

Systematische Analyse von Biogasanlagen zeigt ungenutztes Optimierungspotential

Michael Lau^a, Jutta Cook^b, Prof. Dr.-Ing. Alexander Floß^a

Zusammenfassung

Für eine nachhaltige Energiewende spielt Biogas in der Stromerzeugung eine wichtige Rolle. Gerade in kleinen und mittleren Biogasanlagen steckt Optimierungspotenzial, das sich oft nur schwer erkennen lässt. Fermenterbiologie, Vertriebsmodelle und regulatorische Vorgaben sind hochkomplex, schwer durchschaubar oder nur mit politischem Willen veränderbar. Diese Analyse zeigt beispielhaft, welche Betrachtungen sich lohnen, worauf Anlagenbetreiber Einfluss nehmen können und wo die Politik nachbessern muss.

Die Rolle von Biogasanlagen für Klima und Energieversorgung

Der Weltklimabericht 2022 macht klar: es gibt nur einen begrenzten Zeitraum, in dem wir den Klimawandel abfedern können¹. Bereits im Jahr 2000 hat Deutschland das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verabschiedet, um die Energiewende voranzutreiben. Seine Revision 2021 enthält ambitionierte Ausbauziele mit Ausschreibungsmengen von 500MW für Biomasse, um die Klimaziele bis 2030 erreichen zu können².

Neben Holz aus Reststoffen oder Forstwirtschaft kommt in der regenerativen Energieerzeugung vor allem Biomasse aus der Landwirtschaft zum Einsatz. Reststoffe wie Mist, Grünschnitt, Gülle oder eigens dafür angebaute Rohstoffe wie Mais und Ganzpflanzensilage aber auch Bioabfall werden in Biogasanlagen anaerob vergärt. Die meisten Biogasanlagen nutzen das entstehende Gas vor Ort. Motoren, Mikroturbinen oder Brennstoffzellen erzeugen in Blockheizkraftwerken (BHKW) Strom und Wärme. Die Zahl dieser Biogasanlagen ist seit Inkrafttreten des EEG von 1.750 Anlagen auf 9.692 Anlagen im Jahr 2021 gestiegen³.

Viele dieser Anlagen laufen nach Auskunft des Fachverband Biogas e.V. nicht so störungsfrei und profitabel, wie die Betreiber es sich wünschen. Um den Ursachen auf den Grund zu gehen, hat die Hochschule Biberach im Herbst 2021 eine Biogasanlage in der Nähe von Biberach genauer untersucht.

Die hier berichteten Ergebnisse dieser Analysen sind im Herbst 2021 unter energiewirtschaftlich und energiepolitisch gänzlich anderen Voraussetzungen entstanden. Ein

¹ *Sechster IPCC Sachstandbericht*, WG I D., S.30ff Abgerufen von https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGI-SPM_deutsch_barrierefrei.pdf

² *Pressemitteilung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)* v. 23.09.2020. Abgerufen von <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2020/09/20200923-altmaier-eeg-novelle-2021-klares-zukunftssignal-fuer-mehr-klimaschutz-und-mehr-erneuerbare.html>

³ Jaqueline Daniel-Gromke, Dr. Peter Kornatz, Martin Dotzauer, Mathias Stur, Velina Denysenko, Manuel Stelzer, Dr. Henning Hahn, Dr. Bernd Krautkremer, Dr. Hartwig von Bredow, Dr. Katrin Antonow (2019). *Leitfaden Flexibilisierung der Strombereitstellung von Biogasanlagen (LF Flex)*. Abgerufen von https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/20191108_LeitfadenFlex_Abschlussbericht.pdf

a) Hochschule Biberach, b) Jutta Cook Communications, Biberach

Jahr später haben akute Versorgungsengpässe und regulatorische Entwicklungen einige der wirtschaftlichen Erkenntnisse überholt. Die Ergebnisse in Bezug auf Anlagenbetrieb und -effizienz hingegen sind aktueller denn je: Energiekrise und Klimaschutz werden sich ohne die effizienteste Nutzung aller zur Verfügung stehenden Energieerzeuger nicht meistern lassen.

