Monitoring von Biogasanlagen Diversifizierung der Einsatzstoffe und Verfahrenstechnik

Kurzfassung des Abschlussberichts



Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Vöttinger Straße 38, 85354 Freising Internet: http://www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de

Tel.: 08161/71-3450

März 2016

© LfL

Das "Biogas-Monitoring" der LfL Bayern hat zum Ziel, vertiefte Einblicke in den Betriebserfolg landwirtschaftlicher Biogasanlagen mit unterschiedlichsten Einsatzstoffen und technischen Konzepten zu gewinnen. Die hinsichtlich Umfang und zeitlicher Auflösung sehr anspruchsvolle Datenerhebung in der Praxis liefert Aufschluss über Funktionalität, technische Schwachstellen, Umweltwirkungen und Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen in Bayern. Etwa alle drei Jahre erfolgt eine Auswahl neuer sogenannter Pilotanlagen für die Untersuchung aktueller technischer und politischer Entwicklungen.

Der vorliegende Bericht zum Biogas-Monitoring der LfL befasst sich unter dem Titel "Diversifizierung der Einsatzstoffe und Verfahrenstechnik in Biogasanlagen" mit zwei Schwerpunkten. Der erste Schwerpunkt sind vormontierte "Hofbiogasanlagen" oder "Kompaktanlagen", die seit einigen Jahren von unterschiedlichen Herstellern angeboten werden. Mit diesem Konzept soll der bauliche und zeitliche Aufwand für die Errichtung wie auch Inbetriebnahme der Anlagen vor Ort auf ein Minimum reduziert werden. Um die Kompaktmodule transportieren zu können, ist das Gärvolumen der Fermenter bautechnisch begrenzt und damit die hydraulische Verweilzeit der Substrate im Gärraum relativ kurz. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse aus dem Monitoring zweier Kompaktanlagen unterschiedlicher Hersteller präsentiert. Die Futterration dieser Anlagen bestand regelmäßig zu mehr als 80 % aus Wirtschaftsdünger.

Der zweite Schwerpunkt des vorliegenden Berichts sind Biogasanlagen, die alternative pflanzliche Rohstoffe/Energiepflanzen einsetzen. Unter den Energiepflanzen für die Biogaserzeugung zeichnen sich Zuckerrüben durch einen hohen Gehalt an leicht vergärbaren Inhaltstoffen aus, weshalb sie für die selektive Beschickung im Hinblick auf eine Flexibilisierung der Gasproduktion und Stromerzeugung von Interesse sind. Die Vergärung von Zuckerrüben bringt neben Vorteilen wie der Verringerung der Viskosität des Gärgemisches auch Probleme mit sich. Je nach Bodenart der Rübenanbaufläche, Ernteverfahren und Nachreinigung der Zuckerrüben gelangt eine mehr oder weniger große Menge an Erd-/Schmutzanhang mit in die Gärbehälter. Im Laufe der Zeit kann es hierdurch zur Bildung von Sinkschichten/Sedimentkörpern in den Fermentern kommen, die das effektive Arbeitsvolumen reduzieren. Auch die längerfristige Lagerung von Zuckerrüben für den Einsatz in Biogasanlagen stellt aufgrund der leichten Verderblichkeit der Rüben besondere Anforderungen an die Verfahrenstechnik. Zwei der im vorliegenden Bericht dokumentierten "NAWARO-Biogasanlagen" und eine Hofbiogasanlage setzten jeweils saisonal Zuckerrüben ein.

Zusätzlich wurde das Monitoring auf fünf bereits bekannten Pilotanlagen fortgeschrieben. In Verbindung mit vorausgegangenen Berichten zu diesen Anlagen lassen sich so weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen baulicher oder technischer Veränderungen und von Verschleißerscheinungen auf die Anlageneffizienz gewinnen. Die Datenerfassung für das Monitoring umfasste im Wesentlichen die folgenden Maßnahmen:

- 1. Probenahmen (monatlich): Beprobung aller Einsatzstoffe und Gärbehälterinhalte
- 2. Datenlogger (zweimal täglich bzw. Zwölfstundenmittelwert): Erfassung und Aufzeichnung aller automatisch erfassbaren Messwerte im Anlagenbetrieb
- 3. Betriebstagebuch (ein-/zweimal täglich): Dokumentation der Einsatzstoffmengen, Zählerstände, Anlageneinstellungen und Betriebsstörungen
- 4. Restgaspotentialtest (jährlich): Batch-Gärtest mit einer Gärrestprobe

