,0$ bis $1,7 \text{ kg oTM}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ für einstufige Systeme angestrebt. Eine bundesweite Auswertung von 618 Biogasanlagen zeigt eine durchschnittliche Raumbelastung



invent[®]
umwelt und verfahrenstechnik


HYPERCLASSIC[®] RÜHRWERK EVOLUTION 7

Der Industriestandard der Wasser- und Abwasserreinigung

Mit dem **INVENT HYPERCLASSIC[®] Rührwerk Evo 7** stellen wir Ihnen die völlig überarbeitete Version des klassischen Hyperboloid-Rührwerks zur Verfügung. Durch das revolutionäre Design und die besondere Bauart kann der Energieverbrauch um bis zu 30 % gesenkt werden. Dies bietet ein enormes Einsparpotential für Ihre Wasser- und Abwasserreinigungsanlage.

Einfach Code scannen und mehr über die Entwicklung und Funktionsweise des **HYPERCLASSIC[®] Evo7** erfahren.

www.invent-uv.de



	Substrate	TR [%]	GV [%]	spezifischer Methanertrag [NL CH ₄ /kg oTM]
Faulung	Rohschlamm	3–6	~73	~286 ¹
	Fettabscheiderinhalte	2–70	69–99	600–700
	Speiseabfälle	9–37	74–98	400–500
Biogasanlage	Rindergülle	6–11	68–85	150–220
	Maissilage	~30	~95	250–350
	Futtermüllsilage	12–15	~80	300–350
	Getreidestroh	85–90	85–89	~200

Anmerkung: ¹ mit 440 NL/kg oTM bei einem Methangehalt von 65%

Tabelle 1: Gegenüberstellung einer Auswahl von organischen Materialien hinsichtlich Trockenrückstand (TR), Glühverlust (GV) und spezifischem Methanertrag [11, 12]

von 2,5 kg oTM/(m³·d) und hydraulische Verweilzeiten zwischen 45 und 100 Tagen für einstufige Anlagen [14]. Neugebaute Biogasanlagen sind seit dem EEG 2012 sogar auf eine Verweilzeit von mindestens 150 Tagen auszulegen [15].

Die weitere Behandlung des Faulschlammes umfasst die Entwässerung einschließlich dem Anfall von Prozesswasser, das entweder in den Zulauf der Kläranlage bzw. Belebung zurückgeführt wird oder separat zu behandeln ist. Auf Biogasanlagen hingegen wird der Gärrest in einem Nachgärer bzw. einem Gärrestlager gelagert, eine Fest-Flüssig-Trennung findet nur in wenigen Fällen statt, insbesondere aber bei Biogasanlagen zur Behandlung von organischen Abfällen (mit anschließender Kompostierung der Feststofffraktion) bzw. zur generellen Erhöhung der Transportwürdigkeit der Gärreste.

Auf Kläranlagen wird das Faulgas üblicherweise in einem externen Gasspeicher zwischengespeichert. Bei Biogasanlagen sind bedingt durch die vorherrschende Bauweise der Fermenter eher integrierte Folienhaubenspeicher üblich, wobei gerade im Fall der flexiblen Stromerzeugung aus Biogas auch externe Gasspeicher zum Einsatz kommen können. In Hinblick auf die komplexere Art der Umsetzung (externe Speicher für höhere Drücke) und der höheren Standzeiten sind insbesondere die Investitionskosten der Gasspeicher auf Kläranlagen, im Vergleich zu jenen auf Biogasanlagen, höher. Die Verstromung erfolgt in beiden Fällen in Blockheizkraftwerken (BHKW), wobei der Strom auf Kläranlagen primär zur Deckung des Stromeigenbedarfs und in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur Erzeugung von Überschussstrom zur Einspeisung in das Stromnetz genutzt wird. Im Vergleich zu Biogasanlagen umfassen die Stromverbraucher auf Kläranlagen energieintensive Aggregate,

wie die Belüftung der biologischen Abwasserreinigungsstufe und den Betrieb von Rühr- und Pumpwerken im Abwasser- und Schlamm Pfad.

Die Abwärme aus den BHKW wird sowohl auf Faulungs- als auch Biogasanlagen für die Deckung des Eigenbedarfs genutzt oder in Notkühlern umgewandelt, sofern kein Anschluss an ein Wärmenetz besteht. Am Standort von Kläranlagen sind neben dem Bedarf an Prozesswärme nur vereinzelte Wärmesenken, wie zum Beispiel Schlamm Trocknung oder Deammonifikation, verfügbar. Die Wärmenutzung auf Biogasanlagen hat dagegen einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage [16]. So sind bei Biogasanlagen auch BHKW als Satelliten-Lösung in der Nähe von Wärmeverbrauchern, zum Beispiel Wohngebieten oder Schwimmhallen üblich, wenn gleich nicht weit verbreitet. In diesem Zusammenhang ist unter anderem die Einbindung von Wärmespeichern auf Biogas- und Faulungsanlagen Gegenstand aktueller Diskussionen und Entwicklungen. Mit zunehmendem Ausbau der installierten Leistung der BHKW, insbesondere auf Biogasanlagen, gewinnt die Verwertung der Wärme an Bedeutung. Nicht zuletzt aufgrund einer möglichen Inanspruchnahme des KWK-Bonus sind hier Biogasanlagen mit Anbindung an ein Wärmenetz im Vorteil. Bei Anlagen im ländlichen Raum besteht in der Regel diese Möglichkeit einer Anbindung aufgrund ihrer dezentralen Lage nicht.