Herausforderungen beim Betrieb von Biogasanlagen

Der Betrieb von Biogasanlagen basiert auf dem komplexen Zusammenspiel von empfindlichen Mikroorganismen und ausgefeilter Technik. Betriebsstörungen führen schnell zu Ertragseinbußen. Nach Auskunft des Fachverbands Biogas e.V. haben die meisten Betreiber einen guten Überblick über ihre Anlagentechnik, während Fermentationsprozesse eher als Blackbox erscheinen, in der das Verändern einer Variablen das ganze System aus dem Gleichgewicht bringen kann. Die vorliegende Untersuchung stieß zudem auf Schwierigkeiten bei der Schaffung von Transparenz in Bezug auf Energie- und Finanzströme im Anlagenbetrieb. Ansatzpunkte zur wirtschaftlichen Optimierung konnten erst nach einer umfangreichen Bilanzierung der Gesamtanlage bewertet werden.

Gegebenheiten in der analysierten Biogasanlage

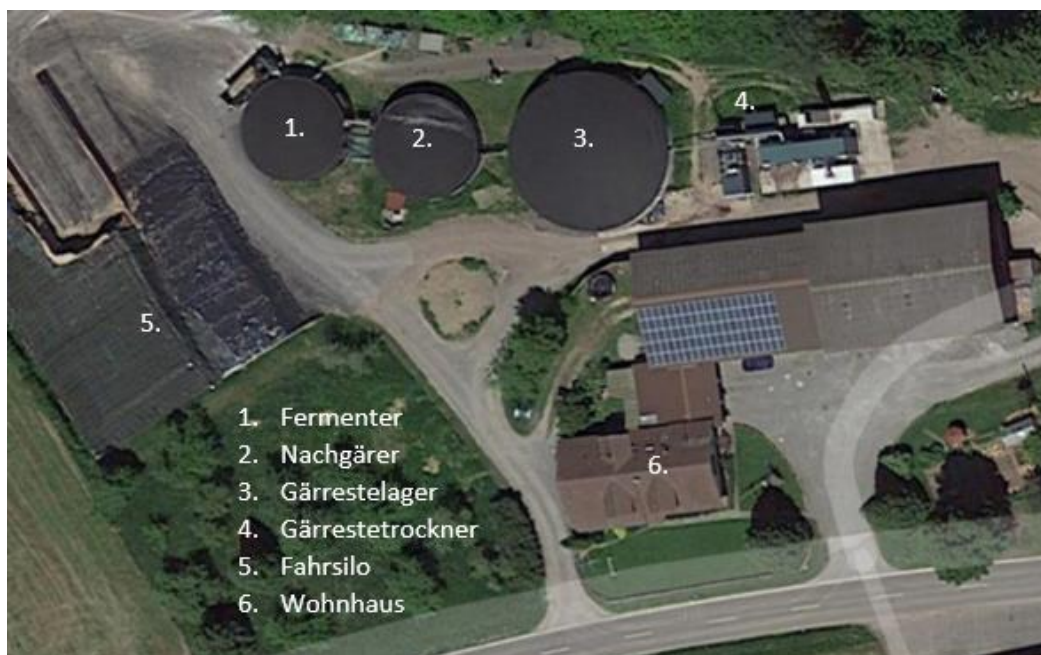


Abbildung 1: Luftbild der Biogasanlage. Quelle: Betreiber

Die untersuchte Biogasanlage (siehe Abbildung1) ist seit 2006 am Netz und setzt ausschließlich nachwachsende Rohstoffe als Fermentationssubstrat ein. Eine automatische Fütterungsanlage bringt frisches Substrat in den Fermenter ein. Rührwerke vermengen es mit der vorhandenen Biomasse. Zwischen dem Fermenter und Nachgärer befindet sich ein Pumpenhaus, dessen Pumpe Substrat zwischen diesen Behältern zirkulieren kann. In regelmäßigen Abständen wird Substrat dem Nachgärer entnommen und ins Gärrestelager gepumpt.

Sowohl im Fermenter als auch in Nachgärer und Gärrestelager entsteht in diesem Prozess Biogas. Es sammelt sich unter EPDM-Folienhauben, mit denen die Behälter gasdicht

abgeschlossen sind. Diese flexiblen Abdeckungen fungieren gleichzeitig als Speicher. Unterirdische Gasleitungen verteilen das Biogas auf mehrere Blockheizkraftwerke (BHKW), die in Containern untergebracht sind. Unterwegs passiert das Biogas eine Gaskühlstrecke, die den für die BHKW schädlichen Wasserdampf aus dem Biogas auskondensiert.