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse aus dem Monitoring von **neun bayerischen** Biogasbetrieben über den Zeitraum von einem Jahr (Kalenderjahr 2014) zusammen. In

den Biogasanlagen dieser Betriebe – davon zwei ökologisch und sieben konventionell wirtschaftend – wurden Wirtschaftsdünger aus eigener Tierhaltung, unterschiedliche Energiepflanzen und in einem Fall auch Reststoffe (Nebenprodukte) aus der Lebensmittelverarbeitung zur Biogaserzeugung eingesetzt. Die Pilotbetriebe unterscheiden sich entsprechend der Ausrichtung des Forschungsprojekts vor allem hinsichtlich der Auswahl an Einsatzstoffen, des Betriebsmanagements und insbesondere der Anlagentechnik. Im Folgenden wird versucht, aus den Beobachtungen wie auch Untersuchungen während des Monitorings grundlegende Folgerungen in Bezug auf die Diversifizierung der Einsatzstoffe und Verfahrenstechnik bei der landwirtschaftlichen Biogasproduktion zu ziehen. Diese unterliegen gewissen Einschränkungen, da die verschiedenen Biogasanlagenkonzepte in zum Teil völlig unterschiedliche landwirtschaftliche Betriebstypen integriert sind und daher immer nur bedingt miteinander verglichen werden können. Genaue Spezifikationen und ausführliche Einzeldiskussionen zu den Anlagen sind im ausführlichen Abschlussbericht zu finden.

Im Hinblick auf die zur Biogaserzeugung verwendeten **Einsatzstoffe** lassen sich die neun untersuchten Anlagen in drei Gruppen einteilen (vgl. Abbildung 1). Zur Wiedererkennung im Folgenden und in vorausgegangenen Berichten wurden die Pilotanlagen mit einer Identifikationsnummer versehen.

Gruppe I umfasst die beiden neu aufgenommenen "Kompaktanlagen" mit einem Massenanteil in der Futterration von etwa 80 % Gülle und anderen Wirtschaftsdüngern. In dem einen Betrieb, der in erster Linie Wirtschaftsdünger aus der Milchviehhaltung mit Nachzucht und Bullenmast zur Biogaserzeugung einsetzt, bilden zwei Hochbehälter mit integrierter Hydrolyse-/ Vorversäuerungskammer die Hauptgärstufe (Anlage 22). Der liegende Kompaktfermenter des anderen Betriebs (Anlage 23), der überwiegend Gülle aus der Schweinemast und Ferkelerzeugung einsetzt, arbeitet nach dem "Pfropfenstrom" - Prinzip. Während diese Anlage über einen Nachgärer (Rührkesselfermenter) verfügt, ist bei Pilotanlage 22 keine zweite Gärstufe vorhanden. In beiden Anlagen wurden die Wirtschaftsdünger hauptsächlich durch Maissilage ergänzt, in Anlage 23 wurden zusätzlich geringe Mengen an Szarvasigras-Silage vergoren. Batchtests der Silage zeigten zwar, dass der erste Schnitt des Szarvasigrases fast so hohe Biogaserträge lieferte, wie eine durchschnittliche Maissilage, doch neigten die zum Zeitpunkt der Blüte des Grases ziemlich verholzten Fasern in Verbindung mit der dünnflüssigen Schweinegülle zum Aufschwimmen. Pilotbetrieb 22 setzte neben Maissilage auch Grassilage vom Grünland und Getreide - Ganzpflanzensilage ein.