3 Flexibilisierung von Faul- und Biogasanlagen

Flexibilisierungsstrategien werden hinsichtlich betrieblichem oder überbetrieblichem Lastmanagement (Verschiebung ener-

Beilagenhinweis



Bitte beachten Sie die Beilagen in dieser Ausgabe

- | SAG-Akademie, 64293 Darmstadt
 - Seminare 2023
- | DWA, 53773 Hennef
 - Kanalinspektion – Veranstaltungen 2023
 - Weitergehende Abwasserreinigung und Betrieb von kleinen und mittleren Kläranlagen (Web-Seminare)
 - KA Betriebs-Info 4/22

gieintensiver Prozesse), system- (Stabilisierung der Stromnetze, zum Beispiel Frequenzhaltung), markt- (Kosten- und Erlösoptimierung) oder netzdienlichem Einsatz (lokales Netzkapazitätsmanagement) unterschieden. Die Ansätze der Flexibilisierung können unter Berücksichtigung des Anlagenstandorts und des Betriebskonzepts unterschiedlich ausfallen, dürfen jedoch zu keinen wesentlichen Störungen der Betriebsabläufe führen.

Als Flexibilitätsbausteine werden auf Kläranlagen im Wesentlichen Blockheizkraftwerke in Kombination mit Gasspeichern eingesetzt, wobei auch die Einbindung von Netzersatzanlagen in virtuelle Kraftwerke als Stand der Technik gilt. Für Biogasanlagen zeigt sich im Rahmen der bedarfsgerechten Stromerzeugung vor allem die Erhöhung der Gasspeicherkapazitäten in Kombination mit dem Zubau an BHKW-Kapazitäten (Überbauung) [16]. Eine weitere Strategie besteht in der direkten Beeinflussung der Biogaserzeugung durch modellprädiktive Prozessführung. Zudem ermöglichen Substratspeicher bzw. Silos auf Biogasanlagen, vereinzelt auch auf Kläranlagen, die bedarfsorientierte Zugabe von energiereichen (Co-)Substraten zur Flexibilisierung der Gasproduktion. Der Grad der Flexibilität wird entsprechend durch das (Gas-)Speichervolumen sowie der installierten Leistung und der Regelbarkeit der Blockheizkraftwerke sowie der Robustheit der anaeroben Prozesse im Hinblick auf schwankende Raumbelastungen und Betriebstemperaturen definiert.

Eine Erhöhung der Flexibilität durch Erweiterung der Gasspeichervolumina oder der installierten BHKW-Leistung ist mit hohen Investitionssummen verbunden. Für Letzteres stehen insbesondere den Biogasanlagen Fördermittel, etwa der Flexibilitätszuschlag (bzw. bei Inbetriebnahme bis 31. Juli 2014 Flexibilitätsprämie), zur Verfügung.

Der Handlungsspielraum der gewinnorientierten Ausrichtung der Flexibilisierung, zum Beispiel durch Direktvermarktung des erzeugten Stroms, ist insbesondere vom Stromverbrauch und der (Eigen-)Stromerzeugung der gesamten Anlage abhängig. Die exakte Erfassung der Anzahl an flexibel betriebenen Kläranlagen in Deutschland ist eher schwierig. Es ist davon auszugehen, dass nur einzelne größere Kläranlagen die Vermarktung von Strom am (Regel-)Energemarkt tätigen. Bei Biogasanlagen hingegen bieten rd. 85 % den erzeugten Strom direkt an der Börse an, rd. 3146 Biogasanlagen mit einer Gesamtleistung von 2022 MWh_{el} sowie 191 Biomethan-BHKW mit 169 MWh_{el} erhalten die Flexprämie gemäß EEG [17].