Strom, Wärme und Gärrestnutzung

Das entwässerte Biogas wird in drei Gasmotoren verbrannt, die dabei Wärme- und elektrische Energie erzeugen. Die zeitlich versetzt installierten Blockheizkraftwerke sind unterschiedlich leistungsstark. BHKW1 hat eine elektrische Leistung von 135kW, BHKW2 bringt 210kW. BHKW3 ist mit 350kW das größte Modul und erzeugt rund 96% der jährlich produzierten Energiemenge.

Die elektrische Bemessungsleistung der Gesamtanlage beträgt 327kW_{el}, die auch kontinuierlich erzeugt und ins Netz eingespeist werden. Eine Anpassung der Erzeugung an Bedarf oder Stundenpreise erfolgt nicht. Eigenstrom wird nicht entnommen, da dafür die nötige Infrastruktur fehlt; beim Bau der Anlage waren entsprechende Investitionen unrentabel.

Die BHKW-Module sind in Containern auf dem Betriebsgelände verteilt. Die Wärme aus der Motorblockkühlung wird vorrangig zur Beheizung von Fermenter und Nachgärer genutzt. Das Gärrestelager bleibt unbeheizt und kühlt auf Umgebungstemperatur ab. Ein Teil der überschüssigen BHKW-Abwärme wird zur Beheizung des Wohngebäudes genutzt. Der größte Anteil der Motorblock-Abwärme steht einem Gärrestetrockner zur Verfügung. Der Trockner nutzt zudem Abgas-Abwärme des 350kW-BHKW, das sich in baulicher Nähe zum Gärrestetrockner befindet.

Im Trockner wird den zugeführten nassen Fermentationsresten Wasser durch Verdunstung entzogen. Das getrocknete Gärrest-Substrat vermarktet der Betrieb zum einen unter eigener Hausmarke als veganen Dünger. Zum anderen kommt es als hochwertiger Feststoff-Dünger auf den eigenen landwirtschaftlichen Flächen zum Einsatz.

Flüssiger Gärrest kann alternativ direkt über die Fassfüllstation dem Gärrestelager entnommen und auf die Felder ausgebracht werden. Die Möglichkeit zur Gärrest-Trocknung verringert die Anzahl der notwendigen Fahrten zur Ausbringung gegenüber der flüssigen Gärrestdausbringung erheblich. Das spart Arbeitszeit, Maschinenabnutzung und Treibstoff und reduziert CO₂ Emissionen. Daneben lässt sich der hochwertige Trockendünger an Gärtnereien, Landwirtschaft und Kleingärtner vermarkten. Allerdings ist damit ein erheblicher Vertriebsaufwand verbunden, sodass hier bislang kaum nennenswerte Erträge erwirtschaftet wurden. Rentabel ist der Betrieb des Trockners allein durch den ausgezahlten Zuschuss für die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK).

Diese Bonuszahlungen sind der maßgebliche Grund, warum zum Untersuchungszeitpunkt auf einen flexibilisierten Betrieb verzichtet wird: Lastspitzen bei erhöhter Nachfrage könnten im Flexbetrieb dazu führen, dass die thermische Leistung des Gärrestetrockners zeitweise überschritten wird und KWK-Bonuszahlungen entfallen. Diesen Ausfall konnten die zu erwarteten Mehreinnahmen am Strommarkt nicht ausgleichen. Es wäre technisch möglich, diese Spitzen mit einem thermischen Speicher zu puffern, der die überschüssige Wärme dem Gärrestetrockner außerhalb der Betriebszeiten der BHKW bereitstellt. Die Amortisation der

hohen Investitionskosten hängt allerdings direkt von der Entwicklung der Strommarktpreise ab.

Wärme, die nicht für die Beheizung von Wohnhaus, Fermenter oder Gärrestetrockner abgenommen werden kann, muss über Notkühler abgeführt werden, die sich auf den Dächern der BHKW-Container befinden.

Vorgehen bei der Bilanzierung der Anlage

Zur Ermittlung des Optimierungspotenzials war eine gründliche Analyse des Gesamtprozesses und eine umfangreiche Bilanzierung der Hauptkomponenten nötig. Dabei wurden alle Stoffströme, Prozessgrößen und wirtschaftlichen Parameter vom Anliefern der Silage bis zur Nutzung der Ausgangsprodukte berücksichtigt.