Zu Versuchszwecken wurden in Anlage 22 im Winter 2014 erstmals frische Zuckerrüben vergoren. Da der Betrieb über einen selbstfahrenden Futtermischwagen mit integrierter Silofräse verfügt, konnten die ausschließlich mit einem Reinigungslader trocken gereinigten Zuckerrüben einfach zerkleinert und in den Feststoffdosierer der Biogasanlage eingetragen werden. Die Hochreaktoren der Biogasanlage werden ausschließlich durch stetiges Umpumpen der Gärsuspension mithilfe zweier Exzenterschneckenpumpen durchmischt. Der Einsatz von etwa einer Tonne Zuckerrüben pro Tag über einen Zeitraum von zwei Monaten - das entspricht einem Einsatzstoffanteil von etwa 5 % - führte im beobachteten Zeitraum zu einem Rückgang des Pumpendrucks der Zirkulationspumpe von Fermenter II um 9 %, wobei der Stromverbrauch der Pumpe um etwa 11 % sank. Grund dafür dürfte insbesondere der in diesem Zeitraum von im Mittel 9,3 % Trockensubstanz (TS) auf 8,3 % gesunkene TS-Gehalt des Gärgemisches gewesen sein (Von Pumpe I konnten wegen Wartungsarbeiten keine entsprechenden Daten gewonnen werden). Eine Veränderung der Gas-

zusammensetzung oder Gasausbeute während dieses anteilmäßig geringen Einsatzes von Zuckerrüben war nicht zu beobachten.

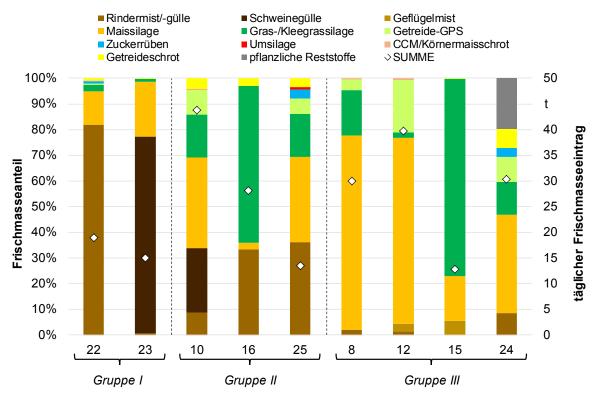


Abbildung 1: Gegenüberstellung der Einsatzstoffzusammensetzungen und mittleren täglichen Frischmasseinträge der untersuchten Pilotbiogasanlagen

In Gruppe II lassen sich die fortgeführten Pilotbetriebe mit der Anlagen-ID 10 und 16 sowie die neu aufgenommene Biogasanlage mit der ID 25 zusammenfassen. Hierbei handelt es sich um Anlagen mit einem Massenanteil von etwa 30 % Gülle oder Mist (Güllebonus!) und 70 % Energiepflanzen, wie es für den Inbetriebnahmezeitraum 2004 bis 2010 typisch war. Diese Gruppe stellt sich verfahrenstechnisch sehr inhomogen dar. Pilotanlage 10, die Gülle aus der eigenen Schweinemast zusammen mit einer Mischung aus überwiegend Maissilage, GPS und Grassilage zur Biogaserzeugung einsetzt, zeigt eine klassische Rührkesselkaskade mit zwei parallel betriebenen Hauptfermentern und einem verhältnismäßig klein dimensionierten Nachgärbehälter. Die in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb integrierte Pilotanlage Nr. 16 verfügt über einen liegenden Pfropfenstromfermenter und einen groß dimensionierten Rührkessel-Nachgärer. Da dieser Betrieb neben etwa 30 % Rindermist in erster Linie Kleegrassilage zusammen mit Getreide-GPS ohne Zugabe flüssiger Substrate wie Gülle vergärt, war das Gärgemisch im Fermenter entsprechend hochviskos und musste zur Erhaltung der Rührfähigkeit im Nachgärer mithilfe eines Pressschneckenseparators regelmäßig abgepresst werden. Die letzte Pilotanlage dieser Gruppe mit der ID 25 arbeitet nach einem dreistufigen Konzept mit einer zur Atmosphäre hin offenen Hydrolysegrube, einem Rührkessel-Fermenter nach "dänischer Bauweise" (Behälterhöhe ≈ Behälterdurchmesser) und einem Rührkessel-Nachgärer. Die ursprünglich für die Vergärung von Getreidebrei konzipierte Biogasanlage wurde mithilfe entsprechender Substrataufbereitungsverfahren (Querstromzerspaner und Lochscheiben-Nasszerkleinerer) an den Einsatz von Mais-, Gras- und Getreideganzpflanzensilagen zusammen mit dickflüssiger Gülle aus der eigenen Milchviehhaltung inklusive Nachzucht adaptiert. Über die Herbst- und Wintermonate wurden in der Anlage frische Zuckerrüben aus eigenem Anbau eingesetzt. Die in einer Miete am Feldrand gelagerten Zuckerrüben wurden als kleinere Chargen in einer Halle zwischengelagert und mithilfe einer Radlader-Schnitzlerschaufel zerkleinert. Der Massenanteil der Zuckerrüben am gesamten Einsatzstoffmix über die Monate Januar bis März 2014 betrug im Mittel etwa 12 %. Obwohl in diesem Zeitraum keine Abnahme des TS-Gehaltes im Gärgemisch zu beobachten war, deutete ein Rückgang des Strombedarfs für das Rühren um etwa 11 % auf eine deutliche Abnahme der Viskosität hin. Eine Veränderung in der Gaszusammensetzung war auch bei dieser Anlage nicht zu beobachten. Bedingt durch die Vorversäuerung lag der Methangehalt im Biogas konstant auf einem hohen Niveau von knapp 60 %.