4 Erfahrungs- und Wissenstransfer am Beispiel der Flexibilisierung der Faulgaserzeugung und der Variation der Faulraumtemperatur

Im Rahmen des Forschungsvorhabens *FLXsynErgy* werden zwei Flexibilisierungsstrategien für den Betrieb von Faulungs- und Biogasanlagen, inspiriert sowohl von dem Betrieb von Biogasanlagen als auch von den Faulungsanlagen der assoziierten Partner, näher betrachtet:

Flexibilisierung der Faul- bzw. Biogaserzeugung

In jüngerer Vergangenheit wurde diskutiert und untersucht, inwiefern eine Flexibilisierung der Faulgaserzeugung einen Beitrag zur Reduktion des Eigenstrombedarfs auf Kläranlagen bzw. zu einem höheren Erlöspotenzial auf Biogasanlagen füh-

ren kann. Die zugrundeliegende Idee basiert auf der Etablierung einer flexiblen Substratzugabe zur bedarfsgerechten Erzeugung von Biogas bzw. Strom (zum Beispiel auf Basis eines erlösoptimierten Fahrplans) bei gleichzeitiger, optimaler Nutzung des vorhandenen Gasspeichers. Das Potenzial der bedarfsgerechten Erzeugung von Biogas bzw. Strom zeigt sich insbesondere bei der Gegenüberstellung von exemplarischen Tagesverläufen über eine Woche der Strompreise der Day-Ahead-Auktion mit der Gasproduktion bei kontinuierlicher bzw. zweimaliger Substratzugabe pro Tag (Abbildung 2). Entsprechend kann durch eine gezielte Zugabe von (Co-)Substraten die Gasproduktion in bestimmten Zeitfenstern erhöht werden.

Zur Erzeugung von Strommengen, die über die Bemessungsleistung der Anlagen hinaus gehen und auf dem Regelenergiemarkt oder den Spotmärkten angeboten werden sollen, müssen zusätzliche BHKW-Kapazitäten installiert werden (Stichwort „Überbauung“). In diesem Zusammenhang fällt dem Einsatz von Co-Substraten und der Etablierung eines gezielten Substratmanagements einschließlich dem Substratspeicher eine zentrale Rolle zu. Energiereiche und schnell abbaubare organische Reststoffe eignen sich häufig zur kurzfristigen, starken Erhöhung der Gasproduktion. Limitiert wird die zeitlich gezielte Erzeugung von Gas durch die zulässige Raumbelastung. Untersuchungen an der Universität der Bundeswehr München zeigten, dass sich bei Stoßbeschickungen von bis zu 6 kg oTM/(m³d) der spezifische Gasertrag nur geringfügig reduziert [18].

Reststoffe sinnvoll nutzen!

Wir übernehmen die Planung und den Bau Ihrer Biogasanlage.

Energy Decentral / Eurotier
Halle 25 | Stand K10


Abfallanlagen

Anaerobstufen


Agraranlagen

Biomethanaufbereitung

Gülleaufbereitung



WELTEC BIOPOWER GmbH
 Zum Langenberg 2
 49377 Vechta
 Tel. 04441 99978-0
 info@weltec-biopower.de
 www.weltec-biopower.de



Organic energy worldwide

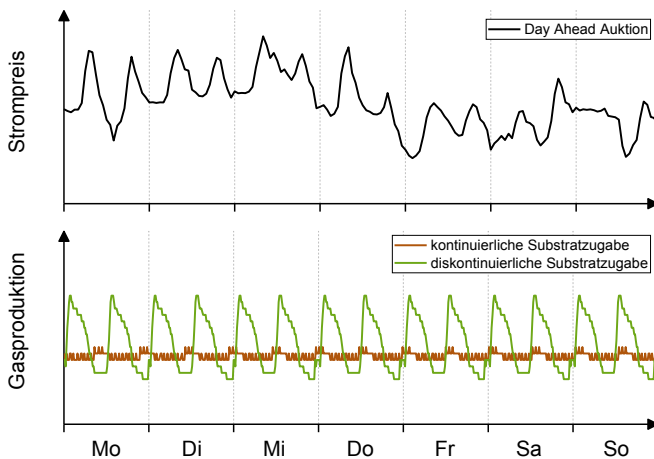


Abb. 2: Exemplarische Tagesverläufe über eine Woche der Strompreise der Day-Ahead-Auktion (oben) und der Gasproduktion bei kontinuierlicher bzw. diskontinuierlicher Substratzugabe (hier: zweimal täglich) in Faulungs- bzw. Biogasanlagen (unten)

An Biogasanlagen können Anpassungen der Fütterung vor dem Hintergrund der Stabilisierung der Biogasproduktion, die zum Beispiel durch Veränderungen der Substratzusammensetzung und -qualität ausgelöst wird, angewendet werden. Mithilfe von Prozessmodellen werden Fütterungsmengen und -zeitpunkte zur Einhaltung eines bestimmten Stromerzeugungspans auf Basis von Strompreisen (Day-Ahead Handel) berechnet. Die Umsetzung dieses Fütterungsplans führt zur variablen und bedarfsgerechten Stromproduktion bei gleichzeitiger Einsparung von Gasspeicherkapazitäten [19, 20]. Am DBFZ wird unter anderem diese modellgestützte Variation der Beschickung zur gezielten Beeinflussung der Gasproduktionsrate entsprechend einem erlösoptimierten Fahrplan bei gleichzeitiger Minimierung des Gasspeicherbedarfs erforscht [20]. In Versuchen an Praxisanlagen konnte bereits gezeigt werden, dass es möglich ist, die Gasproduktionsrate innerhalb eines Tages um $\pm 50\%$ im Vergleich zum Tagesmittelwert zu variieren bzw. im Rahmen einer dreitägigen Fütterungspause um mehr als 60 % zu reduzieren [21]. Weiterhin wurde gezeigt, dass die langfristige Prozessstabilität durch diese Art des Substratmanagements nicht negativ beeinflusst wird. Nichtsdestotrotz machen derartig intensive Eingriffe in die Prozessführung eine, anders als bisher an Biogasanlagen umgesetzt, regelmäßige Überwachung der Prozessstabilität notwendig.