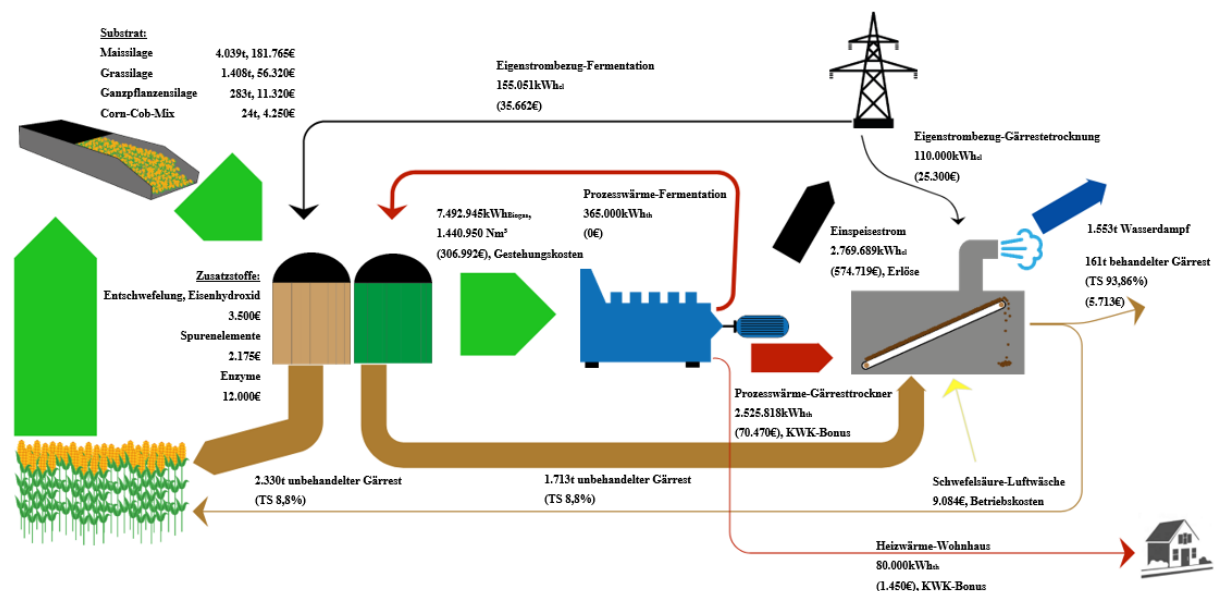


Abbildung 2: Ermittelte Energie-, Stoff- und Finanzströme. Eigene Darstellung.

Ansatzpunkte für Optimierungspotential

Die Analyse untersuchte mögliches Optimierungspotenzial in drei Bereichen: Beseitigung von systematischen Fehlern im Prozess oder beim Betrieb der einzelnen Komponenten, bauliche Maßnahmen und wirtschaftliche Optimierungsmöglichkeiten beim flexibilisierten Betrieb der Anlage. Aus einer rückwirkenden wirtschaftlichen Betrachtung wurde abgeleitet, welche Maßnahmen sinnvolle Optionen für die Zukunft darstellen könnten – unter der Prämisse weitgehend gleichbleibender Entwicklungen.

Strom- und Wärmeverbrauch beim Anlagenbetrieb

Die Stromdaten konnten nach Baugruppen getrennt über drei vorhandene Stromzähler erfasst werden: ein Zähler für die Einspeisung des erzeugten Stroms, ein Zähler für den Betriebsbedarf der Biogasanlage und ein Zähler für den Stromverbrauch des Gärrestetrockners. Die Wärmemengen für die Gärrestetrocknung und die Vergütung der KWK-Boni sind dem Umweltgutachten entnommen.

Die benötigte Strommenge für den Betrieb der Biogasanlage ohne Berücksichtigung des Gärrestetrockner beträgt 155.000kWh pro Jahr. Bei einem Strompreis von 22 Cent pro kWh zum Untersuchungszeitpunkt sind das rund 36.000€ an jährlichen Stromkosten. Über 40% davon entfallen mit 65.000kWh / 15.000€ allein auf den Betrieb der Fermenter-Rührwerke.