Gruppe III beinhaltet die weitergeführten Pilotbetriebe mit ID 8, 12 und 15 zusammen mit der neu in das Messprogramm aufgenommenen Pilotanlage 24. Diese sind als typische "NAWARO-Anlagen" zu bezeichnen und verwerten weniger als zehn Masseprozent Wirtschaftsdünger tierischen Ursprungs. Während die Pilotanlagen 8 und 12 in erster Linie Maissilage, ergänzt durch Grassilage und Getreide-GPS zur Biogaserzeugung einsetzten, wurden in der in einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb integrierten Biogasanlage mit der ID 15 etwa 75 % Kleegrassilage verwertet. Zur Verringerung der durch den Einsatz von Kleegras bedingten hohen ammoniakalischen Stickstoffgehalte im Gärgemisch wurden im Beobachtungszeitraum etwa 25 % Maissilage verfüttert. Auch Pilotbetrieb 12 hatte zu Versuchszwecken Szarvasigras auf einem guten Ackerbaustandort angebaut. Batchtests und eine Verwiegung der Erntemengen zeigten, dass der Methanhektarertrag von Szarvasigras im Beobachtungszeitraum 2014 im Mittel etwa 22 % unter dem durchschnittlichen Methanhektarertrag von Silomais auf guten Ackerbaustandorten des Betriebs lag. Ob die Differenz zwischen den beiden Einsatzstoffen auch auf schlechteren Ackerbaustandorten oder in Erntejahren mit ungünstiger Witterung ähnlich ausfällt, wäre zu überprüfen.

Die an einen großen landwirtschaftlichen Gutsbetrieb mit Hauptbetriebszweig Marktfruchtanbau angeschlossene Biogasanlage mit der ID 24 nutzte neben den nachwachsenden Rohstoffen Mais, Gras, Getreideschrot, GPS und Zuckerrüben auch 20 % Reststoffe wie Biertreber und Kartoffelpülpe aus der Lebensmittelverarbeitung. Über die Monate Februar bis Juni wurden im Mittel 12 % Zuckerrüben verfüttert, die zusammen mit Weizenstroh geschreddert und einsiliert worden waren. Ein Teil der Rüben wurde im Ganzen einsiliert und erst vor der Einbringung in die Biogasanlage mit einem Rübenschnitzler zerkleinert. Bei beiden Verfahren war während des Silierprozesses ein Austritt großer Mengen an Sickersaft festzustellen. Durch den Einsatz von Zuckerrüben verringerte sich die Viskosität des Gärgemisches in dem Maße, dass der Stromverbrauch der Rührtechnik in der Anmischgrube und im Fermenter um etwa 3 % zurückging. Verfahrenstechnisch tritt aus Gruppe III in erster Linie die Anlage 15 mit einem aus Betonfertigteilen erstellten Rührkesselfermenter mit Massivdecke hervor. Etwas ungewöhnlich, aber für den Anlagenhersteller typisch war auch die dem Fermenter der Pilotanlage 24 vorgeschaltete Mischgrube, die in erster Linie durch einen enorm hohen Kraftbedarf für die Durchmischung des dickflüssigen Substratbreis auffiel.