Flexibilität der Faulraumtemperatur

Die Temperatur in Faulungs- und Biogasanlagen orientiert sich an den Temperaturoptima der Biozönose bei meso- und thermophilen Temperaturen. Während die meisten Faulungsanlagen bei konstanten mesophilen Temperaturen (in der Regel zwischen 35 und 37 °C) betrieben werden, ist eine saisonale Anpassung der Faulraumtemperatur zur Zwischenspeicherung der überschüssigen Wärme in den Sommermonaten bei geringen Temperaturgradienten möglich [11]. In der gängigen Literatur für Biogasanlagen hingegen ist ein stabiler anaerober Abbau weniger eine Frage des absoluten Temperaturniveaus, sondern vielmehr eine Frage der Konstanz. Im Vergleich zu Faulungsanlagen zeigt sich in der Praxis, dass hier die Selbsterwärmung beim anaeroben Abbau von vorwiegend kohlenhy-

drathaltigen Substraten mit geringem Wassergehalt und gut isolierten Behältern eine Rolle spielt. Entsprechend sind Betriebstemperaturen zwischen 43 und 48 °C keine Seltenheit [13].

Im Fall von Kläranlagen kann durch saisonale Anpassung der Faulraumtemperatur die Faulung als Wärmespeicher in das Wärmemanagement integriert werden [22]. Ausführliche Auswertungen der Betriebsdaten der assoziierten Partner des Forschungsvorhabens und ergänzende Versuchen im halbtechnischen Maßstab der Universität der Bundeswehr München unterstreichen den prozessstabilen, anaeroben Abbau von Rohschlamm kommunaler Kläranlagen zwischen 33 und 53 °C bei hydraulischen Verweilzeiten von > 20 Tagen und Temperaturänderungen kleiner als 1 K pro Tag [23].

Für Biogasanlagen wurde die flexible Stromproduktion von Biogasanlagen mit hohem Wärmenutzungsgrad untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere niedrig belastete Nachgärer, ähnlich zu den untersuchten Faulungsprozessen, als Wärmespeicher fungieren können, ohne dabei die Prozessbiologie bzw. -stabilität negativ zu beeinflussen [24].

5 Chancen und Hemmnisse der Flexibilisierung

Die Flexibilisierung des Anlagenbetriebes birgt für Betreiber von Faulungs- und Biogasanlagen diverse Chancen und Hemmnisse (Abbildung 3). Für Kläranlagen bedeutet die Auseinandersetzung mit Flexibilisierungsmöglichkeiten eine detaillierte Analyse der Prozesse zur Identifikation von betrieblichen Optimierungsmöglichkeiten. Im besten Fall wird hierdurch zunächst die Deckung des Eigenstrombedarfs erhöht, also der Strombezug und die Netzeinspeisung minimiert, wodurch Nutzungsentgelte und Stromkosten gesenkt werden können.

Im Fall eines Stromüberschusses kann, genau wie bei flexibel betriebenen Biogasanlagen, am Regelenergiemarkt teilgenommen bzw. Strom direkt vermarktet werden, zum Beispiel mittels Day-Ahead-Handel an der europäischen Strombörse EPEX Spot. Generell kann die kurzfristige Erhöhung und Absenkung der Gas- bzw. Stromproduktion zur Erhöhung der Netzstabilität und damit zum weiteren Ausbau volatiler erneuerbarer Energien wie Photovoltaik und Windkraftanlagen beitragen sowie zum Ersatz von fossil erzeugtem Strom führen.

Sowohl Faulungs- als auch Biogasanlagen sehen sich auf der Seite der Hemmnisse mit einer volatilen Marktdynamik hinsichtlich Planung und Erlösen für Produkte der Regelleistung, einer komplizierten Rechtsgrundlage, vergleichsweise geringen Erlösen und unerwarteten Kostenforderungen, die den Mehraufwand einer bedarfsgerechten Stromerzeugung nicht immer ausreichend decken, konfrontiert. Die Bandbreite an (energie-)rechtlichen, verfahrenstechnischen und betriebswirtschaftlichen Anforderungen stellen Betreiber zudem vor die Herausforderung, die Erlöspotenziale gegenüber den Mehraufwendungen bzw. Investitionen abzuwägen. Bei der flexiblen Prozessführung durch gezieltes Substratmanagement kommen Unsicherheiten in Bezug zur Prozessführung bzw. der Prozessstabilität, den hohen Anforderungen an die Anlagentechnik sowie an das Personal, aber auch der Bedarf an zusätzlicher und robuster Messtechnik hinzu. Mangelnde Erfahrungen und Informationen im Bereich der Energiemärkte verschärfen dies zusätzlich.