Einsparpotenzial am Fermenter

Die Analyse zeigte, dass eine Umrüstung der Schnellläufer-Stabrührwerke zu langsamer laufenden Paddelrührwerken 73% oder 48.000kWh weniger Strom verbrauchen würde. Auf den Gesamtstromverbrauch der Anlage bezogen ließen sich hier 30% einsparen. Diesem Einsparpotenzial standen zum Untersuchungszeitpunkt rund 48.000€ an Investitionskosten gegenüber. Ein Blick auf die Effizienz der Rührwerke lohnt sich also.

Einsparpotenzial durch technische Anpassungen

Bei der Analyse der BHKW fand sich ein Einsparpotenzial, das direkt realisiert wurde: die Justierung des falsch voreingestellten Wirkfaktors Cosinus Phi am Erzeuger hat dessen Leistung so optimiert, dass sich der Substrateinsatz um 1,5% verringert. Die Ersparnis beträgt 4.250€ pro Jahr.

Stromfresser bei der Gärrest-Trocknung

Knapp 40% des Gesamtstromverbrauchs der Anlage entfällt auf die Gärresteverarbeitung, besonders auf den hierbei eingesetzten Luftwäscher. Er ist der Gärrestetrocknung nachgeschaltet, um die Abluft des Trockners auf die gesetzlich vorgeschriebene Qualität zu reinigen. Jährlich werden ca. 35.000 kWh_{el} für seinen Betrieb benötigt, was zum Untersuchungszeitpunkt mit ca. 8.000 € zu Buche schlug. Alternativ käme der Einsatz eines Biofilters in Betracht. Dieser nutzt einen Biofilm aus Mikroorganismen auf der Oberfläche von Holzhackschnitzeln zur Reinigung der durchgeleiteten Luft. Der Betrieb eines solchen Biofilters könnte den Strombedarf um 80% auf 7.000kWh pro Jahr verringern. Auf den Stromverbrauch der Gesamtanlage bezogen entstände dabei ein Einsparpotenzial von 10%. Darüber hinaus entfielen der Ankauf von Verbrauchsmaterial: der Biofilter benötigt im Gegensatz zum aktuellen Luftwäscher keinen Schwefel, dessen Kosten sich auf ca. 9.000 € pro Jahr belaufen. Die Umrüstung wies damit zum Untersuchungszeitpunkt ein jährliches Einsparpotenzial von etwa 15.500 € auf. Bei Kosten für den Bau des Biofilters von 114.500 € betrug die Amortisationszeit ca. 7 Jahre.

Veränderte Betriebsweisen bei der Biogasverstromung

Um zu ermitteln, ob Veränderungen an der Betriebsweise zu höheren Erträgen führen, wurden drei unterschiedliche Betriebsmodelle unter Berücksichtigung der elektrischen und thermischen Wirkungsgrade analysiert. Die wirtschaftliche Betrachtung basiert auf den zum Untersuchungszeitpunkt an der Strombörse herrschenden Spotmarktpreisen nach Stundenwerten. Die zwischenzeitlichen Veränderungen beeinflussen zwar die konkreten Beträge erheblich, nicht aber die beschriebenen Marktmechanismen.

Die wirtschaftliche Analyse betrachtete auch den sogenannten Flexbetrieb. Dabei gibt der Stromabnehmer vor, zu welchen Zeiten der Erzeuger seine Kraftwerke mit welcher Leistung betreibt. Die Steuerung erfolgt remote durch den Stromabnehmer, meist sind dies Direktvermarkter. Dieser optimiert seine Marge, indem er den meisten Strom zu den gut vergüteten Zeiten abnimmt. Je nach Vertrag geht einen Teil der gesteigerten Erlöse an den

Erzeuger. Die Vertragsangebote für den Betreiber der untersuchten Anlage waren bislang so unattraktiv, dass ein Flexbetrieb nicht zustande kam.