Bezüglich der **Gärstrecke** lässt sich zu *Gruppe I* der untersuchten Pilotanlagen sagen, dass sich an den "Kompaktfermentern" außer der platzsparenden Bauweise keine Vorteile gegenüber herkömmlichen Rührkesselfermentern erkennen ließen. Betrachtet man das Restgaspotential, so wiesen die klein dimensionierten Fermenter, die mit einer enorm hohen Faulraumbelastung und einer entsprechend kurzen Verweilzeit der Substrate im Gärraum betrieben wurden, eine vergleichsweise geringe Abbauleistung der organischen Substanz auf. In der Gesamtgasausbeute wurde dies im Fall von Anlage 22 allerdings durch

das groß dimensionierte Gärrestlager mit Gaserfassung weitgehend ausgeglichen. Die hohe Raumbelastung in den Kompaktfermentern spiegelte sich auch in den Fettsäuremustern der Gärgemischproben wieder. Anlage 23 zeigte insgesamt eine unbefriedigende relative Gasausbeute, wobei auch die sehr unruhige Anlagenführung eine Rolle spielte. Durch die thermophile Betriebsweise bei gleichzeitig hohen ammoniakalischen Stickstoffgehalten im Gärgemisch und deutlichen Schwankungen in der Gärtemperatur befand sich der liegende Fermenter dieser Anlage immer wieder an der Grenze zur Versäuerung. Aus diesem Grund wird für kleine Hofbiogasanlagen, die große Mengen an stickstoffreicher Schweinegülle verwerten, von einer thermophilen Prozessführung abgeraten. Beide Anlagen wiesen einen verhältnismäßig geringen anteiligen elektrischen Energiebedarf und zugleich einen hohen Prozesswärmebedarf auf, wie es für Gülleanlagen zu erwarten ist.

Gruppe II ist zu inhomogen, als dass sich allgemeine Folgerungen ziehen ließen. Alle drei Anlagen (ID 10, 16 und 25) liefen im Beobachtungszeitraum sehr stabil. Anlagen 10 und 25 erzielten mit 75 % Abbaugrad der organischen Trockensubstanz (oTS) ein sehr gutes Ergebnis. Pilotanlage 16 realisierte mit weniger als 60 % oTS-Abbaugrad eine der schlechtesten Abbauleistungen aller Pilotanlagen im Untersuchungszeitraum, was auf das für den Anlagenbetrieb notwendige, regelmäßige Separieren des Gärgemischs zurückgeführt wird. Bei Anlage 25 kann festgehalten werden, dass es dem Betreiber gut gelang, das eigentlich für die Verwertung von Getreidebrei konzipierte Verfahren für den Einsatz eines hohen Anteils an Ganzpflanzensilagen umzurüsten. Der hohe verfahrenstechnische Aufwand für die Aufbereitung der festen Einsatzstoffe (Querstromzerspaner und Lochscheiben-Nasszerkleinerer), welcher sich auch in dem überdurchschnittlichen Eigenstrombedarfsanteil der Anlage wiederspiegelte, erscheint im Hinblick auf die hohe erreichte Methanausbeute aus der eingesetzten Trockenmasse als rentabel.

In Gruppe III erzielten die sogenannten "Hubraumanlagen" mit ID 8, 12 und 24 gute Abbauleistungen mit mehr als 70 % oTS-Abbaugrad. Pilotanlage 12 steigerte den Anteil von Roggen-GPS im Einsatzstoffmix in den Monaten Mai bis September zeitweise auf über 50 %. Diese Maßnahme führte zu einem Anstieg des TS-Gehalts im Gärgemisch um bis zu 20 % und des Eigenstrombedarfsanteils um bis zu 35 %, was auf eine deutlich gesteigerte Viskosität des Gärgemisches hindeutet. Die mit der Erhöhung des GPS-Anteils einhergehenden gärbiologischen Probleme zeigten zudem, dass Spurenelementmangel bei sehr hohen Anteilen an Mais- und Getreide-GPS in der Futterration ein nicht zu unterschätzendes Risiko darstellt. In Anlage 12 war in den Sommermonaten eine Selbsterwärmung im Hauptgärbehälter zu beobachten. Als Risikofaktoren für dieses Phänomen haben ein hoher Anteil an Stärke betonten Einsatzstoffen, geringer Flüssigkeitseintrag und rundum wärmegedämmte Gärbehälter zu gelten. Anlage 24 wies einen verhältnismäßig hohen Prozessenergiebedarf auf, was in erster Linie der Bauweise mit enorm großen Gärbehältervolumina, aber auch dem Alter der Anlage geschuldet war. Die Gärbiologie zeigte in Proben aus dem Fermenter stets niedrige Gesamtfettsäuregehalte mit Ausnahme zweier Monate, in denen größere Mengen an mit Mutterkorn belastetem Roggen verfüttert worden waren und die Gesamtkonzentration an flüchtigen Fettsäuren auf über 4 g/L anstieg. Dieser Sachverhalt zeigt, dass der Einsatz größerer Mengen an verpilztem Getreide oder verschimmelten Silagen stets unter größter Vorsicht und Beobachtung der Prozessindikatoren erfolgen sollte.