Auf Kläranlagen bestehen, möglicherweise mehr noch als auf Biogasanlagen, Vorbehalte gegenüber der Flexibilisierung, die sich insbesondere auf die grundlegende Aufgabe der Ab-

wasserreinigung beziehen. Die primäre Aufgabe von Kläranlagen ist die Abwasserreinigung, wobei darüber hinaus aktuelle Anforderungen wie der Betrieb der vierten Reinigungsstufe, der Umsetzung der Phosphorrückgewinnung, aber auch die Zugabe von Co-Substraten einen Mehraufwand darstellen. Der Betrieb von Kläranlagen beinhaltet signifikante Stromverbraucher für die Abwasser- und Schlammbehandlung, wobei der Strombedarf letztlich von der Qualität und Quantität des Rohabwassers abhängig ist. Bei alleiniger Zugabe von Rohschlamm in die Faulungen deckt die Stromerzeugung aus dem Faulgas oft den Strombedarf nicht, sodass für die Flexibilisierung eine energetische Optimierung der gesamten Kläranlage notwendig ist. Grundsätzlich ist jedoch jede Maßnahme, die den anaeroben Abbau beeinflusst, hinsichtlich der Aufrechterhaltung der Prozessstabilität sowie der Auswirkungen auf das Entwässerungsverhalten einschließlich der Qualität des dabei anfallenden Prozesswassers zu bewerten.

Die spezifischen Hemmnisse der Flexibilisierung von Seiten der Biogasanlagen sind umfangreich hinsichtlich ökologischer, technischer, ökonomischer sowie (genehmigungs)rechtlicher Hemmnisse in einem Hemmniskatalog von Daniel-Gromke [25] aufgeführt. Aufgrund einer Vielzahl an (rechtlichen) Anforderungen für den optimierten Anlagenbetrieb ist mit zusätzlichen technischen Maßnahmen und höherem Kostenaufwand zu rechnen. Wenngleich das neue EEG 2021 die Flexibilisierung weiterhin fördert, bleibt insbesondere für Biogasanlagen die Perspektive für den Weiterbetrieb bestehender Anlagen bzw. der Zubau von neuen Biogasanlagen aufgrund des Wegfalls des Flexibilitätszuschlags, Neuerungen bei den Ausschreibungsverfahren sowie erhöhte Anforderungen an Umweltwirkungen und Effizienz sowie erhöhte Substratpreise, fragwürdig [25]. Zudem erfordert die Realisierung der Flexibilisierung die Investition in bauliche/technische Anlagen- und Messtechnikkomponenten, die jedoch in der Regel ohne weiteres umsetzbar ist. Darüber hinaus ergeben sich Unsicherheiten bei passenden Betriebskonzepten und Vielfalt von Vertragspartnern [16].

6 Was muss sich für die Etablierung der Flexibilisierung ändern?

Auf Basis der Hemmnisse der Flexibilisierung sowie der aktuellen Umsetzung zeigen sich trotz der markanten Unterschiede auch wesentliche Synergien zwischen der Abwasser-/Klärschlamm- und der Biogasbranche, um die Chancen der Flexibilisierung zukünftig noch weiträumiger zu nutzen. Zur weiteren Etablierung der Flexibilisierung ist insbesondere die verfahrenstechnische und betriebswirtschaftliche Optimierung der Kläranlagen und Biogasanlagen ausschlaggebend. Insbesondere auf Kläranlagen gilt es, die Stromverbräuche zu senken bzw. die Stromerzeugung zu steigern, damit die Partizipation an (Regel-)Energienmärkten interessant wird. Strom- und Wärmeüberschüsse eröffnen dabei das Potenzial, innovative Technologien wie zum Beispiel Power-to-X, Strom- und Wärmespeicher, anderweitige Gasnutzung, aber auch Anschlüsse an Erdgas- und Wärmenetze in ein ganzheitliches Energiekonzept einzubinden.

Um diese technisch möglichen Optimierungen tatsächlich in möglichst vielen Anlagen umzusetzen, braucht es den politischen Willen, den Ordnungsrahmen entsprechend anzupassen: Hier spielen der Abbau von rechtlichen/organisatorischen Hin-



AKTIVKOKS IN BESTFORM

Wenn es um eine effektive Abgas- und Abwasserreinigung geht, ist Herdofenkoks HOK® das ideale Frischsorbens.

Durch eine eigene Rohstoffbasis gehören wir weltweit zu den größten Produzenten von Aktivkoks. Dies garantiert Versorgungssicherheit. Die konstant hohe Qualität von HOK® gewährleistet die sichere Abscheidung emissionsrelevanter Schadstoffe.

Herdofenkoks HOK®.