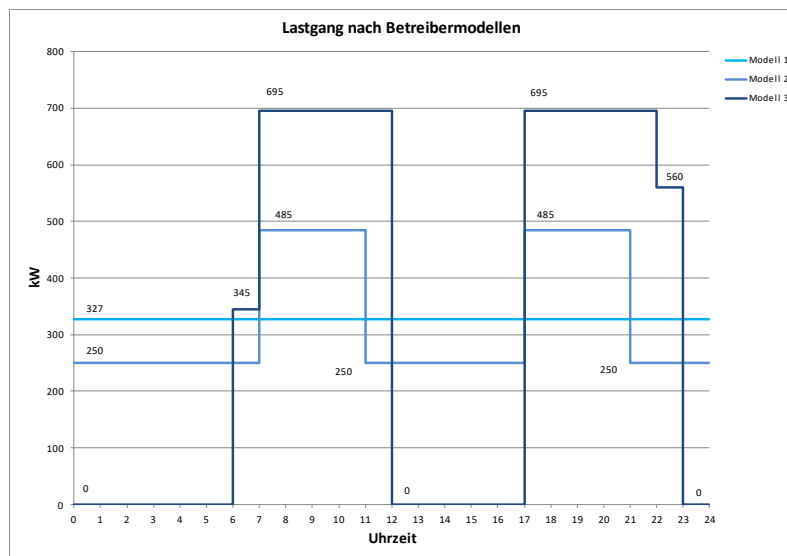


Abbildung 3: Lastgang der Betreibermodelle

Vorgehen

Als Ausgangsbasis in Modell 1 dient die derzeitige Betriebsweise der Biogasanlage: das größte zur Verfügung stehende BHKW3 wird mit einer konstanten elektrischen Leistung von 327 kW betrieben. Die beiden anderen BHKW kommen nur in Wartungspausen zum Einsatz. Damit wird die Bemessungsleistung ausgeschöpft, die auch den anderen Modellrechnungen zu Grunde liegt. Die gesamte dabei entstehende thermische Energie kann im Gärrestetrockner genutzt werden.

Bei Modell 2 wird BHKW3 konstant mit mindestens 250 kW betrieben, um eine thermische Grundlast für den Gärrestetrockner bereitzustellen. In den an der Strombörse gut vergüteten Stunden zwischen 7 bis 11 Uhr und 17 bis 21 Uhr läuft die Anlage im Flexbetrieb: die Leistung von BHKW3 wird auf 350kW erhöht und zusätzlich BHKW1 mit 135kW zugeschaltet. Bei diesem Modell kann die gesamte erzeugte Wärme der BHKWs im Gärrestetrockner genutzt werden. Allerdings ist der elektrische Wirkungsgrad während des Teillastbetriebs von BHKW3 schlechter.

		Sondergasmotor 350kW E 3268 LE232		
Last	%	100	75	50
elektrischer Wirkungsgrad	%	38,74	37,23	32,94
elektrische Leistung	kW	350	255	165
Kühlwasseabwärme	kW	193	162	132
Abgaswärme bis 120° C	kW	222	174	122

Tabelle 1: Leistungswerte des 350 kW BHKW in Abhängigkeit zur Last

In Modell 3 laufen alle drei zur Verfügung stehenden BHKWs mit der gesamten elektrischen Leistung von 695 kW in der Zeit von 7 bis 12 Uhr und von 17 bis 23 Uhr. In der Restzeit stehen die BHKW still. Die Laufzeiten wurden so gewählt, dass die gesamte Bemessungsleistung von 327KW in den Zeiten erzeugt wird, die den besten Ertrag an der Börse liefern. Allerdings kann dabei die anfallende Wärme im Gärrestetrockner nicht mehr voll genutzt werden. Dies führt zu deutlichen Einbußen von rund 20.000€ beim KWK-Bonus.

Ergebnisse

Diese drei Modelle wurden für die Jahre 2019, 2020 und 2021 gegenübergestellt.

Modell 3 wäre 2019 und 2020 bei niedriger Erzeugervergütung ein Verlustgeschäft gewesen, da die Einbußen beim KWK-Bonus höher waren als die Mehrerlöse beim Strompreis. Erst 2021 wendete sich das Blatt: mit der Steigerung der Strompreise hätte Modell 3 einen nennenswerten Mehrertrag von circa 12.000 € erzielt.

Ähnlich verhält es sich mit Modell 2. Diese Betriebsweise hätte für die Jahre 2019 und 2020 den Ertrag um ca. 4.000 € gemindert. Der Minderertrag wäre durch die reduzierten Wirkungsgrade der BHKWs entstanden, denn der vorgegebene Flexbetrieb-Fahrplan des Direktvermarkters hätte einen Betrieb im Nennlastbereich nicht zugelassen. Auch in diesem Modell zeigt der Strompreisanstieg Wirkung auf die Bewertung: ab 2021 hätte der Flexbetrieb einen Mehrertrag erzielt, der die Einbußen im elektrischen Wirkungsgrad mehr als ausgeglichen hätte.