Aufgrund der Bauform und des weitgehenden Verzichts auf Einsatz von flüssigen Substraten wies die Anlage 15 im Beobachtungszeitraum einen äußerst niedrigen Prozesswärmebedarf auf. Auch hier zeigte sich während der Sommermonate das Phänomen der Selbsterwärmung, allerdings in geringerem Ausmaß verglichen mit Pilotanlage 12. Daher konnte

auch bei Anlage 15 auf eine Beheizung des Gärbehälters im Sommer weitgehend verzichtet werden. Dem niedrigen Prozesswärmebedarf der Anlage steht der höchste anteilige elektrische Energiebedarf in dieser Gruppe gegenüber, der insbesondere auf den Kraftbedarf zur Durchmischung des hochviskosen Gärbehälterinhaltes zurückzuführen ist. Die einstufige Prozessführung mit nachgeschalteter Gärrestseparation und offener Gärrestlagerung dieses Pilotbetriebs resultierte in einem eher unterdurchschnittlichen Abbaugrad der oTS bei gleichzeitig entsprechend hohem Restgaspotential des nicht separierten Gärrestes. Ein Nachgärer könnte hier deutliche Verbesserung bringen.

Bezüglich der **Biogasverwertung** verfolgten die Betriebe unterschiedliche Strategien. Betriebe 8, 10 und 23 erweiterten während des Beobachtungszeitraums ihre installierte BHKW-Kapazität im Hinblick auf eine bedarfsorientierte Direktvermarktung der erzeugten elektrischen Energie. Auf Pilotbetrieb 8 wurde die installierte elektrische BHKW-Leistung von 690 auf 750 kW erhöht, indem ein altes 190 kW-Aggregat gegen ein 250 kW-Aggregat ausgetauscht wurde. Die drei Motoren wurden auf einem Lastniveau zwischen 92 bis 100 % betrieben.

Betrieb 10 installierte ein 265 kW-Zündstrahl-BHKW als Spitzenlast-Aggregat und steigerte so die gesamte elektrische Nennleistung von 655 auf 920 kW. Das Zündstrahl-Aggregat wurde im Mittel für 17,8 Stunden pro Tag betrieben (mittlere Auslastung ca. 92 %) und zeigte im Intervallbetrieb ein problemloses Startverhalten.

Um eine flexible Stromerzeugung zu ermöglichen, wurde auf Betrieb 23 das ursprüngliche 75 kW-Zündstrahl-BHKW Ende des Jahres 2014 gegen ein 250 kW-Zündstrahl-Aggregat ausgetauscht. Gleichzeitig sollte mit der Erhöhung der BHKW-Nennleistung auch die elektrische Bemessungsleistung der Anlage von 75 auf etwa 125 kW erhöht werden. Mit dem Start-Stopp-Betrieb gab es auch auf dieser Anlage keine Probleme. Ob die ohnehin gestresste Gärbiologie in dem Kompaktfermenter dieser Anlage die geplante Erhöhung der Raumbelastung mittelfristig verkraften wird, konnte im Beobachtungszeitraum nicht mehr evaluiert werden.