Gut für die Umwelt, gut für's Geschäft.

www.hok.de

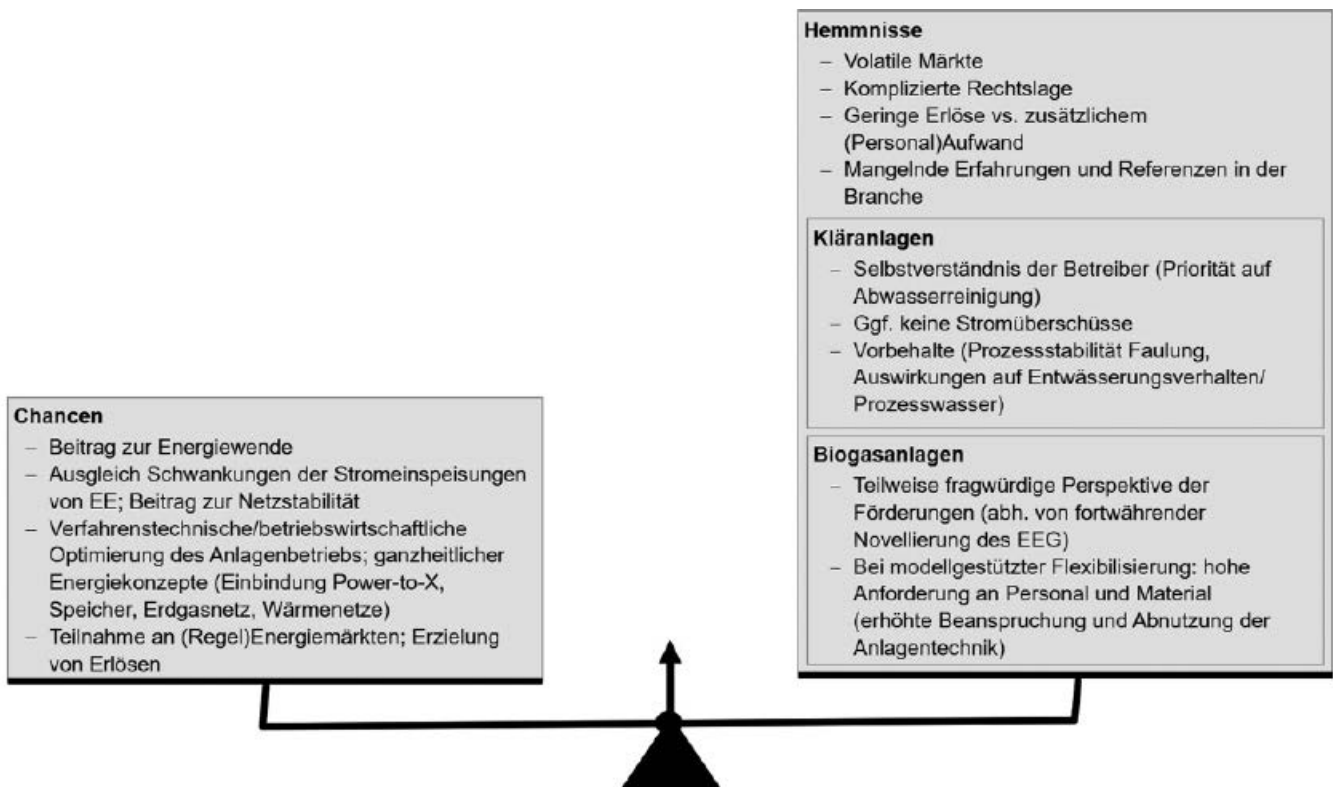


Abb. 3: Gegenüberstellung von Chancen und Hemmnissen zur Etablierung der Flexibilisierung bei Faulungs- und Biogasanlagen

dernissen (zum Beispiel Schnittstelle Wasser-/Abfallrecht, Fortschreibung EEG), die Stabilisierung des Strommarkts, Transparenz des Regelleistungsmarkts, aber auch langfristig ausgelegte finanzielle Anreize eine wesentliche Rolle. Den dafür notwendigen politischen Entscheidungen gehen meist lange Fachdiskussionen und gesamtgesellschaftliche Diskurse voraus. So empfiehlt sich eine engere Zusammenarbeit von Faulungs- und Biogasanlagen auf lokaler Ebene. Ein reger Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Betreibern von Kläranlagen und Biogasanlagen sowie die Förderung von Forschungs- bzw. Leuchtturmprojekten sind notwendig, um die bestehenden Unsicherheiten und Wissenslücken zu minimieren.