Optimierungspotenzial Fermenter-Biologie

Weitere potenzielle wirtschaftliche Einsparpotentiale zeigten sich bei den Zusatzstoffen für den Fermentationsprozess.

Der Markt hält eine Vielzahl von Produkten bereit, mit denen die Fermentationseffizienz gesteigert werden kann. Der Betreiber der untersuchten Anlage macht seit Jahren gute Erfahrungen mit den Enzymen seines Zulieferers. Dieser Zusatzstoff wirkt viskositätsverbessernd auf das Substrat im Fermenter und Nachgärer und führt nachvollziehbar zu deutlich gesteigerten Gasausbeuten bei gleichbleibender Fütterung.

Um herauszufinden, ob die Effizienz des Biogasprozesses mit anderen Fermentationshilfen weiter gesteigert werden kann, wurde ein Mitbewerber um eine Berechnung des Mehrertrags bei Einsatz seines Zusatzstoffs gebeten. Darin sind Bakterien enthalten, die Lignocellulose im Substrat besser verstoffwechseln sollen. Allerdings brauchen diese Bakterien dafür eine niedrigere Temperatur im Fermenter. Nach Analyse von Anlage und Fütterung sagt dieser Hersteller, dass ein Wechsel auf sein Produkt ein wirtschaftliches Einsparpotential von ca. 10.000€ im Jahr ergäbe. Die Richtigkeit dieser Prognose ließ sich nicht unabhängig überprüfen.

Der Anbieter konnte keine Erfahrungswerte für die Überführung einer Biogasanlage vom thermophilen in den mesophilen Betrieb vorlegen. Es ist nicht bekannt, ob die Fermenterbiologie bei der Abkühlung nachhaltig Schaden nehmen würde. Das damit verbundene Ausfallrisiko war dem Anlagenbetreiber zu groß.

Fazit und Ausblick

Unabhängig von den wirtschaftlichen Entwicklungen lohnt sich eine Analyse von Anlageneffizienz und Optimierungspotenzial. Gerade kleine Ursachen wie der falsch eingestellte Wirkfaktor sind rasch zu adressieren. Daneben haben die gestiegenen Preise das wirtschaftliche Optimierungspotenzial natürlich deutlich vergrößert, zum Beispiel beim Umstieg auf Flexbetrieb. Es lohnt sich mehr denn je, mögliche Geschäftsmodelle detaillierter zu untersuchen.

Dagegen wirken sich die Bestimmungen der KWK-Vergütung weiterhin ähnlich negativ aus wie die Einspeisedeckelung. Deren Aufhebung könnte die Auslastung überbauter Anlagen fördern. Eine effiziente Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung an den Biogasanlagen im ländlichen Raum ist schwierig. Oft gibt es keine sinnvolle Möglichkeit für die Nutzung der BHKW-Abwärme, weil es in räumlicher Nähe keine zweckmäßige Abnahme wie etwa angrenzende Wohngebiete gibt.

Für kleinere und mittelgroße Anlagen gibt es aktuell auch keine technischen Lösungen für Aufbereitung und Transport des erzeugten Biomethans. Dies könnte sich aber unter den gegenwärtigen und zukünftig zu erwartenden Bedingungen gegebenenfalls schnell ändern. So könnten Geschäftsmodelle entstehen, bei denen das dezentral erzeugte Biogas einer zentralen Nutzung in Industriebetrieben oder anderen Großabnehmern zugeführt wird. Dort lässt sich eine sinnvolle Wärmenutzung bei der Kraft-Wärme-Kopplung viel effizienter realisieren und zukünftig auch wirtschaftlich attraktiver darstellen.

Für Anlagenbetreiber ist die Energieerzeugung aus Biogas ein sehr volatiles Geschäft mit vielen Variablen. Während die Politik Marktmechanismen nur schwer regulieren kann, könnte sie Vorgaben und Voraussetzungen bei der Erzeugung durchaus beeinflussen. Ein enger Kontakt zu den Anlagenbetreibern und ein offenes Ohr für die Verbände wäre hilfreich, um so viel Planungssicherheit wie möglich herzustellen. Denn Ausbau und möglichst effiziente Nutzung von Biogasanlagen sind wichtige Bausteine für eine energieautarke EU und notwendige Voraussetzung für die Einhaltung der Klimaschutzziele bis 2030.

Autoren-Kontakt: Michael Lau mla@nexol-ag.com