Zum Zweck der Flexibilisierung der Stromerzeugung wird auf immer mehr Biogasanlagen die installierte BHKW-Leistung zukünftig deutlich überbaut werden. Damit ist eine möglichst hohe Arbeitsausnutzung nicht mehr als alleiniger Bewertungsmaßstab ausreichend. Um die Pilotanlagen in der Kategorie Biogasverwertung zu vergleichen, wurde deshalb eine Gegenüberstellung der Parameter Verfügbarkeitsfaktor, Motorlast und realisierte Bemessungsleistung vorgenommen. Die Verfügbarkeit/Laufzeit lag bei Anlage 10 als einziger Anlage mit einer bedarfsorientierten Stromerzeugung bei 70 % der Jahresstunden, bei den übrigen acht Anlagen betrug dieser Wert 94 bis 99 %. Die Arbeitsausnutzung der elektrischen Nennleistung lag im Mittel aller neun Pilotanlagen bei 87 %, wobei Anlage 22 mit 99 % den höchsten Auslastungsgrad erreichte.

Ein wichtiger Faktor sowohl für die Wirtschaftlichkeit, als auch für die **Treibhausgas-und Energiebilanz** einer Biogasanlage ist der Nutzungsgrad des erzeugten Biogases. Die Kennzahl "Netto-Nutzungsgrad" gibt an, welcher Anteil der verwerteten Energiemenge, gemessen am Heizwert des in der Biogasanlage erzeugten Methanertrags (plus ggf. des Zündöls) für die externe Nutzung bereitgestellt wird. Ein hoher Netto-Nutzungsgrad kann selbstredend nur durch ein ausgereiftes Konzept für die Wärmenutzung erreicht werden. Anlage 8, 15, 22 und 25 erzielten vergleichsweise sehr gute Netto-Nutzungsgrade von mehr als 60 % als Mittelwert über den Beobachtungszeitraum (vgl. Abbildung 2).

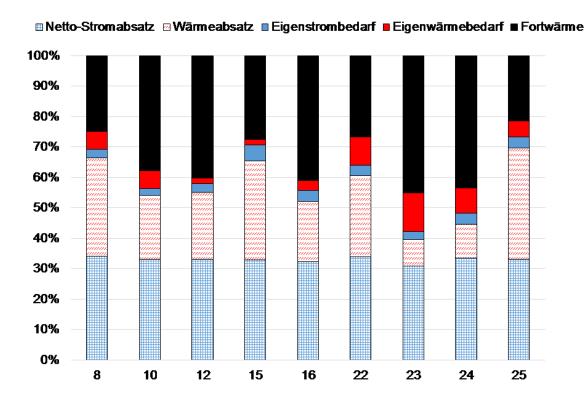


Abbildung 2: Gegenüberstellung der untersuchten Pilotanlagen im Hinblick auf den Nutzungsgrad der im erzeugten Biogas enthaltenen Brennstoffenergie

Mehr als 50 % Netto-Nutzungsgrad erreichten Anlage 10, 12 und 16. Für die Anlagen 23 und 24 wurden Netto-Nutzungsgrade in einer Größenordnung von lediglich um die 40 % ermittelt. Zum Vergleich: In der ersten Phase des Biogasanlagen-Monitorings hatten nur zwei Betriebe die 50 % Marke überschritten. Es wurden also in den letzten Jahren doch signifikante Verbesserungen bei der Nutzung der Biogas-Wärme erreicht. Mit einer zunehmenden Flexibilisierung der Stromerzeugung ergeben sich allerdings neue Herausforderungen für die Erzielung einer effektiven Nutzung der Wärme aus Biogas-BHKW.

Im Rahmen des Biogas-Monitorings sollte auch beurteilt werden, ob und inwiefern sich vormontierte Kompakt-Biogasanlagen aus (Edel-)Stahl in ihrer Handhabung und Funktionssicherheit von Biogasanlagen mit herkömmlichen Rührkesselfermentern aus Stahlbeton unterscheiden. Hierzu lässt sich feststellen, dass sowohl die als stehende Hochbehälter ausgeführten Fermenter des Pilotbetriebs 22, als auch der liegende Pfropfenstromfermenter der Pilotanlage 23 im Beobachtungszeitraum ohne größere technische Störungen betrieben werden konnten. Das hydraulische Rühren der Hochreaktoren von Anlage 22 durch kontinuierliches Umpumpen des Gärbehälterinhalts mithilfe einer Exzenterschneckenpumpe sorgte bei einem TS-Gehalt im Gärgemisch von immerhin 8 bis 9 % für eine gute Durchmischung. Die Effektivität dieses Rührverfahrens dürfte der besonderen Behältergeometrie in Verbindung mit der thermophilen Prozesstemperatur von 53 °C geschuldet sein. Schwierigkeiten traten in dieser Anlage bei der Entschwefelung des Biogases auf. Da den beiden Hochfermentern ein Gärrestlager mit Tragluftdach und einer Netzunterkonstruktion nachgeschaltet ist, steht den Sulfat reduzierenden Bakterien nur eine geringe Wandfläche (das Freibord des Gärrestlagerbehälters) für die Besiedelung zur Verfügung. Die unzureichende biologische Entschwefelungsleistung durch Lufteinblasung zeigte sich an konstant hohen H₂S-Werten von 1000 bis 1500 ppm gemessen vor dem BHKW. Daher wurde zusätzlich ein Eisenoxid-Präparat zur chemischen Entschwefelung in die Gärbehälter gegeben.