Andererseits braucht es für die erfolgreiche Weiterentwicklung und Implementierung von Flexibilisierungskonzepten, besonders wenn sie in kommunaler Trägerschaft erfolgen, einen allgemeinen gesellschaftlichen Konsens über die damit verbundenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Folgen: Ist der Schritt von der Abwasserbehandlung hin zum Energielieferanten gewünscht, wer trägt die damit verbundenen Kosten und wer profitiert davon besonders? Sollen dafür alle regional verfügbaren Co-Substrate verwendet werden oder besteht die Gefahr, dass falsche Anreize gesetzt werden? Lange Zeit waren Kläranlagen in der öffentlichen Wahrnehmung nur für den Schutz der Gemeingüter „Wasser“ und „Gesundheit“ zuständig;

in den vergangenen Jahren rückte die Gefährdung weiterer wichtiger Naturkreisläufe immer stärker ins Bewusstsein: Auch der Kohlendioxid-Kreislauf sowie der Phosphor- und Stickstoff-Zyklus sind eng mit dem Geschehen in Kläranlagen verbunden. Eine öffentliche Diskussion über die gewünschten Prioritäten bei der Flexibilisierung von Kläranlagen kann einen wesentlichen Beitrag zur Stärkung des Images „Kreislaufzentrum einer zirkulären Bioökonomie der Zukunft“ mit wichtigen Beiträgen zur Energiewende und zum Gesundheits-, Gewässer- und Ressourcenschutz leisten. Um diese Fachdiskussionen noch stärker in den öffentlichen Diskurs einzubinden, ist das Forschungsprojekt *FLXsynErgy* auch auf *DigiLog* (www.digi-log.org), der digitalen Dialogplattform zur sozial-ökologischen Transformation, vertreten. So sollen die hier angerissenen umweltethischen Fragen in Zukunft auch online mit dem interessierten Fachpublikum weiter vertieft werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Faulungs- und Biogasanlagen können mit der Flexibilisierung sowohl einen Beitrag zur Energiewende und der Stabilität des Stromnetzes leisten als auch durch die Teilhabe an (Regel-)Energimärkten Erlöse erzielen. Die Relevanz der Flexibilisie-

KA International Special Edition: dwa.de/journals

Methane in the Storage and Dehydration of Sewage Sludge

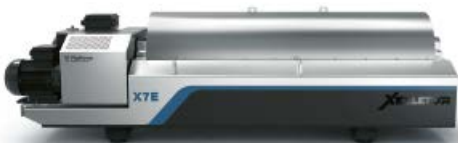




**ERFOLG IST...
LEISTUNG AUS
LEIDENSCHAFT.**

**IHRE VORTEILE MIT DER
FLOTTWEG X-SERIE BEI DER
SCHLAMMENTWÄSSERUNG**

- Xtra Entwässerungsleistung
- Xtra Polymereinsparung
- Xtra Energieeinsparung
- Xtra Sauber: Abscheidegrad über 99 %
- Xtra Kapazität: bis zu 15 % mehr Durchsatz



rung nimmt derzeit aufgrund der Novellierung des EEG 2021, der Einführung des Redispatches 2.0, aber auch den derzeit steigenden Energiepreisen immer weiter zu.

Trotz grundlegender Gemeinsamkeiten der verfahrenstechnischen Umsetzung, der aktuellen Chancen und Hemmnisse bei der Umsetzung von Flexibilisierung auf Faulungs- und Biogasanlagen zeigt sich eine unterschiedliche Herangehensweise in der Bauweise, dem Betrieb und letztlich im Verständnis von Flexibilität aufgrund gesetzlicher Rahmenbedingungen und dem primären Aufgabenspektrum (Abwasserreinigung vs. Strom- und Wärmeerzeugung).

Bestehende Unsicherheiten und Hemmnisse bei der Flexibilisierung können in einem wertvollen Erfahrungs- und Wissensaustausch mit geeigneten Interessensvertretern beider Branchen angegangen werden. Insbesondere die spezifischen Unterschiede zwischen den Branchen ermöglichen einen interessanten Ansatz, um gemeinsam in den Dialog zu einer zukünftigen Umsetzung der Flexibilisierung zu treten.

Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland, 2021
- [2] P. Elsner, M. Fishedick, D. U. Sauer (Hrsg.): *Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050: Technologien – Szenarien – Systemzusammenhänge*, Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“, acatech – Deutsche Akademien der Technikwissenschaften, München, 2015
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *EEG 2021 – Neuer Rahmen für Biogasanlagen*, 2022, <https://biogas.fnr.de/rahmenbedingungen/eeg-2021> (letzter Zugriff: 28.02.2022)
- [4] Next Kraftwerke GmbH: *Was sind Dispatch, Redispatch & Redispatch 2.0?*, 2022, <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/dispatch-redispatch> (letzter Zugriff: 28.02.2022)
- [5] DWA-Arbeitsgruppe KEK-7.5 „Lastmanagement und Interaktion mit Energienetzen“: Arbeitsbericht „(Energetische) Flexibilitäten auf Kläranlagen – Hintergrund und Voraussetzungen für eine sinnvolle Nutzung“, *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2019, 66 (10), 820–827
- [6] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Flexibilisierung von Biogasanlagen*, 2018
- [7] DESTATIS: Pressemitteilung Nr. 310 vom 14. August 2020 – 1515 Gigawattstunden Strom aus Klärgas im Jahr 2019 erzeugt, https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20_310_433.html (letzter Zugriff: 23.02.2022)
- [8] DESTATIS: *Wasserwirtschaft: Klärschlammverbrennung aus der öffentlichen Abwasserbehandlung 2020*, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/liste-klaerschlammerverwertungsart.html> (letzter Zugriff: 23.02.2022)
- [9] Statista: *Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland in den Jahren 1992 bis 2021*, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167671/umfrage/anzahl-der-biogasanlagen-in-deutschland-seit-1992> (letzter Zugriff: 23.02.2022)
- [10] B. Schumacher, H. Wedwitschka, J. Hofmann, V. Denysenko, H. Lorenz, J. Liebetrau: Disintegration in the biogas sector – Technologies and effects, *Bioresource Technology* 2014, 168, 2–6
- [11] Merkblatt DWA-M 368: *Biologische Stabilisierung von Klärschlamm*, DWA, Hennef, 2014
- [12] Merkblatt DWA-M 380: *Co-Vergärung in kommunalen Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen*, DWA, Hennef, 2020
- [13] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Leitfaden Biogas – Von der Gewinnung zur Nutzung*, 7. Aufl., 2016
- [14] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Biogas-Messprogramm III*, 2021
- [15] Drittes Gesetz zur Neuordnung energiewirtschaftlicher Vorschriften, *Bundesgesetzblatt I*, Nr. 61 vom 27. Dezember 2012
- [16] J. Daniel-Gromke, P. Kornatz, M. Dotzauer, M. Stur, V. Denysenko, M. Stelzer, H. Hahn, B. Krautkremer, H. von Bredow, K. Antonow: *Leitfaden Flexibilisierung der Strombereitstellung von Biogasanlagen (LF Flex)*, Abschlussbericht, Leipzig, 2019
- [17] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): *Stand der Flexibilisierung von Biogasanlagen*, 2022, <https://biogas.fnr.de/biogasanutzung/stromerzeugung/stand-der-flexibilisierung-von-biogasanlagen> (letzter Zugriff: 28.02.2022)
- [18] C. Hubert, B. Steiniger, C. Schaum: Residues from the Dairy Industry as Co-Substrate for the Flexibilization of Digester Operation, *Water Environment Research* 2019, 92 (4), 534–540
- [19] T. Barchmann, E. Mauky, M. Dotzauer, M. Stur, S. Weinrich, H. F. Jacobi, J. Liebetrau, M. Nelles: Erweiterung der Flexibilität von Biogasanlagen. Substratmanagement, Fahrplansynthese und ökonomische Bewertung, *Landtechnik* 2016, 71 (6), 233–251
- [20] E. Mauky, M. Winkler, C. Krebs, U. Müller, D. Rabe, S. Weinrich, J. Kretzschmar: „Gazelle“ weist nach. Modellgestütztes Fütterungsmanagement ermöglicht flexible Prozessführung, *Biogas-Journal* 2021, 24 (4), 114–119
- [21] E. Mauky, S. Weinrich, H. F. Jacobi, H. J. Nägele, J. Liebetrau, M. Nelles: Demand-driven biogas production by flexible feeding in full-scale – Process stability and flexibility potentials, *Anaerobe* 2017, 46, 86–95
- [22] B. Steiniger, C. Hubert, C. Schaum: Digesters as Heat Storage – Energetic Assessment of Flexible Variation of Digester Temperature, *Chemical Engineering and Technology* 2022, 45 (1), 144–151
- [23] B. Steiniger, C. Hubert, C. Schaum: Digester as Heat Storage – Effects of the Digester Temperature on the Process Stability, Quality of the Sludge Liquor and the Dewaterability, eingereicht
- [24] I. Seick, M. Vergara-Araya, J. Wiese: Flexible Energy from Biogas: Use of Secondary Digesters for Heat Storage – Results of Fermentation Tests, *CLEAN – Soil, Air, Water* 2021, 2000373
- [25] J. Daniel-Gromke, N. Rensberg, V. Denysenko, T. Barchmann, K. Oehmichen, M. Beil, W. Beyrich, B. Krautkremer, M. Trommler, T. Reinholz, J. Vollprecht, C. Bühr: *Optionen für Biogas-Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht*, Abschlussbericht, Texte 24/2020, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020

Autoren

Bettina Steiniger, M. Sc., Johannes Blattenberger, M. Sc., Christian Hubert, M. Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum
 Universität der Bundeswehr München
 Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik
 Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

E-Mail: bettina.steiniger@unibw.de

Dr. Jörg Kretzschmar
 DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

Dr. Stefan Einsiedel
 Geschäftsführer für die Bereiche Umweltethik und Umweltbildung
 im Zentrum für Globale Fragen, Hochschule für Philosophie
 Kaulbachstraße 31, 80539 München

Markus Heinrich
 Wolter Hoppenberg – Rechtsanwälte Partnerschaft mbB
 Münsterstraße 1–3, 59065 Hamm

Dr.-Ing. Konstantinos Athanasiadis
 Dr.-Ing. Steinle Ingenieurgesellschaft für Abwassertechnik mbH
 Ziegelstraße 2, 83629 Weyarn