An ihre Grenzen kam immer wieder die Rührtechnik im Nachgärer der Kompaktanlage 23. Das stark zur Entmischung neigende Gärgemisch aus überwiegend dünnflüssiger Schweinegülle sowie Mais- und Szarvasigras-Silage bildete wiederholt gröbere Schwimmschichten, die nur mit großem Rühraufwand langsam wieder aufgelöst werden konnten. Offenbar war die Rührtechnik in diesem Behälter mit nur einem Tauchmotorrührwerk bei 850 m³ Gärraum mangelhaft dimensioniert. Die biologische Entschwefelung funktionierte in dieser Anlage, deren Nachgärer mit einer EPDM-Gasspeicherhaube über einer Holzunterkonstruktion mit Holzbalkendecke ausgestattet ist.

Was die Wartung der in den Pilotanlagen 22 und 23 verbauten Technik anbelangt, zeigte sich, dass die vormontierten Kompaktfermenter nicht unbedingt Vorteile aufweisen. Nachteilig kann es sich auswirken, dass die Anlagenbetreiber nicht an der Vorabmontage der Anlagenkomponenten beteiligt und daher in Störungsfällen oft auf den Service der Anlagenhersteller angewiesen sind. Erschwerend kommt hinzu, dass in Kompaktanlagen sehr viel Technik auf kleinem Raum verbaut wird, um die Anlage entsprechend transportfähig zu machen. Hierdurch können einzelne Bauteile schwerer zugänglich sein.

Modulare Kompaktfermenter aus (Edel-)Stahl weisen in der Regel deutlich höhere Anschaffungskosten als herkömmliche Rührkesselfermenter aus Ortbeton auf. Der Bedarf an Stellfläche ist insbesondere für die Bauweise mit Hochbehältern vergleichsweise gering. Auf den Betrieben 22 und 23 konnten die Anlagen daher gut zwischen die bestehenden Betriebsgebäude und Stallungen eingefügt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass aus dem hier vorgestellten Anlagenvergleich auf Basis des Monitorings von neun bayerischen Biogasanlagen mit unterschiedlichster Verfahrenstechnik und Einsatzstoffen keine generelle Präferenz für ein bestimmtes Verfahrenskonzept abgeleitet werden kann. Eine einstufige Verfahrensführung mit offener Gärrestlagerung erscheint jedoch weder aus Sicht der Energieeffizienz, noch des Klimaund Ressourcenschutzes als akzeptabel.

Es hat sich erneut bestätigt, dass das **Anlagenmanagement** und damit die Qualifikationen und Erfahrungen des Betreibers ein entscheidender Faktor für den stabilen und effizienten Betrieb einer Biogasanlage sind.

Die umfangreichen Datensätze und die Erfahrungswerte aus der wissenschaftlichen Begleitung der bayerischen Pilotbiogasanlagen bilden Anknüpfungspunkte für eine Vielzahl weiterer anwendungsorientierter Forschungsarbeiten an der LfL Bayern. Hier sind insbesondere Methoden zur Bilanzierung der Umweltwirkung von Biogasketten sowie die webbasierte Anwendung "Biogas Doc" zur Effizienzbewertung und Schwachstellenanalyse von Biogasanlagen zu erwähnen, die anhand der Kennzahlen aus dem Biogas-Monitoring validiert wurden und weiterentwickelt werden.